



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin Mikulka

**BEZPEČNOSTNÍ BRZDOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO OSOBNÍ
AUTOMOBILY PŘI NÁRAZOVÝCH ZKOUŠKÁCH**

Diplomová práce

2018



K622 Ústav soudního znalectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Martin Mikulka

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Bezpečnostní brzdové zařízení pro osobní automobily při nárazových zkouškách**

Název tématu (anglicky): **Safety Braking Device for Passenger Vehicles for Crash Tests**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Brzdy osobních automobilů - druhy, konstrukce a technická specifikace
- Prvky pasivní a aktivní bezpečnosti (brzdové asistenty, radary, aj. aktivní prvky)
- Navrhy způsobu řešení automatické nouzové brzdy pro automobily zkoušené při nárazových zkouškách (popis funkce a základní specifikace zařízení)
- Výhody a nevýhody navržených bezpečnostních brzdových zařízení
- Podrobný popis a specifikace vybrané varianty bezpečnostního brzdového zařízení, realizace návrhu
- Závěr a zhodnocení



Rozsah grafických prací: určí vedoucí práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: ŽDÁNSKÝ, B. a kol. : Automobily : Podvozky, 2. vyd. Brno: Nakl. Avid, 2009, 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.

ANDRLÍK, V. : Základní konstrukční prvky : Brzdy, spojky. Sešit 5. 1. vyd. Praha: Nakl. ČVUT, 1995, 40 s. ISBN 80-01-01246-8.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D**

Datum zadání diplomové práce: **20. července 2017**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **29. května 2018**

a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia

b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
vedoucí

Ústavu soudního znalectví v dopravě

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Martin Mikulka
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....20. července 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu projektu a této diplomové práce doc. Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

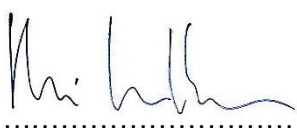
Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25. května 2018



.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÉ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

BEZPEČNOSTNÍ BRZDOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO OSOBNÍ AUTOMOBILY PŘI NÁRAZOVÝCH
ZKOUŠKÁCH

Diplomová práce

Květen 2018

Martin Mikulka

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce „Bezpečnostní brzdové zařízení pro osobní automobily při nárazových zkouškách“ je popis konstrukce brzd osobních automobilů, včetně jejich funkce a jednotlivých částí, které brzdový systém obsahuje. Současně jsou ukázány rozdíly brzd jednotlivých automobilů. Nejdůležitější část se zabývá měřením potřebných parametrů k návrhu brzdového bezpečnostního zařízení, kde jsou porovnávány jednotlivé navržené konstrukce, jejich výhody a nevýhody. Nejvhodnější varianta je následně detailně popsána, zkonstruována a otestována při reálném nárazovém testu.

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis "Safety Brake Equipment for Passenger Cars in Impact Tests" is a description of the design of the brakes of passenger cars, including their function and individual parts, which the brake system contains. The differences in brakes of individual cars are shown in the same time. The most important part deals with the measurement of the necessary parameters for the design of the brake safety device, where the various designs are compared, their advantages and disadvantages. The best variant is described, designed and tested in a real impact test.

Obsah

1.	Seznam použitých zkratek	7
2.	Úvod	8
3.	Brzdy osobních automobilů	10
3.1.	Základní pojmy	10
3.1.1.	Doba brzdění, dráha brzdění	10
3.1.2.	Reakční doba řidiče	11
3.2.	Rozdělení brzdových soustav podle účelu	12
3.2.1.	Provozní brzdová soustava	12
3.2.2.	Nouzová brzda	12
3.2.3.	Parkovací brzda	12
3.2.4.	Zpomalovací (odlehčovací) brzdová soustava	12
3.3.	Zákonné předpisy a požadavky na brzdy OA	12
3.4.	Druhy brzdových soustav podle zdroje energie	13
3.4.1.	Přímočinná brzdová soustava	13
3.4.2.	Brzdová soustava s posilovačem	13
3.4.3.	Nepřímočinná brzdová soustava (strojní brzdy)	14
4.	Kapalinové brzdy	15
4.1.	Činnost hydraulických brzd	15
4.2.	Konstrukční části brzd	16
4.2.1.	Hlavní dvouokruhový tandemový brzdový válec	16
4.2.2.	Uspořádání brzdových okruhů	18
4.2.4.	Hydraulická jednotka ABS	22
4.2.5.	Omezovač brzdného tlaku	23
4.2.6.	Brzdová kapalina	23
5.	Bubnové brzdy osobních automobilů - druhy, konstrukce	24
5.1.	Vlastnosti bubnových brzd	24
5.2.	Druhy bubnových brzd	24
5.2.1.	Jednonáběžná brzda (Simplex)	25
5.2.2.	Dvounáběžná brzda (Duplex)	25
5.2.3.	Brzda se spřaženými čelistmi (Servo)	25
5.2.4.	Obousměrná dvounáběžná brzda (Duo-duplex)	25
5.2.5.	Obousměrná dvounáběžná se spřaženými čelistmi (Duo-servo)	25
5.3.	Konstrukční části bubnových brzd	26
5.3.1.	Rozpěrné zařízení	26

5.3.2.	Brzdový buben	27
5.3.3.	Brzdové čelisti	27
6.	Kotoučové brzdy osobních automobilů - druhy, konstrukce.....	28
6.1.	Vlastnosti kotoučových brzd	28
6.2.	Druhy kotoučových brzd	28
6.2.1.	Kotoučová brzda s pevným třmenem	28
6.2.2.	Kotoučová brzda s plovoucím třmenem.....	29
6.3.	Konstrukční části kotoučových brzd	30
6.3.1.	Brzdový kotouč.....	30
6.3.2.	Brzdové destičky	31
7.	Prvky pasivní a aktivní bezpečnosti	32
7.1.	Pojmy	32
7.1.1.	Aktivní bezpečnost	32
7.1.2.	Pasivní bezpečnost	32
7.2.	Prvky aktivní bezpečnosti související s brzdovým systémem	32
7.2.1.	Adaptivní tempomat (ACC).....	32
7.2.2.	Antiblokovací brzdový systém (ABS).....	33
7.2.3.	Antiprokluzový systém (ASR)	33
7.2.4.	Asistent jízdy v kolonách	34
7.2.5.	Hydraulický brzdový asistent (HBA)	34
7.2.6.	Elektronický stabilizační systém (ESP).....	35
7.2.7.	Elektronický rozdělovač brzdné síly (EBD)	36
7.2.8.	Vysoušení brzdových kotoučů (BDW)	36
7.2.9.	Asistent rozjezdu do kopce (HSA)	36
7.3.	Prvky pasivní bezpečnosti související s brzdovým systémem	37
7.3.1.	Multikolizní brzda (MCB)	37
8.	Technické specifikace kotoučových brzd	38
8.1.	Základní technické parametry vybraných vozidel	38
8.2.	Brzdové kotouče vybraných vozidel	42
8.3.	Brzdové destičky vybraných vozidel	43
8.4.	Brzdová kapalina vybraných vozidel.....	44
8.5.	Brzdové hadice a potrubí.....	44
9.	Navrhované druhy bezpečnostních brzdových zařízení pro vozidla účastnících se nárazových testů	46
9.1.	Bezpečnostní brzdové zařízení tvořené lineárním aktuátorem	46
9.1.1.	Měření parametrů nutných k výběru lineárního aktuátoru.....	46

9.1.2.	Popis navržené konstrukce a parametry.....	50
9.1.3.	Umístění ve vozidle	52
9.2.	Bezpečnostní brzdové zařízení tvořené membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem.....	54
9.2.1.	Měření parametrů nutných k výběru vhodného typu membránového akumulátoru a elektromagnetického ventilu.....	54
9.2.2.	Popis navržené konstrukce a parametry.....	57
9.2.3.	Umístění ve vozidle	60
10.	Výhody a nevýhody navržených bezpečnostních brzdových zařízení	61
10.1.	Výhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem.....	61
10.2.	Nevýhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem....	61
10.3.	Výhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem.....	62
10.4.	Nevýhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem.....	63
11.	Popis a specifikace vybrané varianty bezpečnostního brzdového zařízení	64
11.1.	Technické součásti obsažené v bezpečnostním zařízení.....	64
11.1.1.	Membránový akumulátor	64
11.1.2.	Elektromagnetický dvoucestný ventil	64
11.1.3.	Externí časové relé HB626	64
11.1.4.	Dvoucestný kulový ventil.....	66
11.1.5.	Hydraulická rychlospojka s manometrem.....	66
11.1.6.	Spojovací členy	67
11.1.7.	Pancéřové hadice a drobné spojovací prvky.....	67
11.2.	Umístění součástí na společné desce.....	69
11.3.	Umístění v testovaném vozidle	70
11.4.	Napojení bezpečnostního brzdového zařízení na testované vozidlo	70
12.	Zkušební test brzdového zařízení	72
12.1.	Průběh zkušebního testu těsnosti a funkčnosti	72
12.2.	Zjištěné problémy během zkušebního testu brzdového zařízení	73
13.	Závěr	75
14.	Zdroje	77
15.	Seznam obrázků.....	81
16.	Seznam tabulek	88
17.	Seznam grafů	89
18.	Seznam příloh.....	90

1. Seznam použitých zkratk

ABS	Antiblokovací systém (Anti-Lock Brake System)
ACC	Adaptivní tempomat (Adaptive Cruise Control)
ASR	Systém regulace prokluzu kol (Anti-Slip Regulation)
BAS	Brzdový asistent (Brake Assistant System)
BDW	Vysoušení brzdových kotoučů (Brake Disc Wiping)
EHK	Evropská hospodářská komise
HBV	Hlavní brzdový válec
EBD	Elektronický rozdělovač brzdné síly (Electronic Brakeforce Distribution)
ESP	Elektronicky stabilizační program (Electronic Stability Programme)
HBA	Hydraulický brzdový asistent (Hydraulic Brake Assist)
HSA	Asistent rozjezdu do kopce (Hill Start Assist)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
MCB	Multikolizní brzda (Multi Collision Braking)
OA	Osobní automobil
OBD	Palubní diagnostika (On Board Diagnostic)
NA	Nákladní automobil
ŘJ	Řídicí jednotka

2. Úvod

Cílem nárazových testů osobních automobilů je v prvním případě homologace daného automobilu, aby splňoval technické normy a předpisy v rámci bezpečnosti dle předpisů EHK, které provádějí samotné automobilky. V druhém případě tu jsou organizace, které provádí nezávislé nárazové testy, které pak prezentují veřejnosti a ta se tak může dozvědět, jak moc je daný automobil „bezpečný“. Dále tu jsou organizace, firmy a školy, které provádí vlastní nárazové testy a jednou z nich je také naše Fakulta dopravní s Ústavem soudního znalectví v dopravě K622.

Samotný nárazový test je proces, který vyžaduje dlouhou přípravu, dodržení předpisů, norem a hlavně bezpečnosti. A je zde otázka, která se může ptát na to, jestli je test, který zjišťuje bezpečnost vozidel, zabezpečený a bezpečný?, protože v minulosti již několikrát došlo při nárazových testech k selhání, a vozidlo vjelo mezi přihlížející diváky a pořadatele. K eliminaci případného vyjetí vozidla a zajištění bezpečnosti celého průběhu testu slouží bezpečnostní brzdové zařízení, osazené na vozidle, které ve své diplomové práci navrhuji, následně sestavuji funkční vzorek a provedu sérií zkušebních testů na vybraném vozidle.

V první části své diplomové práce popisují základní fakta o brzdění, jako je doba brzdění a reakce řidiče, a jsou zde popsány brzdy v obecném rozdělení použití. Dále se věnuje diplomová práce pouze kapalinovým brzdám osobních automobilů, kde jsou popsány konstrukční části celého brzdového systému vozidla, doplněné o výkresy a obrázky jednotlivých částí, s vysvětlenou funkcí těchto částí při brzdění. Navazující částí jsou druhy brzd osobních automobilů (bubnové a kotoučové), spolu s výhodami, nevýhodami a jednotlivými částmi, které obsahují. K popisu brzd osobních automobilů jsem využil také získané znalosti během studií na střední škole, kde jsem se učil o celé konstrukci automobilu. V další části této diplomové práce jsou popsány technické specifikace brzd, které mají za úkol ukázat rozdílné rozměry a parametry na jednotlivých druzích osobních vozidel, a to i v rámci jednoho modelu, které se vyskytují na pozemních komunikacích.

V další části se diplomová práce věnuje měření parametrů nutných ke správnému návrhu jednotlivých druhů bezpečnostního zařízení jako je například tlak v brzdové soustavě vozidla během kritického brzdění, síla vyvozená řidičem na pedál při kritickém brzdění apod. V dané kapitole je popsán postup měření, použitá technika a důvod měření parametrů. Současně se také řeší umístění ve vozidle navržených druhů brzdového zařízení a případné technické zásahy do konstrukce vozidla. Dále jsou popsány možné varianty bezpečnostního brzdového zařízení, které může být osazeno v automobilu při nárazovém testu, jejich výhody, nevýhody a cenová náročnost. Následující část se zabývá výběrem nejvýhodnějšího technického

řešení brzdového zařízení, které svými vlastnostmi, konstrukcí a provedením nejlépe odpovídá stanoveným požadavkům.

Vybraná varianta návrhu brzdového zařízení je následně rozdělena na jednotlivé technické součásti, které ji tvoří, a u těch je detailně popsána jejich činnost, propojenost s ostatními součástmi a umístění. Současně je znázorněno a popsáno umístění v testovaném vozidle a napojení na vozidlo. V závěrečné fázi diplomové práce je popsán zkušební test celého bezpečnostního brzdového zařízení.

Brzdové bezpečnostní zařízení bude využito ústavem K622 Ústav soudního znalectví v dopravě pro vlastní nárazové testy, protože doposud bylo podobné zařízení zajišťující bezpečný pohyb vozu během nárazového testu půjčováno od firmy Škoda Auto.

Součástí této diplomové práce je také návod na použití celého brzdového bezpečnostního zařízení při nárazovém testu, který je přiložený jako příloha.

3. Brzdy osobních automobilů

3.1. Základní pojmy

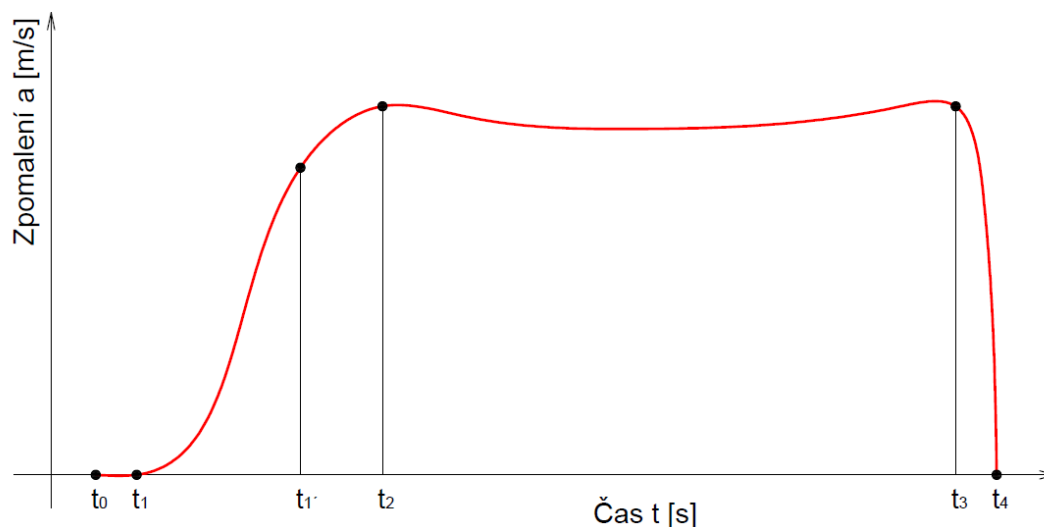
Pro začátek si uvedeme několik základních pojmů, které se přímo týkají samostatného procesu brzdění.

3.1.1. Doba brzdění, dráha brzdění

Doba brzdění je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na pedál brzdy vozidla, až do okamžiku, kdy brzdný účinek pomine, nebo se vozidlo zastaví. Doba brzdění se skládá z několika složek, kdy každá z těchto složek má různý vliv na dobu brzdění. [1]

Doba brzdění má tyto následující složky:

- **Doba technické prodlevy brzdy $t_1 - t_0$** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na pedál brzdy vozidla, až do okamžiku, kdy se začne účinek brzdy projevovat. Doba prodlevy brzd se pohybuje od 0,02 až 0,06 s. [2]
- **Doba náběhu brzdění $t_1 - t_1'$** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy dosáhne plné výše. Doba náběhu brzdění se pohybuje od 0,07 až 0,18 s. [2]
- **Účinná doba brzdění $t_4 - t_1'$** je doba, které uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy pomine, nebo kdy se vozidlo zastaví.
- **Doba doběhu brzdění $t_4 - t_3$** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič přestane působit na pedál brzdy vozidla, až do okamžiku, kdy účinek brzd pomine.
- **Celková doba brzdění $t_4 - t_0$** je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na pedál, do okamžiku, kdy brzdění pomine, nebo se vozidlo zastaví. [3]



Obr. [1] Doba (dráha) brzdění a její složky

- t_0 okamžik, kdy řidič začne působit na brzdový pedál
- t_1 počátek zvyšování tlaku v brzdách vozidla
- t_1' konec zvyšování tlaku v brzdách vozidla
- t_2 plný brzdový účinek
- t_3 konec maximálního brzdového účinku
- t_4 konec brzdění (zastavení vozidla)

Pokud však chceme určit celkovou dobu brzdění, musíme k takto zjištěné době brzdění připočítat také i reakční dobu řidiče, která se liší dle zdravotního, psychického a fyzického stavu daného jedince, kvůli které se rozhodl změnit stav chování. [2]

3.1.2. Reakční doba řidiče

Reakční doba byla definována p. Smrčkem jako časový interval, který uplyne od okamžiku vjemu do okamžiku uvedení zařízení (např. brzd) do činnosti naučeným pohybem. [2]

Reakční doba řidiče se dělí na následující části:

- **Optická reakce** - doba od začátku optického vnímání objektu do jeho zafixování co do polohy i akomodace oka. Trvání optické reakce závisí na tom, zda řidič předem kritický objekt sledoval přímo, nebo bylo nutné směr pohledu přesunout po spatření periferním viděním. [2]

Doba trvání (s)	min.	prům.	max.
- řidič přímo sledoval kritický objekt	0,0	0,0	0,0
- řidič nejprve sledoval jiný objekt do 5°	0,32	0,48	0,55
- řidič nejprve sledoval jiný objekt nad 5°	0,41	0,61	0,70

- **Psychická reakce** - rozhodování, například zda je třeba brzdit, nebo brzdit a současně se vyhýbat, použít zvukové nebo světelné výstražné znamení. [2]

Doba trvání (s)	min.	prům.	max.
- psychická reakce (rozhodování)	0,22	0,45	0,58

- **Svalová reakce** - například uvolnění akcelérátoru a přesun nohy na pedál brzdy. [2]

Doba trvání (s)	min.	prům.	max.
- svalová reakce (přesun nohy na pedál)	0,15	0,19	0,21

Celková reakce tedy může dosahovat hodnot 0,37 s až 1,49 s. [2] Avšak jedná se o tabulkovou hodnotu a reálné reakce řidičů v běžném provozu mohou být i více než 2 s.

3.2. Rozdělení brzdových soustav podle účelu

3.2.1. Provozní brzdová soustava

Úkolem provozní brzdové soustavy vozidla je snížení rychlosti, případně až do jeho úplného zastavení, přičemž se vozidlo nesmí odchýlit od přímého směru jízdy během brzdění. Provozní brzdy jsou ovládány pouze nohou řidiče a jejich účinek musí být regulovaný a působit na všechna kola. [1], [4]

3.2.2. Nouzová brzda

Nouzová brzda slouží k nouzovému zabrzdění vozidla v případě, kdy dojde k poruše provozních brzd a tato brzda musí působit alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla. Tato soustava nemusí mít samostatný brzdový okruh, ale může to být neporušený okruh dvouokruhových provozních brzd nebo se může jednat o brzdu parkovací. [1], [4]

3.2.3. Parkovací brzda

Její funkcí je zajištění vozidla proti samovolnému pohybu (zejména při stání ve svahu), a to i za nepřítomnosti řidiče ve vozidle. [1], [4]

3.2.4. Zpomalovací (odlehčovací) brzdová soustava

Tato soustava snižuje rychlost vozidla podle potřeby řidiče, a to především při jízdě z dlouhých klesání, aniž by byla použita provozní, nouzová nebo parkovací brzda. Rovněž slouží k odlehčení provozních brzd, neboť při dlouhodobém brzdění dochází k postupnému snižování brzdného účinku provozních brzd, což může způsobit jejich nadměrné zahřátí a vyrazení z provozu. Úkolem těchto brzd však není vozidlo zastavit. [1], [4]

3.3. Zákonné předpisy a požadavky na brzdy OA

Vyhlášku Ministerstva dopravy 341/2002 Sb., o schválení technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích novelizuje vyhláška 283/2009 Sb. Tato vyhláška je v souladu s homologačními předpisy EHK č. 13, 78, 90. Předpis EHK č. 13 platí pro vozidla kategorií M, N (osobní a nákladní automobily) a O (přípojná vozidla). Tento předpis předepisuje limity pro jednotlivé typy zkoušek brzd, hodnotu maximálně povolených brzdných drah a minimální hodnotu brzdných zpomalení. EHK č. 78 je předpis, který se vztahuje na zkoušení a schvalování typu systému pro brzdění motorových vozidel se dvěma nebo třemi koly kategorií L. Předpis EHK č. 90 schvaluje typy náhradních částí brzdovým obložením určeným k použití v třecích brzdách motorových vozidel a jejich přípojných vozidel. [4]

Tabulka 1. Požadavky na brzdové systémy motorových vozidel kategorie M, N, dle EHK. [4]

Kategorie vozidel podle EHK – R 13 (druh, maximální hmotnost)		Přeprava osob			Přeprava nákladu		
		Osobní automobily M1	Autobusy		Nákladní automobily		
			m ≤ 5t M2	m ≥ 5t M3	m ≤ 3,5t N1	3,5 ≤ m ≤ 12t N2	m ≥ 12t N3
Provozní brzdění	Počáteční rychlost v_0	80 km/h	60 km/h		70 km/h	50 km/h	40 km/h
	Max. brzdná dráha s_c	$0.1 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{150}$ $s_c = 50,7 \text{ m}$	$0.15 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{130}$ $s_c = 36,7$		$0.15 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{115}$ $s_c = 53,1 \text{ m}$ $s_c = 29,2 \text{ m}$ $s_c = 19,9 \text{ m}$		
	Max. nožní síla F_a	500 N	700 N		700 N		
	Max. prodleva t_p	0,36 s	0,54 s		0,54 s		
	Zpomalení a	$5,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$		$4,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$		
Nouzové brzdění	Max. dráha s_c	$0.1 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot (v_0)^2}{150}$ $s_c = 93,4 \text{ m}$	$0.15 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot (v_0)^2}{130}$ $s_c = 64,4 \text{ m}$		$0.15 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot (v_0)^2}{115}$ $s_c = 95,7$ $s_c = 51,0 \text{ m}$ $s_c = 33,8 \text{ m}$		
	Max. ruční síla F_r	400 N	600 N		600 N		

Současně předpis uvádí další požadavky na brzdové systémy vozidel, které jsou:

- předepsaný brzdový účinek musí být dosažen bez blokování kol.
- u OA, NA a autobusů mohou mít brzdové soustavy společné části, přičemž musí mít nejméně dva na sobě nezávislé ovládací orgány.
- ovládací orgány provozního brzdění musí být vždy nezávislé.
- v případě poruchy na pneumatickém nebo hydraulickém převodu musí být signalizována řidiči.
- parkovací brzdy musí zabránit protáčení kol vozidla při jeho celkové hmotnosti ve svahu (v klesání, stoupání) u OA minimálně 18 %, NA a autobusů jednotlivého vozidla nejméně 18 %, u soupravy nejméně 12 % [4]

3.4. Druhy brzdových soustav podle zdroje energie

3.4.1. Přímočinná brzdová soustava

Brzdná síla je vyvíjena vlastní silou řidiče a dále se přenáší mechanickým (pomocí táhel, lanek) nebo hydraulickým převodem (kapalné médium, uzavřený obvod) na kola vozidla. [1]

3.4.2. Brzdová soustava s posilovačem

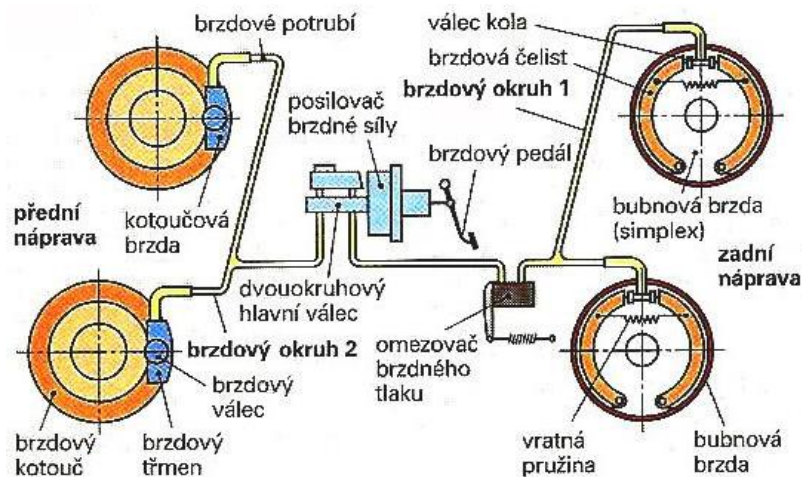
Jestliže nedostačuje vyvinutá síla řidiče, je brzdový systém doplněn o podtlakový nebo hydraulický posilovač. Posilovač musí být konstruován tak, aby při jeho poruše nebo nečinnosti byla celá brzdová soustava funkční, a zároveň ovládací síla na brzdový pedál nepřesáhla sílu 800 N. [1]

3.4.3. Nepřímocinná brzdová soustava (strojní brzdy)

U tohoto druhu brzdové soustavy je brzdný účinek tvořen jiným zdrojem energie, který řidič pouze ovládá přes brzdový pedál. Nejčastěji jsou brzdy takového systému ovládány pomocí tlaku vzduchu. Tento druh brzd se však používá u větších vozidel (NA, autobus, traktor, speciální stroje). [1]

4. Kapalinové brzdy

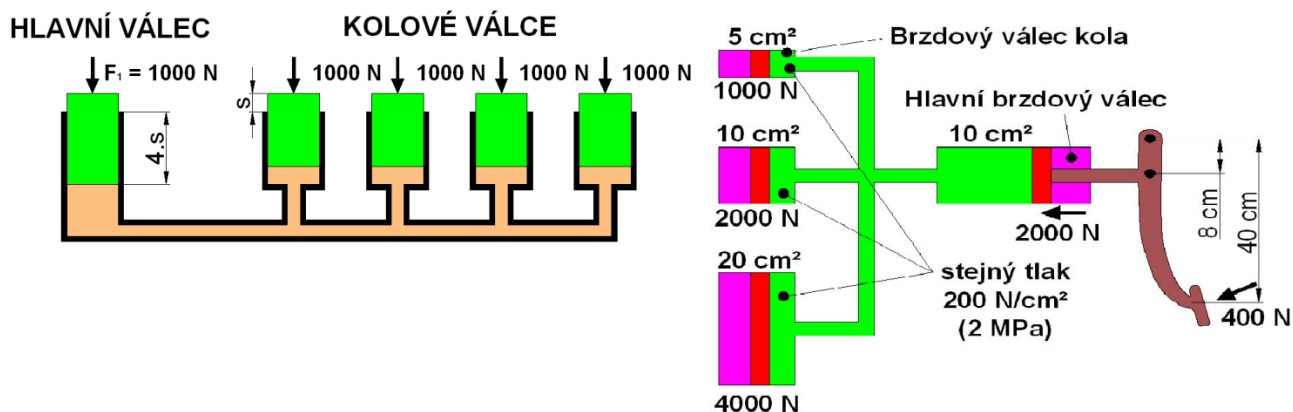
Základní kapalinová, neboli hydraulická brzdová soustava je tvořena následujícími částmi: brzdový pedál, hlavní tandemový brzdový válec, nádobka brzdové kapaliny, brzdové potrubí, brzdové hadičky, kolové brzdové válečky a samostatná konstrukce kolové brzdy. U současných moderních vozidel je základní konstrukce brzdy doplněna o posilovač brzd, bezpečnostní systémy (ABS, ASR, ESP,...) a jejich příslušenství. Některé brzdové soustavy jsou u zadní nápravy doplněny o regulátory, omezovače brzdového tlaku, neboť při brzdění dochází vlivem klopného momentu k většímu zatížení přední nápravy a odlehčení zadní nápravy, což může vést k předčasnému zablokování kol na zadní nápravě. Přenos řidičovy síly působící na brzdový pedál k čelistem brzd je zajištěn tlakem brzdové kapaliny. Z důvodu bezpečnosti jsou dnešní vozidla vybavena brzdovou soustavou tvořenou vždy dvěma brzdovými okruhy, a to vyžaduje použití dvojitého, tandemového brzdového válce. V případě poruchy jednoho z okruhů tak může být vozidlo brzděno okruhem neporušeným. [1], [4], [6]



Obr. [2] Schéma hydraulické brzdové soustavy osobního automobilu

4.1. Činnost hydraulických brzd

Řidič sešlapuje brzdový pedál a jeho síla je pomocí posilovače brzd zvětšena. Posilovač brzd je spojen přímo s hlavním brzdovým válcem pomocí pístní tyče, a zde se mění řidičova síla na hydraulický tlak přenášený brzdovou kapalinou do brzdových válců, a tím se také vytváří hydraulický převod. Převod sil se dosahuje poměrem průměrů pístů hlavního brzdového válce a válců v brzdách. Činnost hydraulických brzd je založena na využití Pascalova zákona „Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na povrch kapaliny v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný“. [1]



Obr. [3] Princip činnosti hydraulických brzd osobního automobilu

V hydraulickém systému jsou působící síly ve stejném poměru, v jakém jsou velikosti ploch brzdových pístků, tzn., že na pístek s větší plochou působí větší síla a naopak, přičemž tlak kapaliny je stejný. Zdvih pístků je v opačném směru než působící síly. Kapalinové brzdy pracují s vysokým tlakem (až 12 MPa, tj. 120 Bar, krátkodobě až 18 MPa, tj. 180 Bar), a to umožňuje, aby jednotlivé části brzdové soustavy měly malé rozměry. Pokud jsou v celém systému malé vůle, dochází po okamžitém stlačení pedálu k pohybu malého množství brzdové kapaliny, tlak v systému vzroste a dostaví se brzdný účinek, tzn., že pracují s velmi malým zpožděním. [1], [8]

Jako kolové hydraulické brzdy se u osobních automobilů používají kotoučové brzdy na přední nápravě, bubnové brzdy na zadní nápravě, avšak je možné použít kotoučové brzdy na všech kolech. Toto řešení se používá u automobilů s vyššími nároky na brzdění.

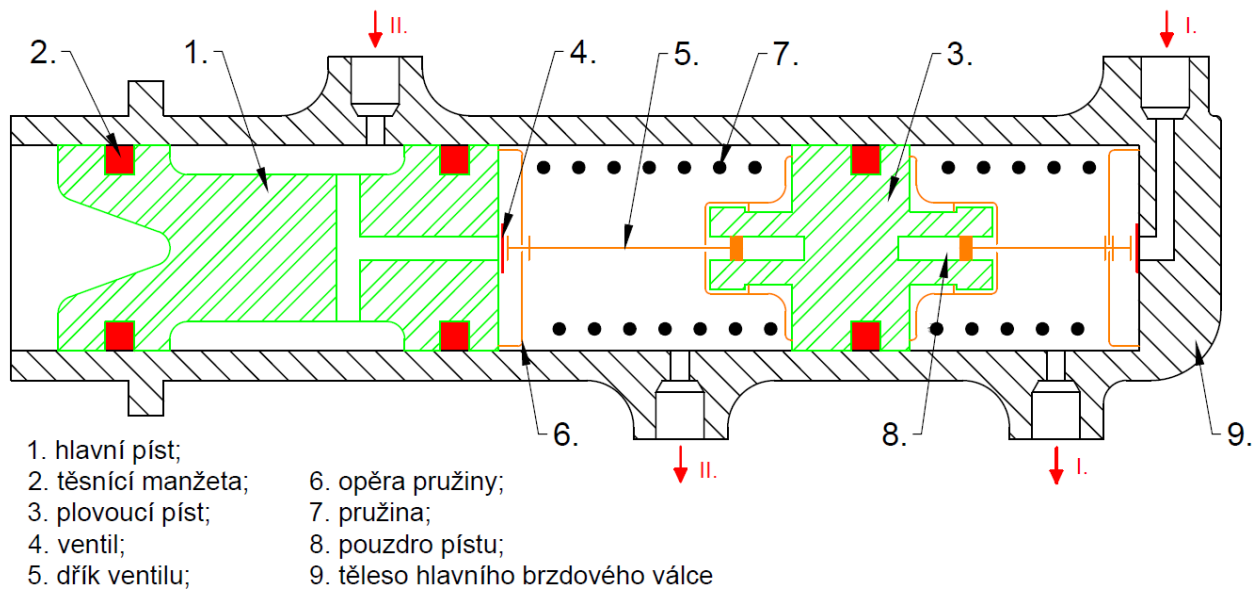
4.2. Konstrukční části brzd

Hydraulické kotoučové brzdy se skládají z brzdového pedálu, dvouokruhového tandemového hlavního válce s posilovačem brzdné síly, systému potrubí, případně omezovačem brzdného tlaku (regulátorem) a vlastních těles brzd. [1], [6]

4.2.1. Hlavní dvouokruhový tandemový brzdový válec

Hlavní dvouokruhový tandemový brzdový válec (HBV) má pracovní prostory uspořádané za sebou. V tělese HBV jsou dva písty, hlavní a plovoucí. Mezi těmito písty, plovoucím pístem a dnem jsou pružiny. Hlavní píst má vybrání, do kterého ústí kanálek od vyrovnávací nádoby, a tento prostor je spojen příčným a podélným kanálkem s pracovním prostorem mezi hlavním a plovoucím pístem. Podélný kanálek je opatřen ventilem s dříkem, který je posuvně uložen v plovoucím pístu. Plovoucí píst rozděluje vnitřní prostor HBV na dva pracovní prostory, mezi hlavním, plovoucím pístem a mezi plovoucím pístem a dnem HBV. Prostor mezi dnem HBV a plovoucím pístem je spojen s vyrovnávací nádobkou kanálkem, který je

opatřen ventilem se dříkem. Oba dva prostory jsou opatřeny vývodem k jednotlivým brzdovým okruhům. [1], [4]



Obr. [4] Hlavní tandemový brzdový válec pro dvouokruhové brzdy

- **Klidový stav:**

V klidovém stavu je hlavní a plovoucí píst v poloze, jako na Obr. [4], oba dva ventily jsou otevřené a pracovní prostory jsou spojené s vyrovnávací nádobkou. [1], [4], [6]

- **Brzdění:**

Při brzdění působí řidič na brzdový pedál a prostřednictvím tlačítka posouvá hlavní píst. Tím dojde k uzavření ventilu druhého okruhu a přeruší se tak spojení s vyrovnávací nádobkou. Dojde k vytvoření hydraulického dorazu mezi hlavním a plovoucím pístem, který tlačí plovoucí píst před sebou, a uzavře i ventil prvního okruhu a přeruší se spojení s vyrovnávací nádobkou. Dalším pohybem se posouvají oba dva písty, stlačují se pružiny v obou prostorech a z obou prostorů se vytlačuje brzdová kapalina do obou okruhů. Zastavením pohybu brzdového pedálu se zastaví i pohyb obou pístů, a tím přestane proudit brzdová kapalina k brzdám a je zachován stávající brzdový účinek. Zároveň zůstávají oba dva ventily uzavřené. Při plném zabrzdění dosedne hlavní píst při plně stlačené pružině na opěru pružiny na plovoucí píst a plovoucí píst dosedne na opěru pružiny u druhého ventilu rovněž při plném stlačení pružiny. [1], [4], [6]

- **Odbrzdění:**

Řidič přestane působit na brzdový pedál, pružiny začnou vracet nejprve hlavní, a následně plovoucí píst zpět do původní polohy tím, že se otevřou oba ventily

a poklesne tlak v obou pracovních prostorech. Tím dojde k odbrzdění brzd kol, od kterých je vytlačována brzdová kapalina. Nejprve dochází ke zvětšování obou pracovních prostorů a do nich je doplňována brzdová kapalina z vyrovnávací nádoby. Jako první se do klidové polohy dostane hlavní píst a následně se oba dva pracovní prostory zmenšují a přebytečná brzdová kapalina je vytlačována zpět do vyrovnávací nádoby z obou prostorů. [1], [4], [6]

- **Porucha II. okruhu:**

Při poruše tohoto okruhu je tento okruh bez brzdové kapaliny, nebo při pohybu hlavního pístu z potrubí kapalina samovolně vytéká. Z tohoto důvodu se nemůže vytvořit hydraulický doraz a díky ventilu se zasouvá při stlačování pružiny do plovoucího pístu, až se hlavní píst opře o pružinu v tomto prostoru a vytvoří se tak mechanický doraz. Dalším pohybem je plovoucí píst tlačěn hlavním pístem, a dojde tak k uzavření ventilu prvního okruhu, a brzdová kapalina je vytlačována k brzdám I. okruhu. Závada se projeví zmenšením ovládací síly na brzdový pedál, prodloužením mrtvého chodu pedálu a snížením brzdného účinku brzd vozidla. [1], [4], [6]

- **Porucha I. okruhu:**

Při poruše tohoto okruhu je tento okruh bez brzdové kapaliny, nebo při pohybu hlavního pístu z potrubí kapalina samovolně vytéká. Při brzdění se pohybuje hlavní píst jako bez poruchy až do vytvoření hydraulického dorazu. Po vytvoření hydraulického dorazu se volně posouvá plovoucí píst, díky ventilu prvního okruhu se zasouvá do plovoucího pístu, a zároveň stlačuje pružinu prvního okruhu, která dosedne na svoji opěru. Tím se vytvoří mechanický doraz a dalším pohybem hlavního pístu se vytlačuje brzdová kapalina z druhého okruhu k příslušným brzdám druhého okruhu. Závada se projeví stejně jako při poruše II. okruhu. [1], [4], [6]

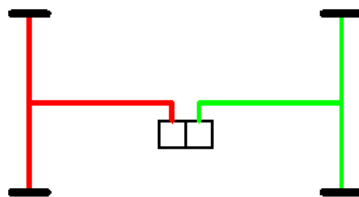
4.2.2. Uspořádání brzdových okruhů

Z bezpečnostních důvodů musí být u současných vozidel brzdová soustava tvořena soustavou dvouokruhových brzd, tzn., že převod brzdy tvoří dva na sobě nezávislé okruhy, které jsou ovládány současně a současný je i brzdný účinek na kolech. Při poruše jednoho z nich tak zůstává v činnosti okruh druhý, aniž by byl poruchou ovlivněný. [1]

4.2.2.1. Uspořádání „přední/zadní“ (II)

Jeden okruh působí na brzdy kol přední nápravy a druhý okruh působí na kola zadní nápravy. Nevýhodou uspořádání je, že při poruše, výpadku brzdového okruhu na přední

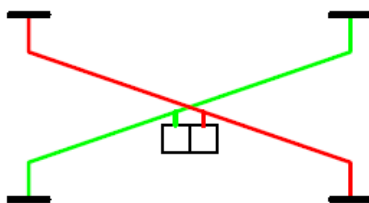
nápravě je brzdný účinek na zadní nápravě podstatně nižší. Rozdělení brzdného účinku přední : zadní náprava je cca 70 % : 30 %. [1]



Obr. [5] Uspořádání „přední/zadní“ (II)

4.2.2.2. Uspořádání „diagonální“ (X)

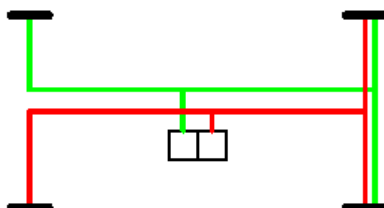
Jeden okruh působí na pravé přední kolo a levé zadní, druhý na levé přední kolo a zadní pravé. Rozdělení brzdného účinku přední : zadní náprava je 50 % : 50 %. [1]



Obr. [6] Uspořádání „diagonální“ (X)

4.2.2.3. Uspořádání „trojúhelníkové“ (LL)

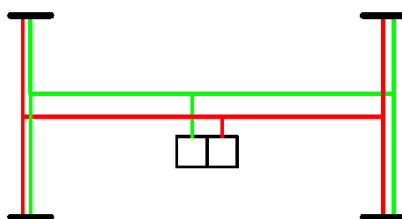
Jeden okruh působí na přední nápravu a zadní levé kolo, a druhý okruh působí na přední nápravu a zadní pravé kolo. Rozdělení brzdného účinku přední : zadní náprava je 50 % : 50 %. [1]



Obr. [7] Uspořádání „trojúhelníkové“ (LL)

4.2.2.4. Uspořádání „čtyři-čtyři“ (HH)

Oba dva okruhy působí na přední i zadní nápravu tzn., že ovládání brzd je zdvojené, takže při poruše jednoho okruhu brzdí brzdy obou náprav, i když se sníženým účinkem. Toto uspořádání se používá pro brzdové soustavy s nevyššími požadavky. [1]



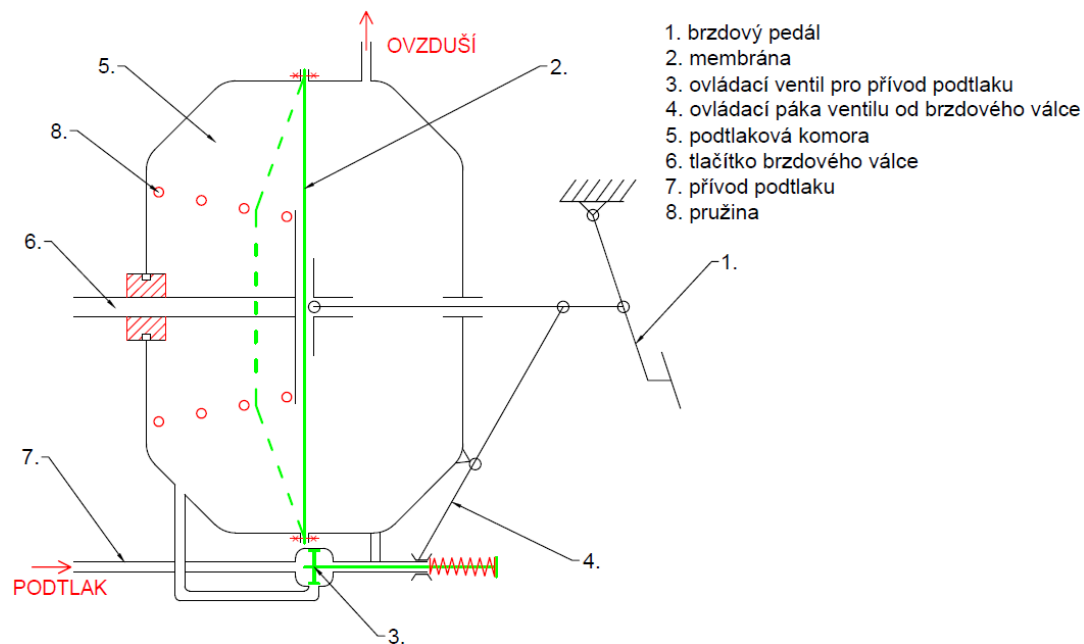
Obr. [8] Uspořádání „čtyři-čtyři“ (HH)

4.2.3. Posilovač brzdného účinku

U vozidel, kde se používají kotoučové brzdy, postupně roste ovládací síla, která zvyšuje fyzickou zátěž řidiče. Aby se tato fyzická zátěž snížila, u polostrojných brzd zajišťuje část ovládací síly řidič a část jiný zdroj ovládací síly - posilovač brzdného účinku. Toto zařízení využívá rozdíl tlaků působících na membránu z jedné strany nebo druhé strany. Na jednu stranu působí atmosférický tlak, na druhou buď podtlak, nebo přetlak. Podle toho dělíme posilovače brzdného účinku na podtlakové nebo přetlakové. [1], [4]

4.2.3.1. Podtlakový posilovač brzdného účinku

Podtlakový posilovač je přídavné zařízení hlavního brzdového válce, na kterém je také umístěný. Posilovač tvoří dvojdílná komora rozdělená membránou, která je spojena tlačítkem HBV na jedné straně a s brzdovým pedálem na straně druhé. Membrána je v základní poloze udržována pružinou. Provedení posilovače může být dvojího typu. Buď je v klidovém stavu na obou stranách membrány atmosférický tlak, nebo je zde podtlak a při brzdění se v prvním případě na levou stranu membrány přivede podtlak, a v druhém případě se na pravou stranu přivádí atmosférický tlak. Ovládání přivádění podtlaku nebo atmosférického tlaku zajišťuje ovládací ventil. U zážehových motorů se podtlak odebírá ze sacího potrubí motoru, u vznětových motorů podtlak vytváří vakuové čerpadlo. [1], [4], [6]



Obr. [9] Podtlakový posilovač brzdného účinku

- **Klidový stav:**

V klidovém stavu řidič nepůsobí na pedál a podle uspořádání je na obou stranách membrány buď podtlak, nebo atmosférický tlak. Na membránu nepůsobí žádná síla a ve střední poloze je udržována pružinou. [1], [4]

- **Brzdění:**

Řidič působí na pedál a tím se začne prohýbat membrána a zároveň tlačí tlačítko na hlavní píst HBV. Současně se otevře ventilem ovládaná páka přívodu atmosférického tlaku nebo podtlaku. Je-li v klidovém stavu v obou komorách atmosférický tlak, přivádí se podtlak na levou stranu membrány, a tím vznikne rozdílný tlak působící na membránu ve směru průhybu membrány, a ulehčí se tak ovládací síla řidiče na brzdový pedál. Je-li v klidovém stavu v komorách podtlak, přivádí se na pravou stranu membrány atmosférický tlak. [1], [4], [6]

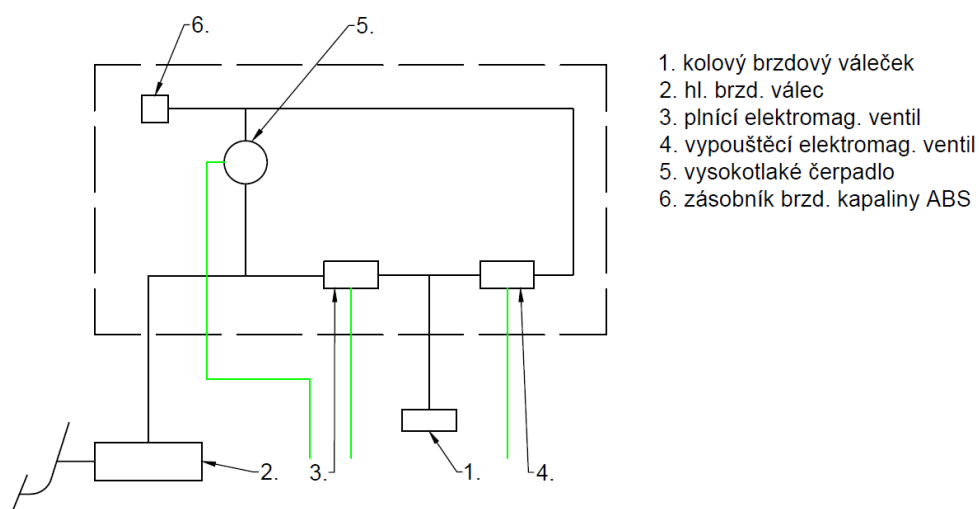
4.2.3.2. Aktivní posilovač brzdného účinku

U moderních brzdových systémů se používá elektricky ovládaný aktivní posilovač s rozšířenými funkcemi. Pro zaručení vysokého nárůstu tlaku, zejména při nízkých teplotách, se aktivní posilovač používá k předběžnému zásobení systému ESP. U elektrického brzdového asistenta slouží aktivní posilovač jako pomoc při panickém brzdění, kdy většina řidičů v kritických situacích nesešlápne brzdový pedál dost intenzivně. V brzdovém systému se tak nevytvoří maximální tlak, což má vliv na délku brzdné dráhy. Tento problém dokáže

vyřešit elektronické zařízení hydraulický brzdový asistent. Elektronická řídicí jednotka zjišťuje stav nouze pomocí snímače polohy pracovního pístu posilovače a porovnává jej s referenčními hodnotami. V případě, kdy nastane podle údajů kritická situace, dojde k aktivaci elektromagnetického ventilu umístěného mezi brzdovým pedálem a tlačítkem HBV. Tento ventil okamžitě zavzdušní pracovní komoru posilovače a zajistí tak největší možný tlak, a tím i posilovací účinek. Po odbrzdění se přívod elektrického proudu do elektronického ventilu vypíná a vypíná se tak i celý pomocný systém HBA. Tento systém za ideálních podmínek dokáže zkrátit brzdovou dráhu až o 40 %. U adaptivní kontroly odstupu ACC zajišťuje s využitím radarových senzorů bezpečnou vzdálenost od vpředu jedoucího vozidla nezávisle na ovládní brzdového pedálu. [3], [4], [6]

4.2.4. Hydraulická jednotka ABS

Jedná se technickou součástí, která je umístěna za hlavním brzdovým válcem, se kterým je spojena pomocí brzdového potrubí. Z HBV ústí dvě brzdové trubky (dvouokruhové brzdy), které jsou přivedeny do hydraulické jednotky systému ABS. Hydraulická jednotka ABS je tvořena regulačními obvody, kdy jeden regulační obvod má jeden plnicí a jeden vypouštěcí elektromagnetický ventil, zásobník brzdové kapaliny ABS a vysokotlaké čerpadlo. Regulační obvody jsou samostatné pro každé kolo, takže v hydraulické jednotce ABS jsou 4 elektromagnetické plnicí a 4 vypouštěcí ventily. Zásobník brzdové kapaliny je samostatný pro každý okruh, resp. může být společný s oddělenými částmi. Vysokotlaké čerpadlo je společné pro oba dva okruhy, tzn. pro všechny regulační obvody, nebo může být také samostatná pro každý okruh. Hydraulická řídicí jednotka je umístěna za HBV společně s elektronickou řídicí jednotkou ABS. [3], [4]



Obr. [10] Zjednodušené schéma hydraulické jednotky ABS

4.2.5. Omezovač brzdného tlaku

Během brzdění dochází vlivem klopného momentu ke změně zatížení náprav vozidla. Tato změna je závislá na velikosti brzdění, zatížení, rozložení užitečného nákladu a na výšce těžiště. Při brzdění vozidla v přímém směru jízdy dochází k zatěžování přední nápravy a odlehčení nápravy zadní. Při brzdění ve směrovém oblouku vzniká přídatné zatížení vnějších a odlehčení vnitřních kol. Brzdy vozidel jsou dimenzovány tak, aby si při průměrném zabrzdění a zatížení vozidlo zachovalo směrovou stabilitu a říditelnost. Při velkých odchylkách může dojít k předčasnému zablokování kol zadní nápravy a následnému smyku, nebo zablokování kol přední nápravy a vozidlo se tak stává neřiditelným. Tuto součást může nahradit systém EBD. [1], [4]

4.2.6. Brzdová kapalina

Pro kotoučové brzdy se jako ovládací médium používá brzdová kapalina. Požadavky na brzdovou kapalinu jsou shrnuty v mezinárodních normách. Mezi normy, zabývající se požadavky na brzdové kapaliny patří americká norma FMVSS CFR 571.116, která používá specifikaci DOT. Dále požadavky na brzdové kapaliny se zabývá norma SAE J 1703f a ISO 4925. [9] Základní požadavky na brzdové kapaliny jsou následující:

- bod varu odpovídající s určitou rezervou tepelným požadavkům brzdového systému
- tepelná a chemická stabilita, odolnost vůči korozi, neagresivita vůči pryžovým částím
- co nejmenší hydroskopičnost (pohlcování vzdušné vlhkosti)
- minimální změna viskozity v závislosti na změně teploty
- vysoký bod varu [1]

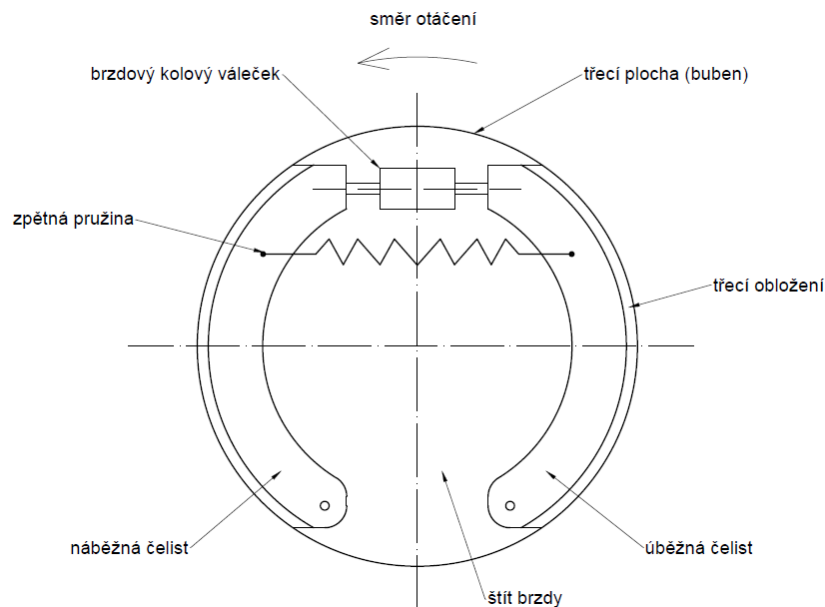
Brzdová kapalina s označením DOT 3 má suchý bod varu (0 % obsahu vody) 205 °C, mokrý bod varu (3,5 % obsahu vody) 140 °C, DOT 4 (nejpoužívanější) má suchý bod varu 230 °C, mokrý bod varu 155 °C, DOT 5 má suchý bod varu 260 °C a mokrý bod varu 180 °C. Brzdové kapaliny se jsou vyrobeny na bázi silikonu, glycolu nebo minerálních olejů, avšak kapalinu na bázi minerálních olejů používá pouze firma Citroën. Během provozu kapalina přijímá vzdušnou vlhkost a po 2 letech používání obsahuje zhruba 3 % vody, proto je doporučeno vyměňovat brzdovou kapalinu ve vozidle každý rok, aby nedošlo k poklesu brzdného účinku, případně až k selhání brzd. [1], [4], [9]

5. Bubnové brzdy osobních automobilů - druhy, konstrukce

Hlavní část je tvořena otáčejícím se bubnem, jehož vnitřní válcový povrch tvoří třecí plochu. Při brzdění jsou na tuto plochu přitlačovány brzdové čelisti s třecím obložením, které jsou umístěny ve vnitřním prostoru bubnu. Radiální přitlačení čelistí na třecí plochu zajišťuje kolový brzdový váleček, který působí na jednom konci každé čelisti. [4]

5.1. Vlastnosti bubnových brzd

- bubnové brzdy mají samoposilující účinek, který může být dle závislosti uspořádání čelistí poměrně velký. Při brzdění se vytváří moment, který náběžnou čelist přitlačuje k bubnu a posiluje tak brzdný účinek, naopak u úběžné čelisti se účinek zmenšuje
- celý mechanismus brzd je umístěný uvnitř bubnu a je tak chráněn proti nečistotám
- umožňuje jednoduché přizpůsobení pro funkci parkovací brzdy
- vyznačují se poměrně dlouhou životností brzdového obložení
- při dlouhodobém brzdění nastává pokles brzdného účinku, tzv. vadnutí brzd a následně vlivem silného zahřátí může dojít k deformaci brzdového bubnu [1]



Obr. [11] Schéma jednonáběžné brzd (Simplex)

5.2. Druhy bubnových brzd

Podle ovládání a uložení brzdových čelistí rozlišujeme brzdy jednonáběžné (Simplex), dvounáběžné (Duplex), dvounáběžné obousměrné (Duo-duplex), brzdy se spřaženými čelistmi (Servo) a obousměrné dvounáběžné se spřaženými čelistmi (Duo-servo). [1]

5.2.1. Jednonáběžná brzda (Simplex)

Jedná se o nejjednodušší typ bubnové brzdy, která je tvořena náběžnou a úběžnou čelistí. Přítlačná síla je vytvářena společným brzdovým kolovým válečkem, vačkou, klínem nebo pákou. Každá z čelistí má svůj otočný čep nebo opěrnou plochu. Brzda má stejnoměrný, ale malý samoposilovací účinek. Opotřebením obložení je nerovnoměrné. Brzdný účinek nezávisí na pohybu vozidla, je stejný pro pohyb vpřed i vzad. Obr. [12] a) [1]

5.2.2. Dvounáběžná brzda (Duplex)

Tato konstrukce brzdy má při jízdě vpřed obě dvě čelisti náběžné, což vyžaduje kolový váleček pro každou čelist zvlášť. Nejčastěji se používá jednopístkový brzdový váleček, přičemž válečky tvoří současně opěru pro druhou čelist. Brzdný účinek je při jízdě vpřed větší než u jednonáběžné konstrukce, avšak při jízdě vzad je menší, protože obě čelisti pracují jako úběžné. Obr. [12] b) [1]

5.2.3. Brzda se spřaženými čelistmi (Servo)

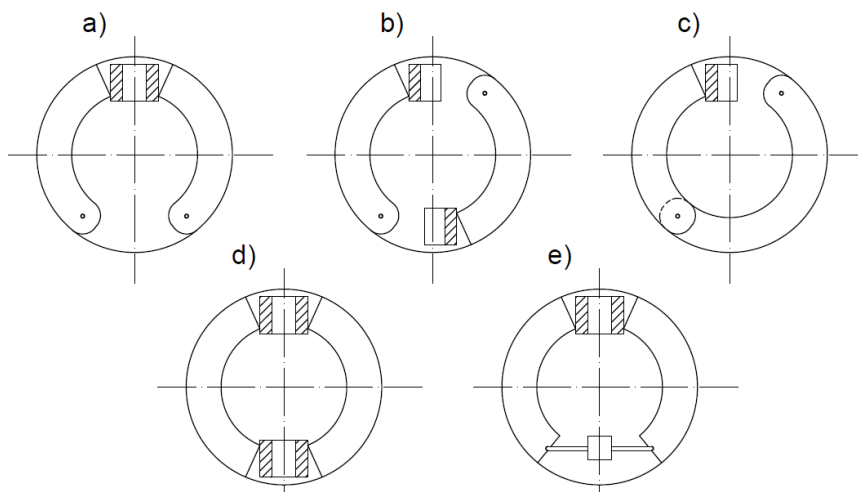
Čelisti jsou spolu spojeny tak, že na sebe působí navzájem. Při jízdě vpřed působí obě čelisti jako náběžné, při jízdě vzad jako úběžné. Obr. [12] c) [1]

5.2.4. Obousměrná dvounáběžná brzda (Duo-duplex)

Brzda je vybavena dvěma dvoupístkovými brzdovými válečky, které rozpírají obě dvě brzdové čelisti současně. Brzdný účinek je tak v obou směrech jízdy stejný. Obr. [12] d) [1]

5.2.5. Obousměrná dvounáběžná se spřaženými čelistmi (Duo-servo)

Samoposilující účinek se projevuje u obou dvou čelistí z důvodu směru působení třecí síly a tvorby brzdícího momentu. Čelisti jsou spolu spojeny pohyblivou opěrkou a pracují v obou směrech bubnu jako náběžné. Brzda se vyznačuje v obou směrech otáčení stejným brzdným účinkem a vyžaduje malou ovládací sílu. Účinnost brzdy je však snížena vlivem nečistot a vlhkosti. Často se tento druh konstrukce používá jako parkovací brzda. Obr. [12] e) [1]



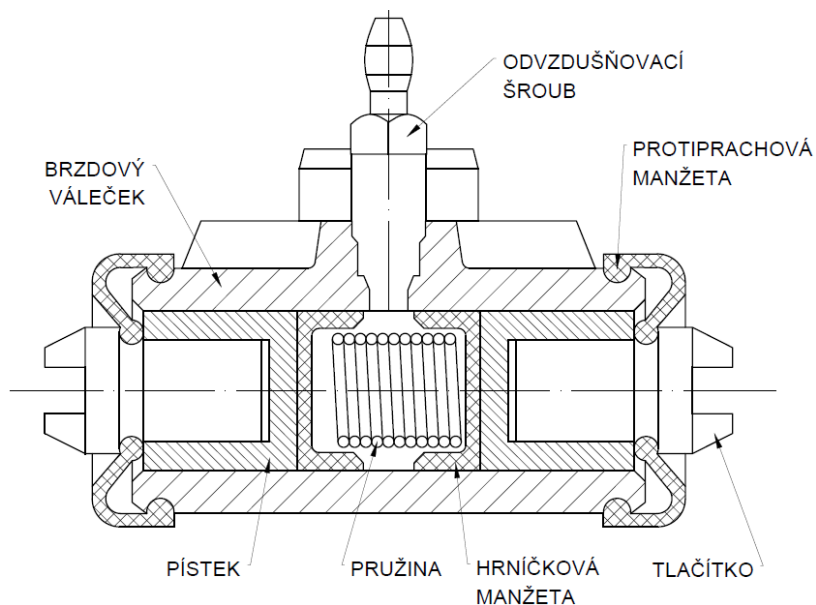
Obr. [12] Typy bubnových brzd: a) jednoduchá (Simplex), b) dvojnáběžná (Duplex), c) se spřaženými čelistmi (Servo), d) dvojnáběžná obousměrná (Duo-duplex), e) se spřaženými čelistmi obousměrná (Duo-servo)

5.3. Konstrukční části bubnových brzd

5.3.1. Rozpěrné zařízení

Účelem je přitlačovat brzdové čelisti k třecí ploše bubnu a zajistit tak brzdění. U kapalinových brzd se používají nejčastěji kolové brzdové válečky, méně často brzdové klíny. U mechanicky ovládaných parkovacích brzd se používá rozpěrná páka nebo klíč. [1]

Kolové brzdové válečky rozlišujeme na váleček se dvěma pístky a jednoduchý váleček s jedním pístkem. Ve válečku působí na pístky tlak brzdové kapaliny, který vniká v HBV, a tím se vytvoří rozpěrná síla potřebná k rozevření čelistí a jejich přitlačení k bubnu. Váleček je pevně spojený se štítem brzdy, a pístky v něm jsou utěsněny pryžovými těsnícími kroužky nebo manžetami. Manžety jsou přitlačovány k pístku pružinou přes opěrné miskičky. V případě použití hrníčkových manžet musí po odbrzdění brzd zůstat ve válečku přetlak (0,4 - 1,7 Bar = 0,04 - 0,17 MPa). Tlakem kapaliny jsou manžety tlačeny ke stěně válečku a tím utěsňují pístky. Pokud nezůstane ve válečku přetlak, hrozí zde riziko nasátí vzduchu vlivem netěsnosti. Přetlak je zajištěn výtlačným ventilem, který je umístěn na výstupu kapaliny z HBV. Protiprachové manžety zabraňují vniknutí nečistot do válečků. Z vnějších stran pístků jsou vloženy tlačítka, která přenáší pohyb a sílu na brzdové čelisti. Na zadní straně válečku jsou otvory sloužící k upevnění na štít brzdy. V nejvyšším místě válečku se nachází odvzdušňovací ventil. [1], [4]



Obr. [13] Dvoupístkový kolový brzdový váleček

5.3.2. Brzdový buben

Brzdový buben musí mít vysokou odolnost vůči otěru, při zahřívání nesmí měnit svůj tvar a rozměry a materiál musí dobře odvádět teplo. Vyrobeny mohou být z šedé nebo temperované litiny, ocelolitiny, nebo slitiny lehkých kovů. Třecí plochy jsou jemně soustruženy, nebo broušeny. Buben nesmí při otáčení axiálně ani radiálně házet a vibrovat. Pro lepší odvod tepla mohou být bubny vybaveny žebry (příčná, šikmá), která zvětšují chladící plochu a zvyšují ventilační účinek. [1], [4]

5.3.3. Brzdové čelisti

Čelisti bubnové brzdy mají základní průřez tvaru „T“ a jsou svařované z ocelového plechu, případně odlévané s lehkých slitin pro osobní automobily. [4] Na jednom konci jsou opatřeny opěrnou plochou pro výřez v tlačítku brzdového válečku, druhý konec je uložen otočně na čepu nebo se opírá o pevnou opěru. Druhý způsob uložení čelistí je lepší z důvodu samovolného vystředění a rovnoměrného opotřebení. [1]

6. Kotoučové brzdy osobních automobilů - druhy, konstrukce

Hlavní části tohoto druhu brzd tvoří otáčející se kotouč, jehož boky tvoří třecí plochy, ke kterým jsou při brzdění přitlačovány pomocí ovládacího zařízení desky s třecím obložením. [4]

6.1. Vlastnosti kotoučových brzd

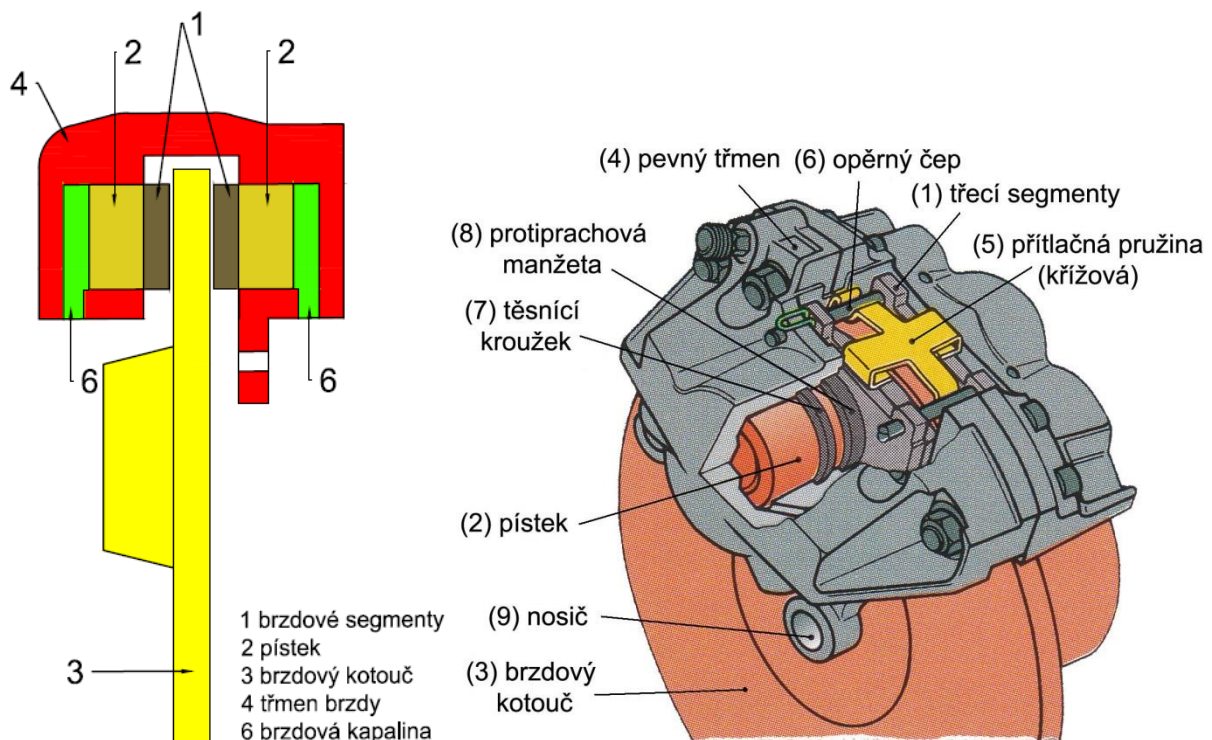
- při dlouhodobém brzdění pomocí kotoučových brzd se mění součinitel tření velmi málo, nedochází k výraznému kolísání brzdící síly a tato síla se dá lépe regulovat
- seřízení vůle mezi kotoučem a třecím segmentem (brzdové destičky) probíhá samočinně vlivem otáčení kotouče a kola
- velikost brzdícího účinku nezáleží na směru otáčení kola, tudíž je účinek brzdění stejný pro otáčení vpřed i vzad, vlivem otáčení a vzniku odstředivých sil vzniká velmi dobrý samočistící efekt
- brzdové obložení se opotřebovává rychleji, avšak kontrola a jeho výměna je velmi jednoduchá
- brzdy nemají samoposilující účinek, proto jsou brzdové válečky většího průměru (40–50 mm), čímž se dosáhne větší přitlačné síly
- z důvodu působení pístků přímo na obložení, vzniká nebezpečná tvorba parních bublin v brzdové kapalině [1]

6.2. Druhy kotoučových brzd

6.2.1. Kotoučová brzda s pevným třmenem

Tento typ kotoučové brzd využívá minimálně dvojici pístků, kdy na každé straně brzdového kotouče je jeden pístek, který přitlačuje brzdový segment (brzdové destičky) na kotouč pomocí brzdové kapaliny. U běžných OA se používají dvoupístkové a čtyřpístkové brzdy, avšak u supersportovních vozů mohou být brzdy vybaveny až dvanácti pístky. [1], [10]

Pevný třmen brzd obepíná brzdový kotouč z obou stran a je složen ze dvou částí, víka a přírubové skříně, které jsou vzájemně spojeny šrouby. Každá z těchto součástí obsahuje dutinu/y (dle počtu pístků, kterým je brzda vybavena) tvořící brzdový váleček, ve kterém jsou umístěny brzdové pístky s těsnícími pryžovými kroužky, pryžovými protiprachovými manžetami a svěracími kroužky. Válečky jsou spojeny kanály nebo brzdovým potrubím. Přitlačná plochá pružina přitlačuje třecí segmenty s obložením k pístkům a tím se vyloučí rázy při brzdění a klepání segmentů při jízdě. Tato pružina je zajištěna čepy. [1]



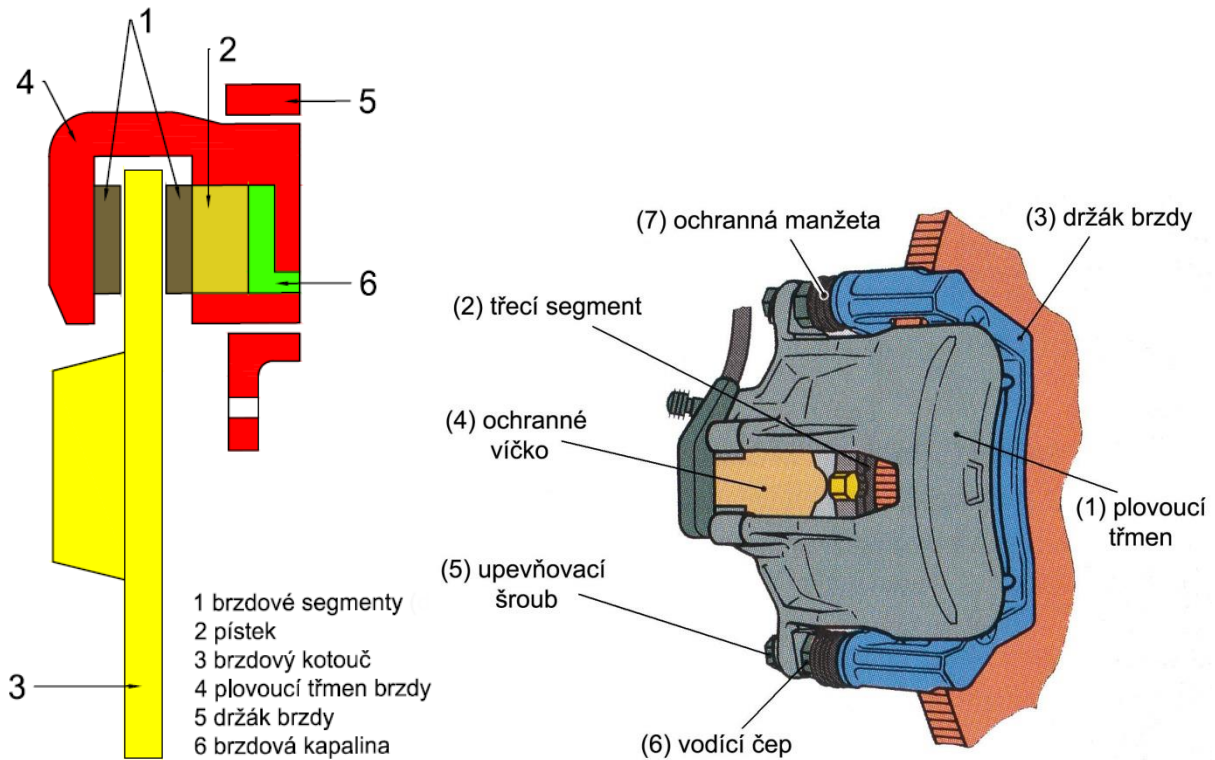
Obr. [14, 15] Kotoučová brzda s pevným třmenem

Samočinné nastavení vůle pístků, třecích segmentů vůči brzdovému kotouči je zajištěno pomocí pryžového těsnícího kroužku, který je umístěn v drážce brzdového válečku. Současně slouží i jako těsnění bránící výtoku brzdové kapaliny. Vnitřní průměr těsnícího kroužku je menší než průměr pístku, a kroužek tak pístek obepíná s předpětím. Při brzdění dochází k pohybu pístku a následně k pružné deformaci těsnícího kroužku. Síla vzniklá touto deformací vrací při poklesu tlaku brzdové kapaliny těsnící kroužek a tím i pístek zpět do své původní polohy. Tím dojde k samočinnému vytvoření vůle mezi třecím segmentem a brzdovým kotoučem. Vzdálenost, o kterou se pístek posune zpět, se nazývá brzdová vůle. Hodnota této vůle je 0,15 mm a pro uvolnění brzd je dostačující. [1], [4], [6]

6.2.2. Kotoučová brzda s plovoucím třmenem

Tento druh konstrukce kotoučové brzdy se skládá ze dvou hlavních částí, držáku brzdy a plovoucího třmenu. Oproti kotoučovým brzdám s pevným třmenem má tato konstrukce nižší hmotnost a menší rozměry, dobrý odvod tepla díky masivnímu třmenu. Vzhledem k tomu, že je pístek (pístky) umístěn pouze na jedné straně, dochází k nižší tvorbě bublin páry v brzdové kapalině. Držák brzdy upevněný na zavěšení kola je osazen dvěma vodícími čepy, na kterých je usazen plovoucí třmen brzdy. Uvnitř třmenu brzdy jsou vytvořeny dutiny, ve kterých se nachází teflonová vodící pouzdra zajišťující hladké vedení a posun třmenu. Při brzdění brzdová kapalina vytlačuje pístek ze třmene, který přitlačuje brzdový segment na brzdový kotouč z jedné strany a zároveň se tlakem kapaliny posouvá v opačném směru

v držáku třmene brzdy, který opěrou přitlačuje brzdový segment na kotouč. Navrácení brzdy do klidové polohy zajišťuje vratná síla těsnícího kroužku s podporou rozpínací pružiny umístěné uvnitř třmenu brzdy. V případě zadření se plovoucího třmenu, dochází k omezenému posuvu a tím i ke sníženému brzdnému účinku brzdy. [1], [4], [6]

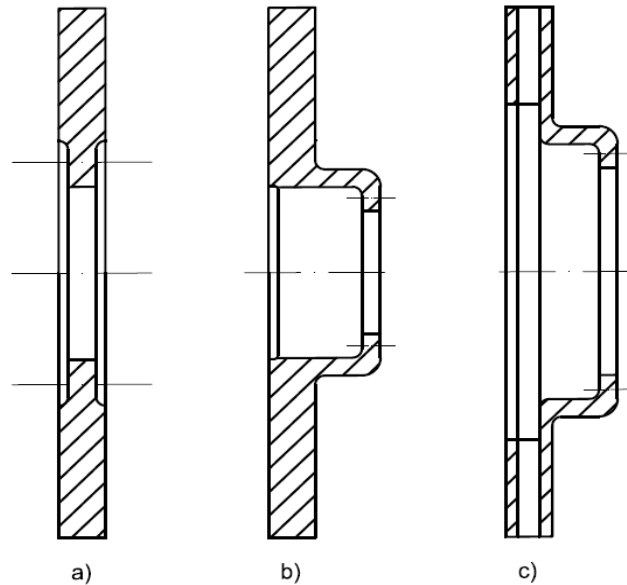


Obr. [16, 17] Kotoučová brzda s plovoucím třmenem

6.3. Konstrukční části kotoučových brzd

6.3.1. Brzdový kotouč

Jedná se o nejnamáhavější konstrukční část kotoučových brzd. Tato část je obvykle tvaru talíře, který je uchycen k náboji kola šrouby. Brzdové kotouče se obvykle vyrábějí z legované šedé litiny nebo ocelolitiny. Existuje několik konstrukčních příkladů řešení brzdového kotouče. Ploché kotouče je nejjednodušší, avšak má řadu nedostatků jako je snazší borcení kotouče a velký prostup tepla k ložiskům a následně jejich zahřívání. Hrncová konstrukce tyto nedostatky odstraňuje. U vysoce namáhaných brzd se účinnější chlazení kotouče realizuje pomocí prostorů s radiálními kanálky, které vlivem otáčení podporují lepší chlazení a odvod nečistot. Některé kotouče obsahují v třecí ploše kotouče ještě otvory, které pomáhají nižšímu ohřevu při brzdění a následně rychlého ochlazení. [4]



Obr. [18] Příklady provedení brzdových kotoučů: a) plochý kotouč, b) hrncový kotouč, c) odvětraný kotouč

6.3.2. Brzdové destičky

U kotoučových brzd je brzdové obložení přilepeno na kovové nosné segmenty, umístěné uvnitř tělesa třmenu brzdy. Na třecí segmenty jsou kladeny následující vysoké nároky: [1]

- velká tepelná a mechanická pevnost spolu s vysokou životností
- stálý součinitel tření i při vysokých teplotách při opakovaném intenzivním brzdění
- necitlivost vůči vodě a nečistotám
- odolnost vůči tvorbě sklovité povrchové vrstvy při vysokém tepelném zatížení [1]

Brzdové obložení se většinou vyrábí z organických materiálů, pro vysoce výkonné brzdové soustavy se používá obložení ze spékaných práškových kovů. Součinitel tření třecích segmentů je vyšší jak 0,4 a segmenty jsou odolné do teplot cca 800 °C. [1], [4]

7. Prvky pasivní a aktivní bezpečnosti

7.1. Pojmy

Nejprve si uvedeme význam dvou rozdílných pojmů. Pasivní a aktivní bezpečnost vozidel.

7.1.1. Aktivní bezpečnost

Prvky aktivní bezpečnosti vozidel jsou systémy, technická zařízení a vlastnosti vozu, které pomáhají zabránit nebo předejít vzniku dopravním nehodám. Mezi prvky aktivní bezpečnosti patří například: kvalitní brzdový systém, přesné řízení, dobrý výhled z vozidla, vhodné osvětlení, elektronické bezpečnostní systémy (ABS, ESP, ASR, aktivní tempomat, automatické nouzové brzdění a další), dostatečně výkonný motor, vhodné pneumatiky, apod. [11]

7.1.2. Pasivní bezpečnost

Prvky pasivní bezpečnosti vozidel přicházejí do činnosti až v okamžiku dopravní nehody. Jedná se o konstrukční zařízení a systémy, které mají za cíl minimalizovat následky nárazu. Mezi prvky pasivní bezpečnosti patří například: tuhá karoserie, deformační zóny, bezpečnostní pásy, airbagy, předepínače bezpečnostních pásů, eCall, automatické odpojení přívodu paliva po nárazu apod. [11]

7.2. Prvky aktivní bezpečnosti související s brzdovým systémem

V rámci této diplomové práce budu v této kapitole popisovat základní funkci systému aktivní bezpečnosti, která úzce spolupracuje s brzdovým systémem vozidla.

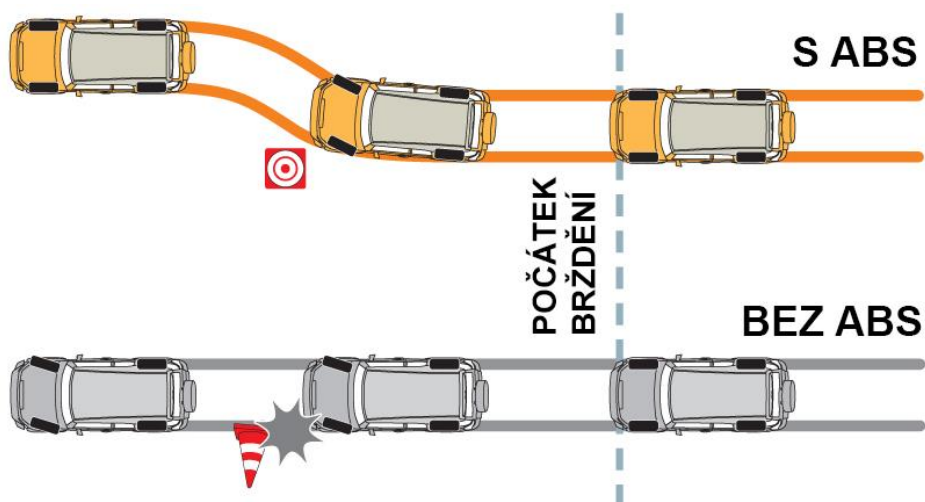
7.2.1. Adaptivní tempomat (ACC)

Asistenční systém pro řidiče, který rozezná vozidla jedoucí před vozidlem, vypočítá jejich rychlost a pomocí řízení brzd a výkonu motoru udržuje bezpečnou vzdálenost od těchto vozidel v závislosti na tempu jízdy. Aby dokázalo vozidlo samočinně brzdit, musí být ACC napojený na systémy ABS a ESP, protože pouze tak může celý systém vozidla zásahem do brzdové soustavy upravit rychlost vozidla nezávisle na řidiči. Současně je tento systém napojený na řídicí jednotku motoru, a ke snížení rychlosti je v první fázi využit moment brzdění motorem a ve druhé fázi systém využije brzdy vozidla. Snímače umístěné v přední části vozidla využívají několik druhů snímání situace před automobilem. První je radarový princip, který pracuje na základě Dopplerova jevu. Systém vysílá vlny v krátkých impulzech a během pauzy přijímá odražené vlny od hledaného objektu. Dále je možné využít lidarový princip, který pracuje podobně jako radar, avšak lidar pracuje s jiným vysílačem. Pro svoji

funkci využívá laserovou diodu, která vysílá krátké světelné impulzy a následně je přijímá. Další možností je stereokamera, která k detekci využívá dvojici kamer. Výhodou je, že kamera dokáže rozpoznat i měkké objekty (chodce, zvěř) a také spojit více funkcí v jeden snímač, např. jízda v pruzích. Poslední možností je laserový princip, který se však hodí pouze pro nízké rychlosti (do 30 km/h). [12]

7.2.2. Antiblokovací brzdový systém (ABS)

Tento systém zabraňuje zablokování kol vozidla při prudkém brzdění a následně ztrátě adheze kola k vozovce. Současně zajišťuje ovladatelnost vozidla při plném brzdění a řidič tak může současně brzdit a ovládat vozidlo. Tento systém v moderních vozidlech je doplněn společně s dalšími systémy (ASR, BAS, ESP, EBD). Za některých podmínek dokáže tento systém i zkrátit brzdnou dráhu vozidla. Tento systém doplňuje brzdovou soustavu o snímač otáček kol, hydraulické čerpadlo s jednotkou, elektronickou ŘJ a kontrolku ABS. V případě, že je detekován skluz kola větší než 17 %, dojde k aktivaci ABS a hydraulická jednotka zajišťuje rychlé brzdění a odbrzdění kol. Tato činnost se projeví jako pulzování brzdového pedálu. [1], [4], [13]



Obr. [19] Činnost systému ABS během intenzivního brzdění

7.2.3. Antiprokluzový systém (ASR)

Jedná se o rozšířenou funkci systému ABS, která zabezpečuje prokluzování hnacích kol vozidla a tím ztráty adheze a směrové stability při akceleraci na povrchu s nižší adhezí nebo při přemíře výkonu přenášeného na hnací kola. Řídicí jednotka pomocí snímačů na kolech rozpozná prokluz u hnacích kol. Pomocí elektromagnetického ventilu a elektropneumatického řídicího ventilu je prokluzující kolo přibrzdováno. Následně kolo, které se nachází na povrchu s vyšší adhezí, může přenášet hnací moment na vozovku.

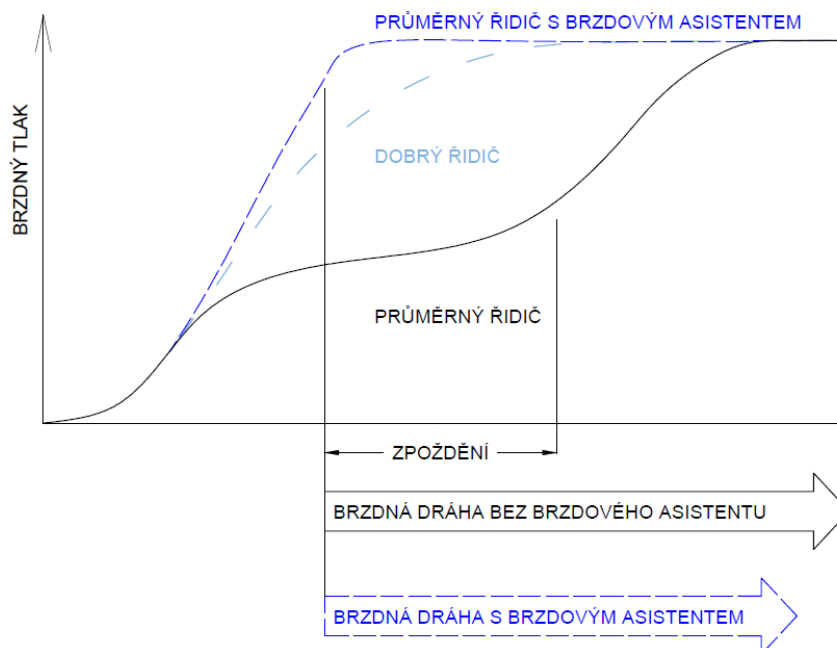
Regulace prokluzu přibrzdováním kol se používá do rychlosti 30 km/h. Pro vyšší rychlosti se používá regulace prokluzu pomocí snížení výkonu motoru. [1], [4], [13]

7.2.4. Asistent jízdy v kolonách

Systém pracuje na stejném principu jako adaptivní tempomat ACC. Funkce je ve čtyřech stupních: čím menší je vzdálenost od vozu vpředu, o to silnější je zásah tohoto systému do jízdy. Prvním stupněm je optická výstraha pro dodržení správného odstupu. Druhý stupeň před blížící se překážkou varuje opticky a akusticky, a připraví brzdovou soustavu na důrazné brzdění. Jako hlavní varování pak ve třetím stupni následuje prudké trhnutí krátkým samočinným přibrzděním a začíná vlastní automatické částečné brzdění. V nejvyšším stupni se přepne brzdový asistent na nejvyšší citlivost, a pokud řidič nereaguje, následuje brzdění o maximální intenzitě. Tím může systém snížit závažnost nehody v závislosti na konkrétní situaci, dokonce může nehodě zcela zabránit. V rozsahu rychlostí od 5 do 30 km/h pracuje s funkcí nouzové brzdy. Pokud řidič na překážku před sebou nezareaguje, nouzová brzda dokáže v optimálním případě vůz jedoucí rychlostí do 30 km/h zcela zastavit, nebo alespoň zmírnit následky střetu. [13]

7.2.5. Hydraulický brzdový asistent (HBA)

Jedná se o elektronický systém, který rozpozná, kdy řidič brzdí nouzově a nárazově dojde ke zvýšení brzdného tlaku v brzdovém systému. V kritických situacích především málo zkušení řidiči nesešlapují brzdový pedál dostatečnou silou a rychlostí. V takovém případě dochází k aktivaci tohoto systému. V případě využití brzdového asistentu je zkrácení brzdné dráhy až o 20 %. U současných vozidel se používají elektronické, hydraulické nebo mechanické brzdové asistenční systémy. Funkce je u všech druhů totožná, liší se pouze způsob snímání potřebných veličin a způsob řízení vlastní činnosti. Pod brzdovým pedálem je snímač, který snímá dynamické veličiny (rychlost a síla stlačení pedálu) a následně tyto veličiny vyhodnocuje v ŘJ. Mezní hodnotou pro aktivaci je hodnota výkonu (součin síly a rychlosti). Mezní hodnota je stanovena na základě zkušeností z provozu tak, aby nedocházelo k nežádoucímu účinku brzdění v situaci, kdy to není žádoucí. V případě aktivace dojde k dosažení maximálního brzdného účinku v co nejkratší dobu. Činnost asistentu se ruší pomocí uvolnění brzdového pedálu. Nutnou podmínkou pro efektivní činnost brzdového asistentu je, aby dané vozidlo bylo současně vybaveno i systémem ABS. [4], [5]



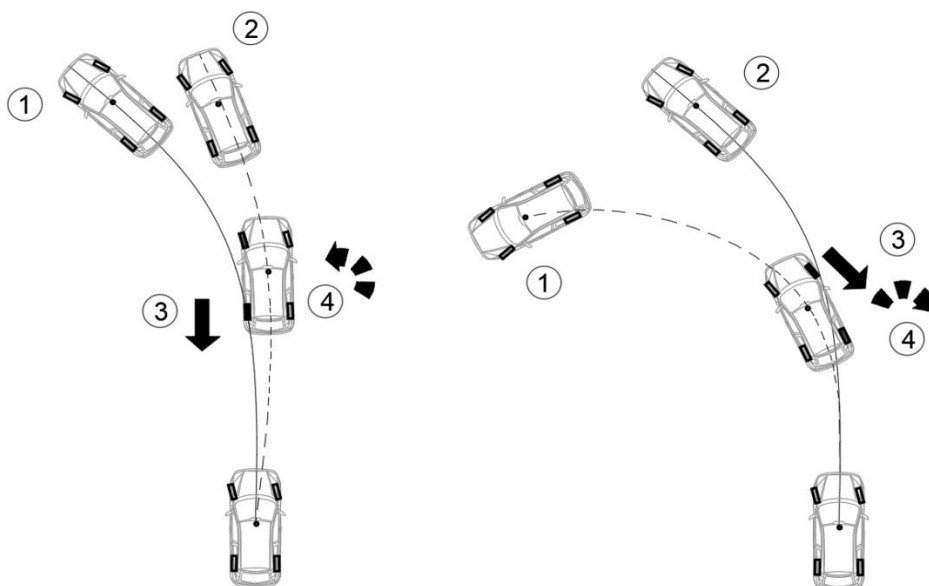
Obr. [20] Porovnání brzdě dráhy s a bez brzdového asistentu HBA

7.2.6. Elektronický stabilizační systém (ESP)

Systém stabilizace jízdy vozidla je rozšířením systémů ABS a ASR. Tyto systémy mohou regulovat pouze podélný prokluz nebo skluz kola. Systém ESP reguluje i příčný skluz kola. Velký příčný skluz kola může vést k následnému smyku vozidla a havárii. ESP zvyšuje stabilitu vozidla ve stopě při průjezdu směrovým obloukem a snižuje nebezpečí vzniku smyku při brzdění, úhybném manévru, zrychlení i volné jízdě. Tento systém vyžaduje velké nároky na elektroniku a snímače ve vozidle. Stabilizací vozidla je dosaženo samočinnými zásahy do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru bez zásahu řidiče.

Je-li zjištěn kritický příčně dynamický stav automobilu, dochází k přibrzdování příslušných kol, tím se vytvoří točivý moment kolem svislé osy vozidla, který kompenzuje nežádoucí nedotáčivý nebo přetáčivý pohyb vozidla. Současně se snižuje i točivý moment motoru odpovídající dané situaci. Dojde-li ke smyku zadní části vozidla při přetáčivém pohybu vozidla, jsou přibrzdována kola na vnější straně směrového oblouku, přičemž největší brzdná síla působí na přední vnější kolo. U nedotáčivého pohybu vozidla dochází k přibrzdění kol na vnitřní straně zatáčky, přičemž nejvíce je brzděno zadní vnitřní kolo. Systém současně sleduje reakci řidiče na vzniklou situaci a ŘJ určuje, v jaké míře ovlivnit hnací moment motoru a přibrzdit jednotlivá kola tak, aby se vozidlo stabilizovalo. Celý systém ESP se skládá z následujících částí: snímač stáčivé rychlosti se snímačem bočního zrychlení, snímač úhlu natočení volantů, snímač neregulovaného brzděného tlaku, snímač otáček, ŘJ ESP, hydraulická jednotka, brzdy, ŘJ motoru, úhel zážehu, vstřikování paliva, škrticí klapka.

[4]



Obr. [21] Zásah ESP nedotáčivém nebo přetáčivém chování vozidla

Popis obrázku č. [21] vlevo: 1 – s ESP, 2 – bez ESP, 3 – brzdná síla, 4 – vyrovnání nedotáčivosti; vpravo: 1 – bez ESP, 2 – s ESP, 3 – brzdná síla, 4 – vyrovnání přetáčivosti

7.2.7. Elektronický rozdělovač brzdné síly (EBD)

Tento systém nahrazuje omezovač brzdného tlaku, tzv. regulátor brzdného tlaku. Jedná se o dodatečnou funkci systému ABS, která umožňuje citlivější regulaci brzdného tlaku u zadních kol. Tento systém je v činnosti nejen při prudkém nouzovém brzdění, ale i provozním brzdění, a to v závislosti na stavu zatížení vozidla a přilnavosti vozovky. Řízení je ovlivňováno pomocí snímání skluzu jednotlivých kol a v závislosti na skluzu umožňuje elektronické rozdělení brzdných sil (snížení tlaku) na zadních brzdách, čímž dojde ke zvýšení jízdní stability vozidla. [4], [13]

7.2.8. Vysoušení brzdových kotoučů (BDW)

Odstraňuje vodu z povrchu brzdových kotoučů za jízdy v dešti v určitých intervalech, aby v případě potřeby brzdění byl k dispozici brzdný výkon bez prodlevy způsobené odpařením vody. [14]

7.2.9. Asistent rozjezdu do kopce (HSA)

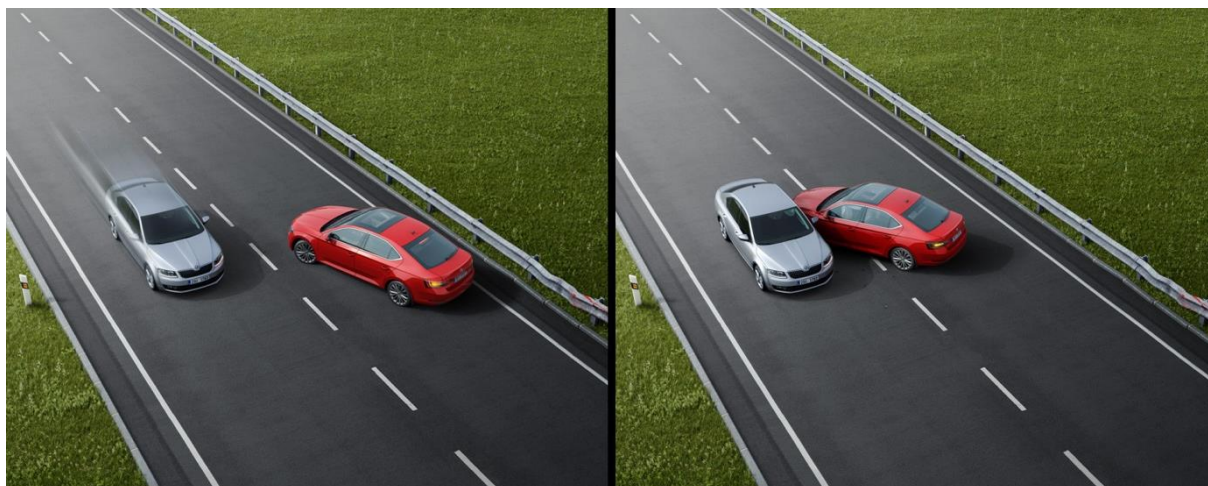
Automatické uvolnění brzd při rozpoznání rozjezdu ve stoupání. Uspadňuje rozjezd do kopce bez couvnutí při sklonu vozovky větším jak 5 %, a to při rozjezdu vpřed i při couvání. Při rozjezdu do kopce je vozidlo na 1–2 s automaticky přidrženo. Zaznamenání sklonu je realizováno prostřednictvím snímače podélného zrychlení. [14]

7.3. Prvky pasivní bezpečnosti související s brzdovým systémem

V rámci této diplomové práce se budu v této kapitole zabývat základními funkcemi systému pasivní bezpečnosti, které úzce spolupracují s brzdovým systémem vozidla.

7.3.1. Multikolizní brzda (MCB)

Jedná se o systém, který je součástí systému ESP. Úkolem multikolizní brzdy je zabránění postřetového pohybu vozidla po primárním nárazu do protisměru nebo mimo vozovku, aniž by tomu mohl řidič zabránit z důvodu šoku nebo zranění. Tento systém dokáže po aktivaci zádržných systému vůz zastavit až do zbytkové rychlosti 10 km/h bez předchozího ovlivnění od řidiče. Při aktivaci multikolizní brzdy se rozsvítí varovné blikače a brzdová světla. Systém může řidič vypnout pomocí přidání plynu nebo následným plným brzděním. Systém vyvinula firma Volkswagen a používá ho ve svých koncernových vozidlech. [13]



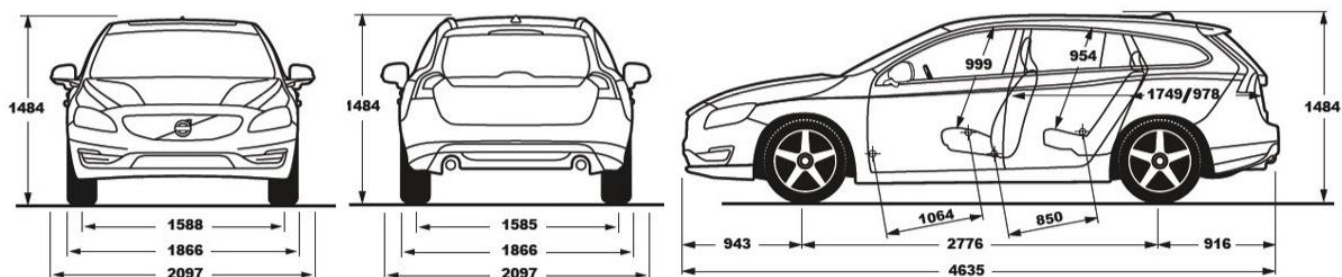
Obr. [22] Činnost multikolizní brzdy

8. Technické specifikace kotoučových brzd

Technické specifikace kotoučových brzd jsou závislé na mnoha faktorech, které dále ovlivňují vlastnosti jednotlivých komponentů kotoučových brzd na vozidle. Pro znázornění různorodosti technických specifikací kotoučových brzd jsem vybral nejčastěji se vyskytující se vozidla na evropských komunikacích, vyráběná v současné době, tak aby byla vždy od jiného výrobce. Data jsou uvažována k roku 2017 a 2018. Jedná se o vozidla nižší střední a střední třídy. [7], [18]

8.1. Základní technické parametry vybraných vozidel

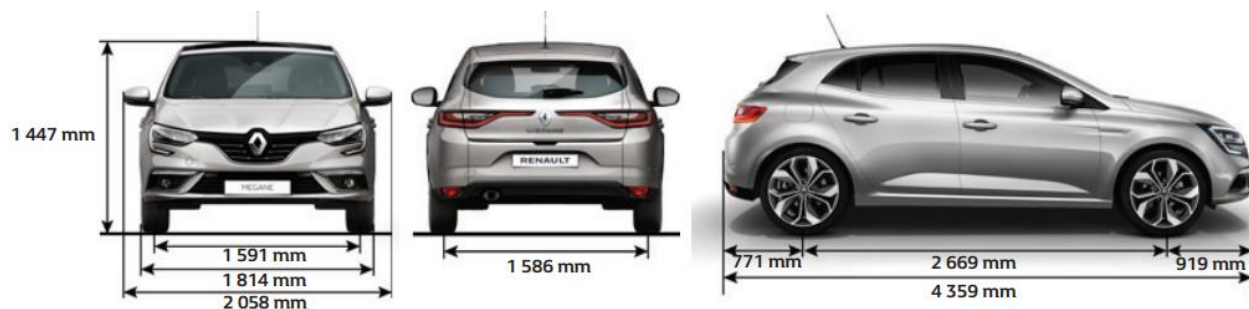
K popisu technických specifikací kotoučových brzd byla vybrána následující vozidla: Volvo V60, Škoda Octavia Combi, Renault Megane, Volkswagen Golf, Ford Focus, Toyota Auris. Základní rozměry vybraných vozidel jsou následující:



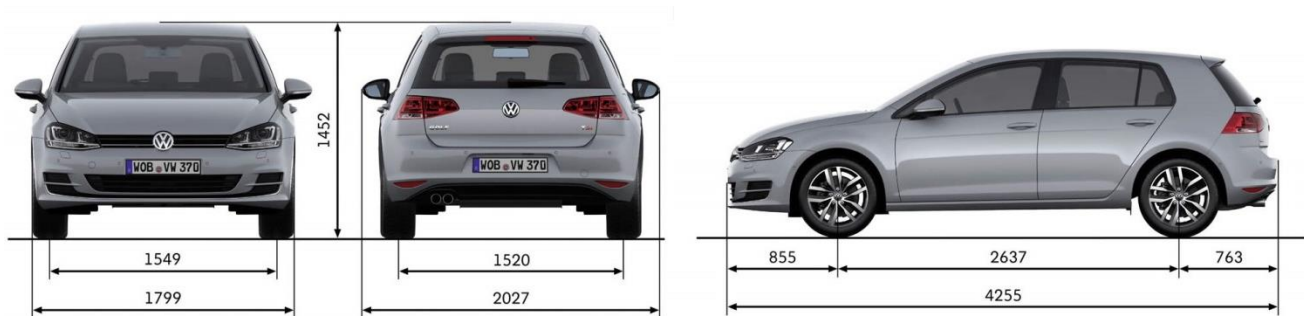
Obr. [23] Základní rozměry vozidla Volvo V60



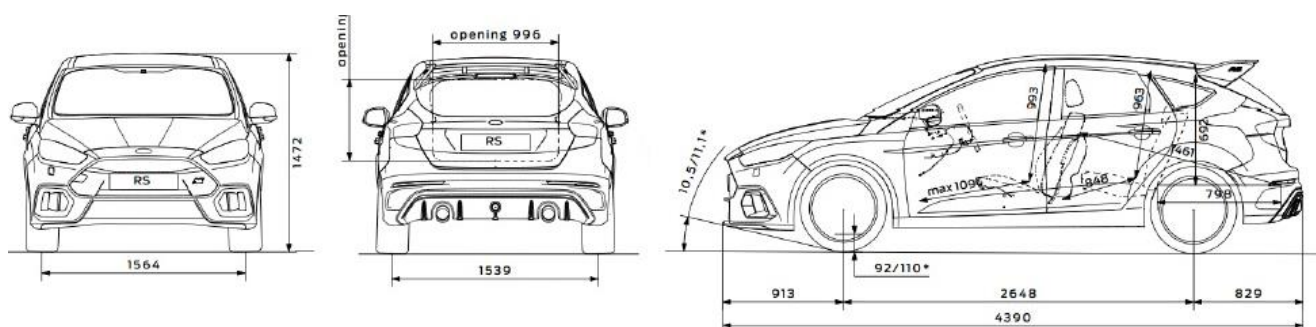
Obr. [24] Základní rozměry vozidla Škoda Octavia Combi



Obr. [25] Základní rozměry vozidla Renault Megane



Obr. [26] Základní rozměry vozidla Volkswagen Golf



Obr. [27] Základní rozměry vozidla Ford Focus



Obr. [28] Základní rozměry vozidla Toyota Auris

Vozidla jsou vybavena jak pohonem předních kol, tak i pohonem všech kol. Pohonné jednotky jsou tvořeny zážehovým, vznětovým a hybridním ústrojím s manuální nebo automatickou převodovkou. Bližší technické parametry jednotlivých motorizací včetně velikosti jednotlivých brzdových kotoučů jsou uvedeny v následujících tabulkách č. 2.–7.

Tabulka 2. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla Volvo V60 [19], [20]

Volvo V60									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška kotouče (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška kotouče (mm)	Pohon
D2	1969	88	280	nafta	1604/1648	205/60/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
D3	1969	110	320	nafta	1600/1612	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
D4	1969	140	400	nafta	1615/1669	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
D4 AWD	2400	140	440	nafta	1715	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	všech kol
D5	1969	165	470	nafta	1646	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
D5/ TWIN ENGINE	2400	170	620	nafta+ elektro	1880	235/45/R17	300/28/52	302/11(22)/40,7	všech kol
D6/ TWIN ENGINE	2400	212	640	nafta+ elektro	1973	235/45/R17	300/28/52	302/11(22)/40,7	všech kol
T3	1498	112	250	benzín	1591	205/60/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
T4	1969	140	300	benzín	1576	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
T5	1969	180	350	benzín	1614	215/55/R16	300/28/52	302/11(22)/40,7	přední
T6	1969	225	400	benzín	1629	235/40/R18	335/28/52	302/22/40,7	přední
Polestar	1969	270	500	benzín	1721	245/30/R20	371/34/52	302/22/40,7	všech kol

Tabulka 3. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla Škoda Octavia Combi [21], [22]

Škoda Octavia Combi									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Pohon
1.2. TSI	1197	77	175	benzín	1252/1277	195/65/R15	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.4. TSI-Gtec	1395	81	200	gas	1412	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.8. TSI	1798	132	250	benzín	1342/1357	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.8. TSI 4x4	1798	132	280	benzín	1450	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	všech kol
1.6. TDI	1598	77	250	nafta	1327/1342	195/65/R15	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
2.0. TDI	1968	110	320	nafta	1352/1372	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
2.0. TDI	1968	135	380	nafta	1489	225/45/R17	340/30/49,7	272/10/48,3	přední

Tabulka 4. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla Renault Megane [23], [24]

Renault Megane									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Pohon
115 Sce	1598	84	156	benzín	1275	195/65/R15	269/22/44	260/8/44	přední
100 Tce	1197	74	175	benzín	1280	195/65/R15	269/22/44	260/8/44	přední
130 Tce	1198	97	205	benzín	1280/1333	205/55/R16	280/24/44	260/8/44	přední
205 Tce	1618	151	280	benzín	1467	225/45/R17	320/28/44	290/11/44	přední
90 dCi	1461	66	220	nafta	1280	195/65/R15	269/22/44	260/8/44	přední
110 dCi	1461	81	260	nafta	1280/1386	205/55/R16	280/24/44	260/8/44	přední
130 dCi	1598	96	320	nafta	1393	205/55/R16	296/26/44	260/8/44	přední
165 dCi	1598	120	380	nafta	1505	225/45/R17	320/28/44	290/11/44	přední

Tabulka 5. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla VW Golf [25], [26]

VW Golf									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Pohon
1.2. TSI	1197	63	160	benzín	1205	195/65/R15	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.2. TSI	1197	77	175	benzín	1210/1229	195/65/R15	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.4. TSI	1395	92	200	benzín	1225/1249	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
1.4. TSI	1395	110	250	benzín	1268/1288	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
2.0. TSI	1984	162	350	benzín	1351/1370	225/45/R17	340/30/49,7	310/22/48,5	přední
2.0. TSI R	1984	221	380	benzín	1476/1495	225/40/R18	340/30/49,7	310/22/48,5	všech kol
1.6. TDI	1598	81	250	nafta	1299/1317	195/65/R15	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
2.0. TDI	1968	110	340	nafta	1354/1375	205/55/R16	288/25/49,7	272/10/48,3	přední
2.0. TDI GTD	1968	135	380	nafta	1377/1395	225/45/R17	288/25/49,7	272/10/48,3	přední

Tabulka 6. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla Ford Focus [27], [28]

Ford Focus									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Pohon
1.0. EcoBoost	998	74	170	benzín	1276	205/55/R16	278/25/48,4	228/11/40,7	přední
1.0. EcoBoost	998	92	170	benzín	1280/1327	205/55/R16	278/25/48,4	228/11/40,7	přední
1.5. EcoBoost	1496	110	240	benzín	1325/1364	215/50/R17	278/25/48,4	228/11/40,7	přední
2.0. EcoBoost	1998	184	360	benzín	1385	235/40/R18	320/25/48,4	271/11/40,7	přední
1.5. TDCi	1494	88	270	nafta	1343/1364	205/55/R16	278/25/48,4	228/11/40,7	přední
2.0. TDCi	1984	110	370	nafta	1415/1455	215/50/R17	278/25/48,4	271/11/40,7	přední
2.0. TDCi	1984	136	400	nafta	1458	235/40/R18	320/25/48,4	271/11/40,7	přední

Tabulka 7. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučích a brzdových destičkách vozidla Toyota Auris [29], [30]

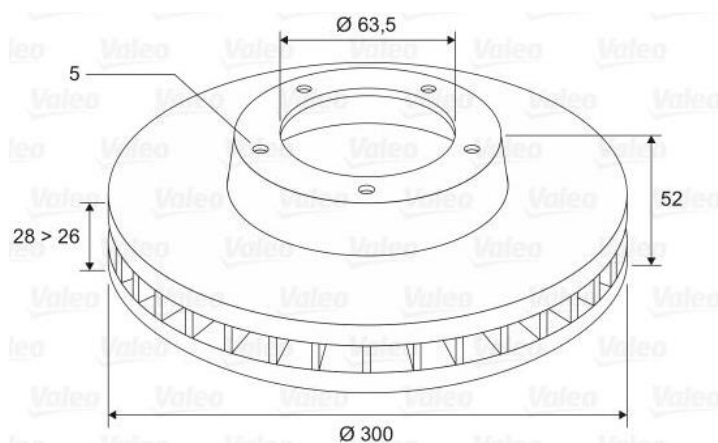
Toyota Auris									
Motorizace	Zdvihový objem (ccm)	Výkon (Kw)	Krouticí moment (N.m)	Palivo	Pohotovostní hmotnost (kg)	Rozměr kol a pneu	Přední brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Zadní brzdy, prům., tloušť., výška (mm)	Pohon
1.33 VVT-i	1329	73	128	benzín	1225	195/65/R15	275/22/46,3	259/9/30,5	přední
1.6 Valvematic	1598	97	160	benzín	1265/1280	205/55/R16	275/26/49,2	270/10/36,7	přední
1.2 Turbo	1197	85	185	benzín	1265/1280	205/55/R16	275/26/49,2	270/10/36,7	přední
1.4 D-4D	1364	66	205	nafta	1275	195/65/R15	275/26/49,2	259/9/30,5	přední
1.6 D-4D	1598	82	270	nafta	1370	205/55/R16	275/26/49,2	270/10/36,7	přední
1.8 Hybrid e-CVT	1798	100	350	benzín+ elektro	1385	205/55/R16	296/28/49,2	270/10/36,7	přední

Vybraná vozidla jsou z továrny vybavena základními pneumatikami s koly, která jsou zároveň i nejmenší možná, která lze na vybraný vůz namontovat, a to z důvodu velikosti brzdového kotouče a třmenu brzdy. Rozměry minimálního rozměru kol a pneumatik jsou uvedeny v tabulkách 2.–7.

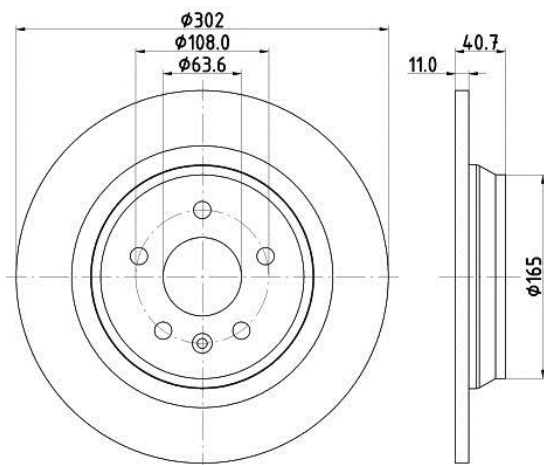
8.2. Brzdové kotouče vybraných vozidel

Všechna vybraná vozidla jsou na předních nápravách vybavena kotoučovými větranými brzdami s radiálními kanálky pro lepší odvod tepla a nečistot. Na zadních nápravách jsou vozidla většinou osazena dvojitým typem konstrukce brzdového kotouče. V prvním a také nejčastějším případě se jedná o kotouče plné, které také mají menší tloušťku a rozměry. V druhém případě se jedná o kotouče větrané s radiálními drážkami pro lepší chlazení a odvod nečistot, které mají vždy větší tloušťku, alespoň 20 mm. Z tabulky je patrné, že čím vyšší výkon produkuje motor a čím těžší je vozidlo, tím větší a silnější jsou kotoučové brzdy na daném vozidle.

Pro nejvýkonnější motorizace jsou brzdové kotouče osazeny drážkami a otvory pro lepší chlazení a intenzivnější brzdový účinek. Dále mohou být použity také kotouče vyrobené z keramických materiálů, které spolu s použitím speciálních brzdových keramických segmentů zajistí velmi vysoký brzdový účinek.



Obr. [29, 30] Větraný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, přední náprava



Obr. [31] Plný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, zadní náprava



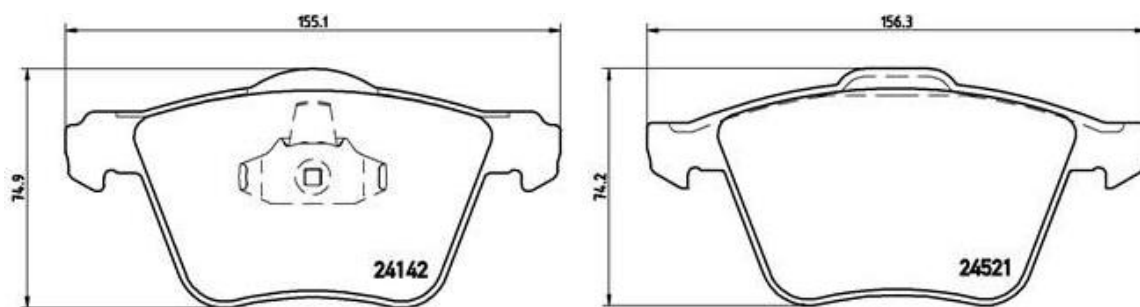
Obr. [32] Větraný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, zadní náprava

8.3. Brzdové destičky vybraných vozidel

Tabulka 8. Rozměry brzdových destiček přední a zadní nápravy vybraných vozidel [20], [22], [24], [26], [27], [30]

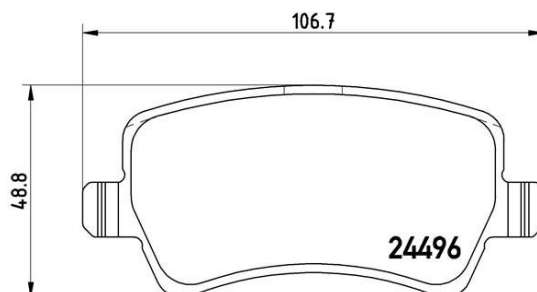
Rozměry brzdových destiček						
Vozidlo	Volvo V60	Škoda Octavia Combi	Renault Megane	VW Golf	Ford Focus	Toyota Auris
Přední brzdové destičky, šíře, tl., výška (mm)	156,3/20/74,2	160/20,3/54,8	142/18,5/58,7	156/20/73	156,3/18,2/67	146,6/17,5/57
Zadní brzdové destičky, šíře, tl., výška (mm)	106,7/16,8/48,8	104,2/16,7/51,9	87/16,2/53	109,3/16,5/53,3	123,1/16,6/52	102,2/16/45,6

Rozměry brzdových destiček jsou závislé na rozměrech brzdových kotoučů. Na předních nápravách vybraných vozidel se používají nesymetrická brzdová obložení z důvodu konstrukce vlastního tělesa brzdy (třmenu). Na straně, kde se nachází pístek, je brzdový segment větších rozměrů.



Obr. [33] Přední brzdové destičky vozidla Volvo V60

Segmenty použité na zadní nápravě jsou symetrické a nerozlišuje se použití plného nebo větraného kotouče.



Obr. [34] Zadní brzdové destičky vozidla Volvo V60

8.4. Brzdová kapalina vybraných vozidel

Brzdová kapalina slouží jako médium k ovládní brzd vozidla řidičem, a současně slouží také k ovládní spojky vozidla. Pro zvolené automobily je doporučená brzdová kapalina třídy DOT 4 ESP a objem brzdové kapaliny ve vozidlech je následující. [31] Pro všechny motorizace je tento druh a objem kapaliny totožný. Objemy brzdové kapaliny v celém brzdovém systému vybraných vozidel jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9. Objemy brzdové kapaliny ve vozidle [31]

Objem brzdové kapaliny						
Vozidlo	Volvo V60	Škoda Octavia Combi	Renault Megane	VW Golf	Ford Focus	Toyota Auris
Objem brzdové kapaliny (l)	0,4	0,8	1,0	1,0	0,7	0,6

8.5. Brzdové hadice a potrubí

Brzdové hadice slouží k propojení vlastního tělesa brzdy s potrubím a nádobkou brzdové kapaliny. Současně dovytváří dokonale těsný systém, kterým se přenáší brzdny tlak od HBV do vlastních brzd. Hadice jsou vyrobeny z poddajné pryže, neboť je nutný jejich průhyb při činnosti pérování. Jsou ochráněny buď ocelovým opletením, nebo další pryžovou hadicí chránící proti poškození. Délka hadice je závislá na tom, jestli je umístěna na zadní nebo přední nápravě a na montážní straně vozidla. Ukončení hadic je realizováno pomocí vnitřního a vnějšího závitu M10x1, M10x1,25. U vybraných vozidel je ukončení hadice realizováno pomocí závitu M10x1. [20], [22], [24], [26], [27], [30]

U motocyklů a sportovních automobilů se používají opletené, tzv. pancéřované hadice. Jádro tvoří teflonová hadička s nerezovým opletením. Díky tomu má hadička téměř neomezenou životnost, včetně velké odolnosti vůči mechanickému poškození. Hadice se nerozpíná a umožňuje přesné brzdění. Pancéřovaná hadice odolává vysokým tlakům až 600 Bar = 60 MPa, vysokému rozpětí teplot -70 °C až 230 °C, jsou odolné vůči pohonným hmotám, hydraulickým olejům a kapalinám. [17] Pancéřované hadice jsou různých průměrů. Čím menší průměr hadice, tím vyššího pracovního tlaku je možné dosáhnout. Technické specifikace pancéřových hadic jsou uvedeny v následující tabulce č. 10. Všechny hadice jsou odolné teplotám -70 °C až +230 °C.

Tabulka 10. Rozměry a vlastnosti pancéřových hadic [17]

Pancéřové hadice				
Typ	Vnitřní průměr (mm)	Vnější průměr (mm)	Max. prac. tlak (Bar)	Nárazový tlak (Bar)
D0-3	3,17	6,32	350	900
D0-4	4,76	7,92	200	840
D0-6	7,93	11,11	175	620
D0-8	10,3	14,3	100	550



Obr. [35] Pancéřová hadice tvořená teflonovým jádrem a ocelovým opletením [17]

Brzdové trubky mohou být zhotoveny z různých materiálů. Nejpoužívanějším materiálem je měď, ocel nebo hliník. Nejčastější vnější průměr brzdových trubek je 4,75 mm, může však být i 6 mm. Síla stěny trubky průměru 4,75 mm je 0,75 mm. U trubky průměru 6 mm je síla stěny 1 mm. Zakončení těchto trubek lze zhotovit pomocí pertlovacího přípravku. Zakončení je realizováno dvěma způsoby. První způsob je tzv. typ „F“ neboli klobouček - obr. [36]. Druhý způsob je typ „E“ neboli kalíšek - obr. [37]. [32] Pokud mají oba protikusy každý jiné zakončení, tak je lze spojit dohromady pomocí převlečné matice a vytvoří tak rozebíratelný, těsný spoj. U hydraulické jednotky ABS je ukončení brzdových trubek realizováno pomocí závitu M12X1.



Obr. [36] Zakončení typu „F“ klobouček

Obr. [37] Zakončení typu „E“ kalíšek

9. Navrhované druhy bezpečnostních brzdových zařízení pro vozidla účastnících se nárazových testů

V této kapitole diplomové práce jsou navrhována bezpečnostní zařízení bez ohledu na časovou, finanční, technologickou nebo prostorovou náročnost. Bude zde popsán funkční princip uvažovaných zařízení, která by mohla být během nárazových testů osazena ve zkušební vozidle. Důvod, proč se toto bezpečnostní zařízení navrhuje, pramení již z jeho názvu. Cílem je zajištění bezpečného pohybu testovaného vozidla po zkušební dráze během pohybu před nárazem, kdy by mohlo dojít k odchýlení od předem stanovené trajektorie vlivem technické závady, nedbalosti nebo jiných vlivů, a následně nekontrolovatelně vjet mezi osoby, techniku nebo přilehlé okolí. Dále také zajištění kontrolovatelného postřetového pohybu (bezpečné zastavení) po nárazu, kdy vozidlo vlivem nárazu mění svoji trajektorii.

Jeden z hlavních požadavků na navrhované zařízení je co nejrychlejší reakce, a tudíž i co nejrychlejší dosažení plného brzdného tlaku v brzdách testovaného automobilu. Referenční hodnota reakce navrhovaného zařízení byla stanovena na dobu, která by neměla být delší než 1 s. Tato hodnota vychází z doby náběhu brzd a reakce řidiče, potažmo osoby, která má na starost ovládání bezpečnostního zařízení. Viz kapitola 3.1.1. a 3.1.2. Dalším požadavkem je dosažení co nejmenší hmotnosti celého brzdového zařízení z důvodu působení velkého přetížení při nárazu. Tím dochází k násobení hmotnosti zařízení dle intenzity nárazu. Například při nárazu 30 km/h a přetížení až 10 G, bude zařízení o hmotnosti 10 kg vykazovat hodnotu tíhy přibližně 100 kg.

9.1. Bezpečnostní brzdové zařízení tvořené lineárním aktuátorem

Jedná se o zařízení, které nezasahuje do konstrukce automobilu, tudíž není nutné provádět demontáž některých částí na vozidle, které by tomuto zařízení překážely, nebo je toto zařízení nahrazovalo. Hlavní část zařízení je tvořena lineárním aktuátorem, který bude přímo působit na brzdový pedál.

9.1.1. Měření parametrů nutných k výběru lineárního aktuátoru

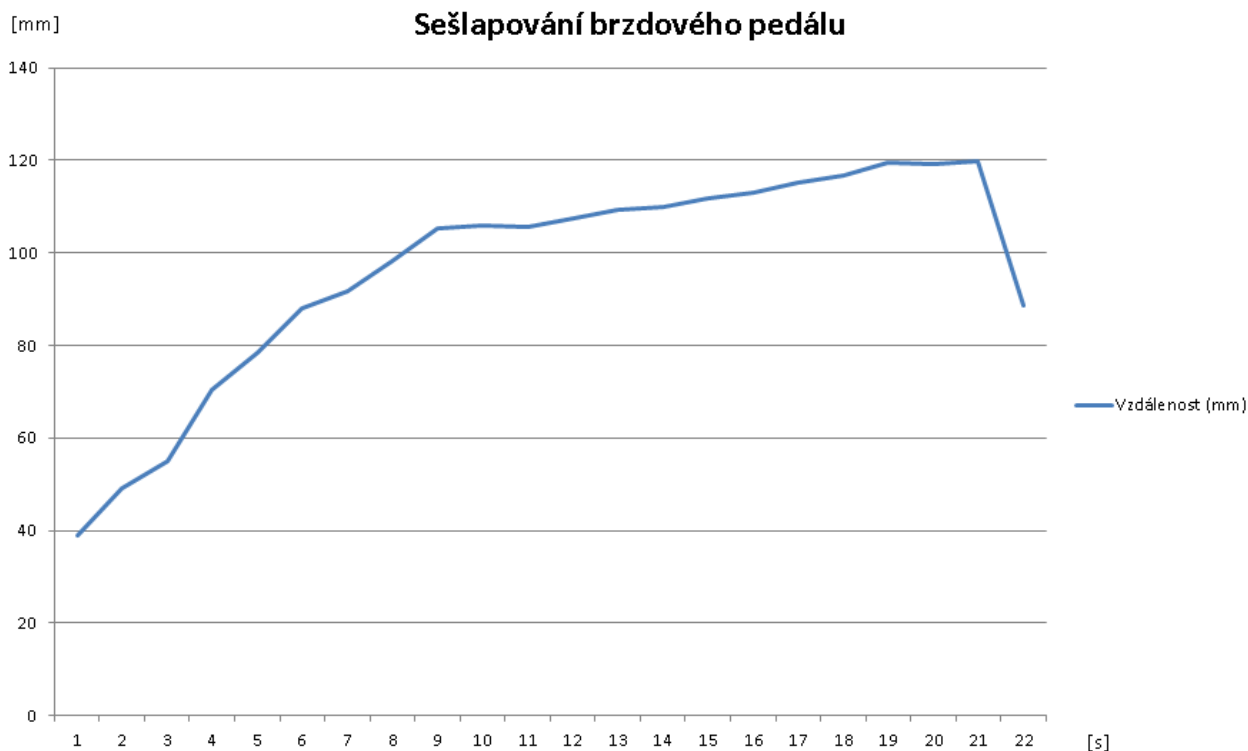
Ke zvolení správných vlastností aktuátoru (délka zdvihu, max. síla) je nutné znát několik parametrů důležitých ke správné činnosti navrhovaného brzdového zařízení při nárazovém testu, aby došlo k bezpečnému zastavení testovaného vozidla.

Prvním z parametrů je délka dráhy brzdového pedálu při plném nouzovém brzdění. Měření probíhalo na vozidle Škoda Octavia I. pomocí lankového potenciometru série WPS, řada MK30. Lankový potenciometr byl upevněný na sedadle řidiče, resp. na rukojeti ovládání posuvu sedadla řidiče a druhý konec byl upevněný za pedál brzdy. Potenciometr byl

propojen pomocí kabelu s PC a snímal pohyb ocelového lanka spojeného s pedálem brzdy. Komunikace potenciometru a PC probíhala online, skrze sběrný modul Devesoft Krypton, takže bylo možné sledovat aktuální snímaná data a současně je ukládat.



Obr. [38] Lankový potenciometr série WPS, řady MK30, na rukojeti ovládání posuvu sedadla
Při maximální síle působící na pedál, a tedy i maximálním brzděním účinku, byla naměřena vzdálenost sešlápnutí brzdového pedálu 119,8 mm. Daná hodnota byla zaokrouhlena na hodnotu 120 mm a z tohoto měření vyplývá, že je nezbytné, aby výsuv pístnice aktuátoru byl alespoň 120 mm. Průběh sešlapování pedálu v závislosti na čase a vývoj vzdálenosti je znázorněn na grafu č. 1.



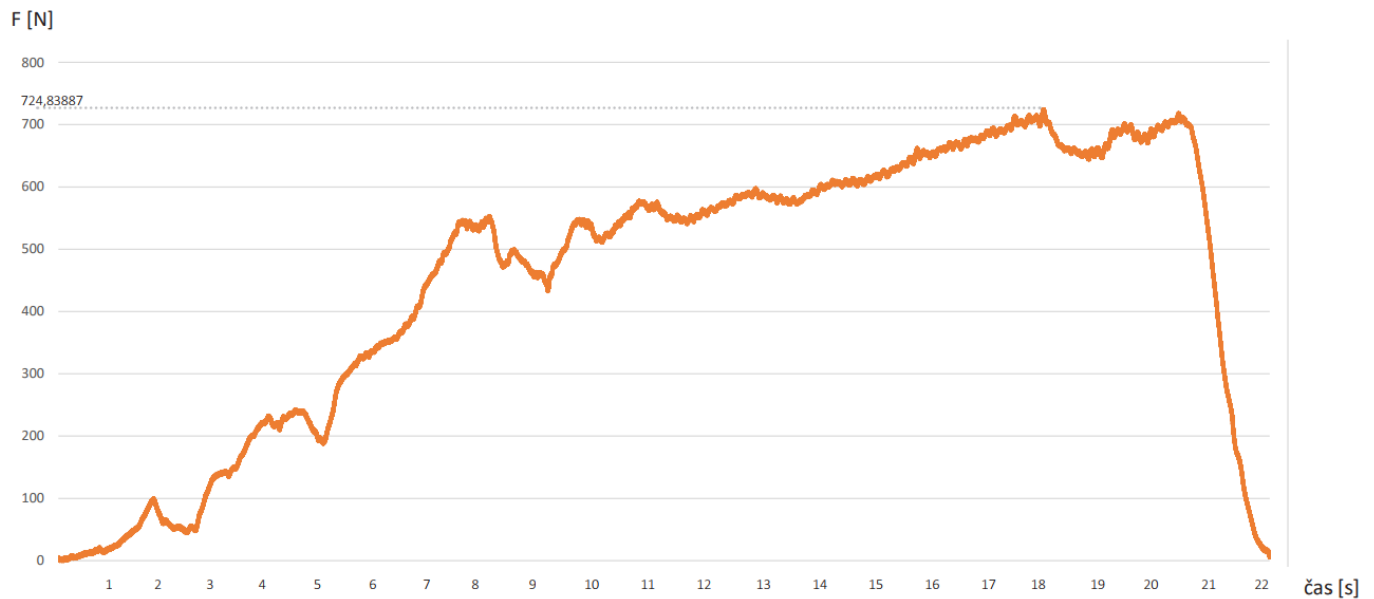
Graf č. [1] Sešlapování brzdového pedálu

Dalším snímaným parametrem byla síla, kterou řidič působí na pedál při plném nouzovém brzdění. Měření probíhalo současně s měřením vzdálenosti sešlapování brzdového pedálu. Na brzdový pedál byl umístěn siloměr Interface SSM-20kN, na který řidič začal působit maximální silou jako při nouzovém brzdění. Fyzické dispozice řidiče byly: váha 70 kg, výška 180 cm, věk 23 let. Siloměr byl stejně jako v předchozím případě spojen kabelem přes sběrný modul Dewesoft Krypton s PC, a měřená data bylo možné pozorovat online a ukládat.

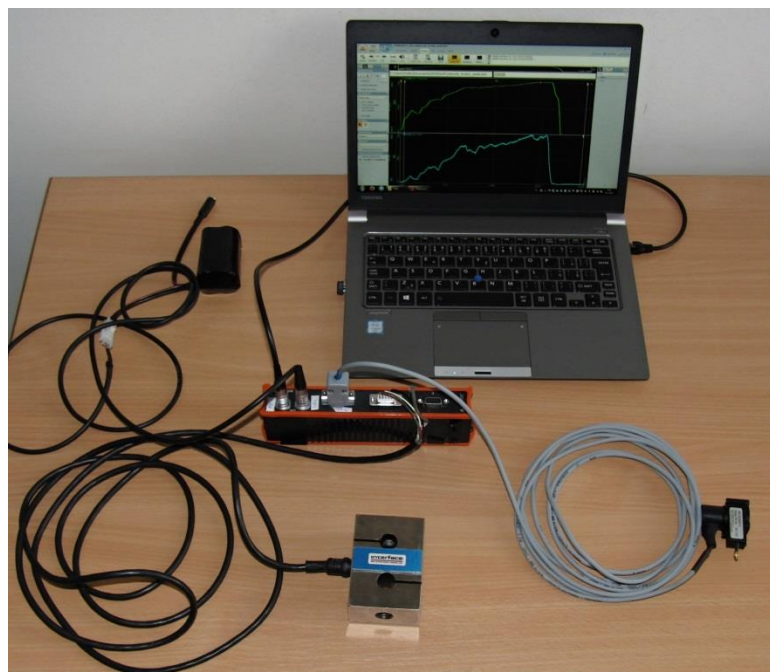


Obr. [39] Siloměr Interface SSM-20Kn při měření síly působící na pedál brzdy

Maximální zaznamenaná brzdná síla vyvinutá řidičem na brzdový pedál byla 724,83 N, která zároveň postačuje k plnému zabrzdění vozidla. Tato hodnota byla zaokrouhlena na 725 N. Takovému zatížení brzdového pedálu odpovídá přibližně tlak v brzdovém potrubí automobilu 170–180 Bar. Průběh působení síly na brzdový pedál a vyznačená maximální hodnota síly je na grafu č. 2. Z tohoto měření je patrné, že aktuátor musí být schopen vyvinout maximální sílu alespoň 730 N, aby došlo k plnému brzdnému účinku.



Graf č. [2] Síla při sešlapování brzdového pedálu



Obr. [40] Soustava PC, siloměru, lankového potenciometru, sběrného modulu Dewesoft Krypton, externího zdroje

9.1.2. Popis navržené konstrukce a parametry

Hlavní konstrukční část tvoří lineární aktuátor série DMA se stejnosměrným motorem a kuličkovým pohybovým šroubem. Ochrana proti přetížení je zajištěna pomocí pojistné kuličkové spojky, která se v případě přetížení rozpojí. Jednotlivé součásti jsou vyrobené z práškově lakované oceli a hliníkových slitin, které zaručují vysokou odolnost proti korozi. Volitelně lze doplnit nastavitelnými koncovými spínači a potenciometrem pro zjištění aktuální

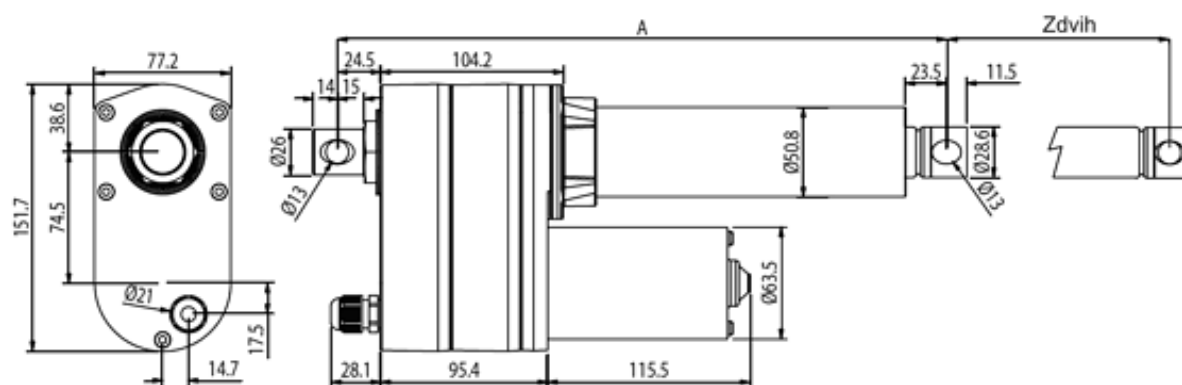
polohy. Aktuátor funguje na principu přivedení elektrického proudu do stejnosměrného motoru a následně výsuvu pístnice pomocí kuličkového šroubu a ozubených kol. Rychlost výsuvu při maximální síle lze regulovat omezením proudu nebo použitím menšího napájecího napětí, a také pomocí převodu v samotném tělese aktuátoru. Zdvih daného aktuátoru je možné realizovat od 84 mm do 610 mm. Maximální vyvozená síla aktuátoru je možná až do síly 7000 N. [15]

Tabulka 11. Parametry aktuátorů série DMA [15]

Převod	Max. proud (12 V)	Max. proud (24 V)	Rychlost při max. síle	Max. síla
5 : 1	20 A	10 A	49 mm/s	2000 N
10 : 1	19 A	9,8 A	22,5 mm/s	3500 N
20 : 1	14 A	6,75 A	14 mm/s	4500 N
30 : 1	12 A	6 A	8 mm/s	6000 N
40 : 1	9 A	4,9 A	6 mm/s	7000 N

Zdvih (±5 mm)		102 mm	153 mm	203 mm	305 mm	457 mm	610 mm
Standard	A [mm] (±3,8 mm)	302	353	404	506	735	888
S potenciometrem	A [mm] (±3,8 mm)	342	393	444	546	775	928
	Potenciometr [Ω/mm]	119	74	54	35	22	16
S koncovými spínači	A [mm] (±3,8 mm)	399	450	501	680	832	985
Hmotnost [Kg]		4,3	4,6	4,9	5,4	6,2	7,8

Celý aktuátor má stupeň krytí (odolnost) IP 65 - zamezení vniknutí prachu jakoukoliv pomůckou a ochrana proti tryskající vodě mířící 6,3 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 12,5 litrů za minutu a při tlaku 30 kN/m² po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metrů. Základní rozměry aktuátoru jsou uvedeny na Obr. [41] a tabulce č. 11. [15]

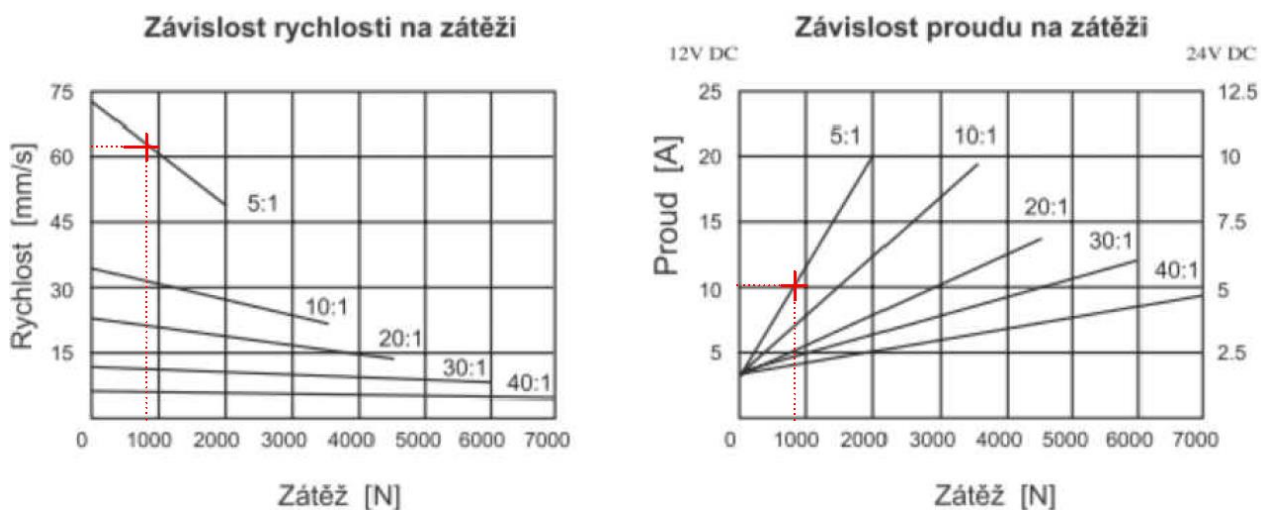


Obr. [41] Lineární aktuátor DMA-12-5-B-153-IP65

Dle výše naměřených parametrů byl shledán jako nejvhodnější aktuátor s koncovými spínači, převodem 1:5, maximální silou 2000 N a zdvihem 153 mm. Váha je 4,6 kg. Celkové označení aktuátoru je DMA-12-5-B-153-IP65. [15] Dle charakteristik závislostí daného typu

aktuátoru zobrazených na grafu č. [3] je patrné, že v případě maximální síly 730 N bude maximální rychlost výsuvu aktuátoru cca 70–65 mm/s, při proudu cca 10 A. Maximální požadované hodnoty jsou vyznačeny na grafu č. [3].

Vybraný aktuátor je vybavený koncovými spínači [15], a je tedy možné ovlivnit hodnotu výsuvu pístnice na požadovanou vzdálenost a současně tomu i odpovídající sílu působící na brzdový pedál. Vlivem toho je možné nastavit i sílu brzdného účinku od běžného provozního zpomalení až po nouzové brzdění.

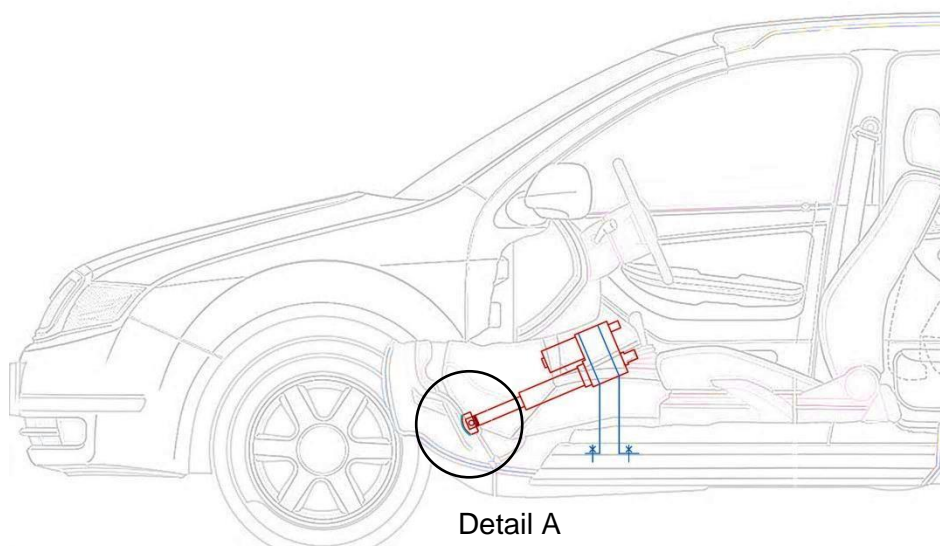


Graf č. [3] Charakteristiky lineárního aktuátoru

Z daných tabulek lze vyčíst, že rychlost výsuvu lineárně klesá s narůstající zátěží, kterou musí aktuátor vyvinout, a současně narůstá proud potřebný k činnosti aktuátoru.

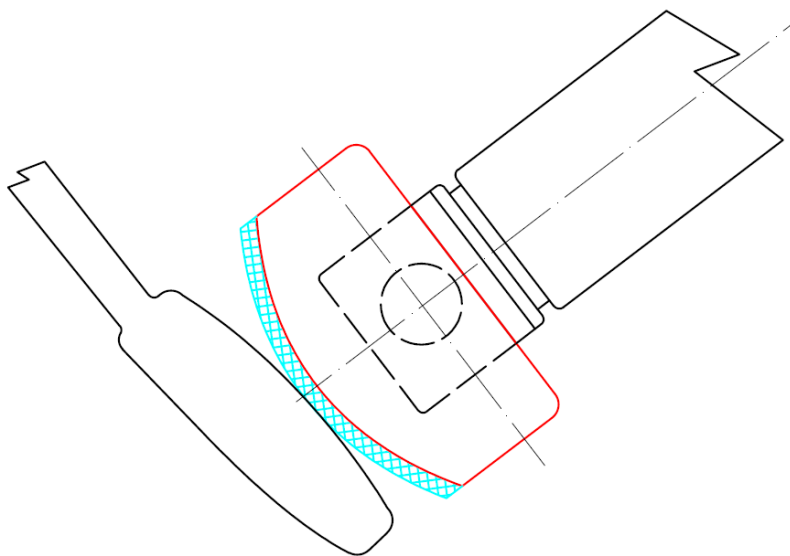
9.1.3. Umístění ve vozidle

Z důvodu přímého působení lineárního aktuátoru na brzdový pedál bude aktuátor umístěn v prostoru před předním sedadlem řidiče. Ustavení brzdného zařízení v provozní poloze bude realizováno pomocí držáku vyrobeného z ocelových profilů, které zajistí neměnný pohyb aktuátoru během celé nárazové zkoušky. Držák bude umístěn na podlaze automobilu a spojení s podlahou bude realizováno pomocí nýtové matice a šroubu. V podlaze automobilu se vyvrtají otvory pro nýtovací matice, které se pevně snýtují s podlahou, a následně se přišroubuje držák do těchto matic pomocí šroubů.



Obr. [42] Umístění lineárního aktuátoru ve vozidle

Aktuátor je na konci své výsuvné pístnice opatřen otvorem o průměru 13 mm, který je využit k osazení akčního tlačítka, které je zde umístěné na čepu tak, aby se mohlo částečně natáčet ve svislé ose a přizpůsobit se tak brzdovému pedálu. Tlačítko je vyrobené ze silnostěnného plechu, opatřené dorazy a na straně, kde dochází ke kontaktu s brzdovým pedálem, je opatřeno pryžovou plochou z důvodu zlepšení protismykových vlastností. Ustanovení samotného tělesa lineárního aktuátoru vůči poloze brzdového pedálu bude realizováno následovně. Při nesešlápnutém pedálu, a tedy odbrzděném vozidle, bude pístnice aktuátoru zasunutá v tělese aktuátoru a tlačítko na konci pístnice aktuátoru se bude těsně dotýkat plochy pedálu tak, aby mezi tlačítkem a pedálem nebyla žádná vůle. To zajistí minimální prodlevu brzdění vzniklou vymezením vůlí mezi tlačítkem na pístnici a pedálem brzdy. Znázornění vzájemného umístění tlačítka a pedálu brzdy je na Obr. [43] Detail A.



Obr. [43] Detail A

Ovládání a udání impulzu k činnosti lineárního aktuátoru je realizováno pomocí dálkového ovládacího zařízení, které bude napojeno na těleso aktuátoru a akumulátor. Druhý (automatický) způsob sepnutí činnosti celého brzdového zařízení je realizován pomocí snímače nárazu tzv. trigger, který je umístěn v místě předpokládaného nárazu vozidla do překážky. Snímač nárazu detekuje vlivem nárazu změnu v napětí, odešle impulz k elektrickému motoru lineárního aktuátoru a ten se uvede v činnost.

Napájení lineárního aktuátoru, snímače nárazu a dálkového ovládání bude realizováno pomocí jednoho externího akumulátoru s napájecím proudem alespoň 10 A při 12 V, který bude umístěn v zavazadlovém prostoru testovaného vozidla, alternativně v blízkosti lineárního aktuátoru.

9.2. Bezpečnostní brzdové zařízení tvořené membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem

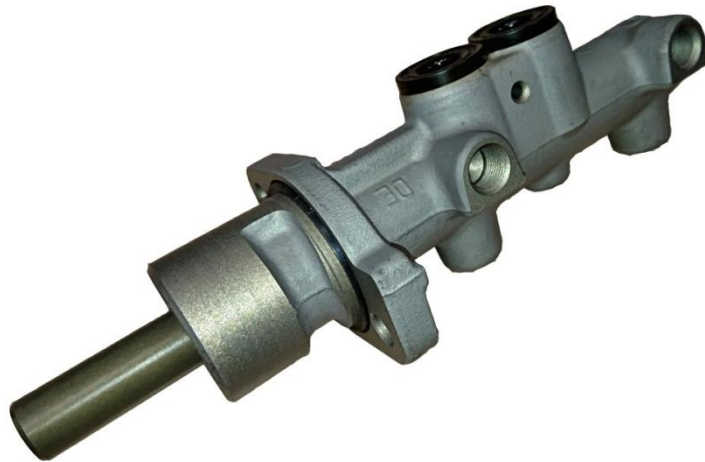
Jedná se o zařízení, které vyžaduje demontáž nebo odpojení některé z technických částí na testovaném vozidle, a zároveň toto zařízení zcela vyřazuje svým provedením a činností posilovač brzdného účinku a hlavní brzdový válec. Tento druh bezpečnostního brzdového zařízení je tvořen několika částmi, které po propojení vytvoří celek určený k dálkovému ovládní brzdění testovaného vozidla.

9.2.1. Měření parametrů nutných k výběru vhodného typu membránového akumulátoru a elektromagnetického ventilu

Ke zvolení správných vlastností membránového akumulátoru (objem, minimální a maximální pracovní tlak) je nutné znát několik parametrů důležitých ke správné činnosti navrhovaného brzdového zařízení při nárazovém testu, aby došlo k bezpečnému zastavení testovaného vozidla.

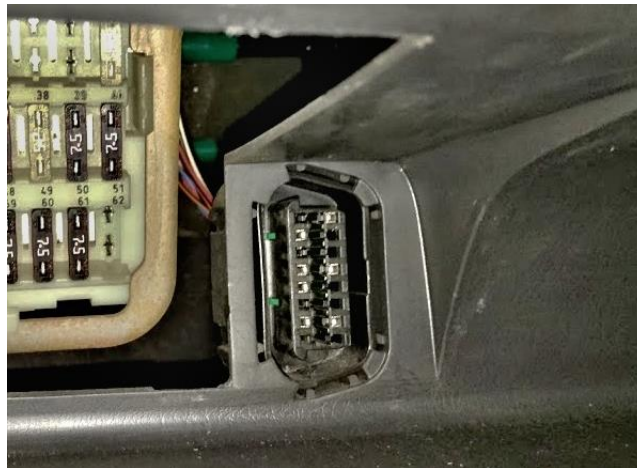
V prvním kroku bylo nutné zjistit objem brzdové kapaliny, která je vytlačována z hlavního brzdového válce při plném brzdném účinku. K měření objemu brzdové kapaliny byl poskytnut hlavní brzdový válec s nádobkou brzdové kapaliny a posilovačem brzdného účinku od výrobce Volkswagen s výrobním číslem 20 FTE X5617. Tento celek bylo nutné rozebrat na jednotlivé části a opatřit výstupní otvory I. a II. okruhu jednocestnými záslepkami, aby brzdová kapalina při následném měření vytékala pouze při vzniku tlaku v hlavním brzdovém válci. Do nádobky brzdové kapaliny, která je přímo spojená s hlavním brzdovým válcem byla nalita brzdová kapalina po maximální hodnotu. Vlivem přímého spojení s HBV došlo k vyplnění hlavních pracovních prostorů v HBV. Následně bylo zapůsobeno prostřednictvím tlačítka HBV na pracovní komory v HBV jako při nouzovém brzdění a došlo

k vytlačení veškerého množství brzdové kapaliny z tělesa HBV potřebného k plnému zabrzdění. Tento objem brzdové kapaliny činil 0,04.



Obr. [44] Těleso hlavního brzdového válce dvouokruhového

Dalším měřeným parametrem potřebným k návrhu tohoto druhu brzdového bezpečnostního zařízení je tlak v brzdovém potrubí při plném zabrzdění. Měření probíhalo za jízdy vozidla, tak aby byla co nejlépe simulována situace brzdění. Měření tlaku v brzdovém potrubí lze měřit pouze u vozidel, která jsou vybavena systémem ABS a zásuvkou pro diagnostiku OBD II.



Obr. [45] Diagnostická zásuvka OBD II.

Pomocí nainstalovaného programu v PC a diagnostického modulu lze online sledovat měřená data, ukládat je a zaznamenávat v grafu. Při měření tlaku v brzdách pomocí diagnostiky dojde během měření k odpojení systému ABS, a vozidlu se tak při brzdění zablokuje všechna kola a stává se tak neřiditelným. Hydraulické brzdy pracují s vysokým tlakem, dle literatury je tento tlak 120 Bar (12 MPa), krátkodobě 180 Bar (18 MPa). Brzdový tlak byl měřen pomocí diagnostiky DELPHI DS150E. Měření probíhalo na vozidlech BMW

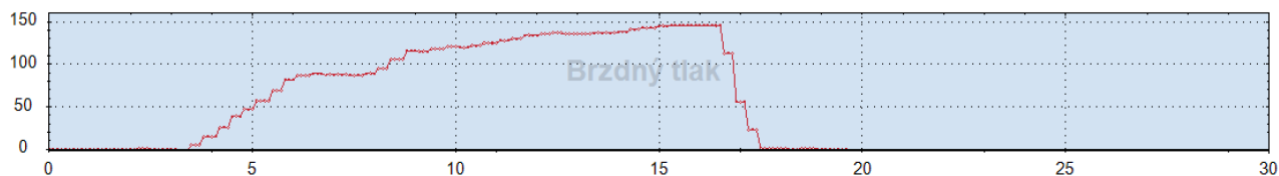
E39 530d, BMW E46 320d, Ford Focus 1.6, Škoda Octavia 1.6 TDI. Výsledný průběh tlaku v brzdách při měření je znázorněný v grafech č. 4–7.

Graf č. [4] Průběh tlaku v brzdách vozidla BMW E39 530d.

Hodnota

Max.

146 bar

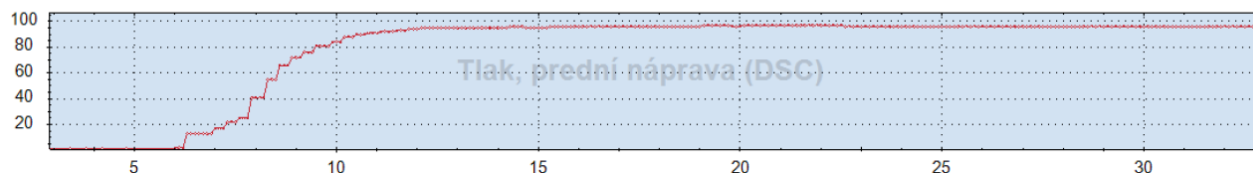


Graf č. [5] Průběh tlaku v brzdách vozidla BMW E46 320d na přední a zadní nápravě.

Hodnota

Max.

97 bar



Hodnota

Max.

95 bar



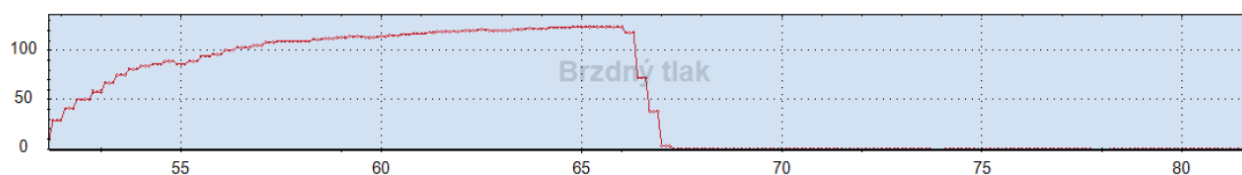
Vozidlo BMW E46 bylo vybaveno regulátorem brzdného tlaku a jak je patrné z grafu č. 4, tak došlo k omezení brzdného tlaku na hodnotu 97 Bar na přední nápravě a 95 Bar na zadní nápravě, a to i přes velmi silné brzdění. Tlak na zadní nápravě je nižší z důvodu nižšího zatížení této nápravy. V případě většího zatížení zadní nápravy by regulátor tlaku zvýšil tlak v zadních brzdách.

Graf č. [6] Průběh brzdného tlaku vozidla Ford Focus 1.6.

Hodnota

Max.

124 bar

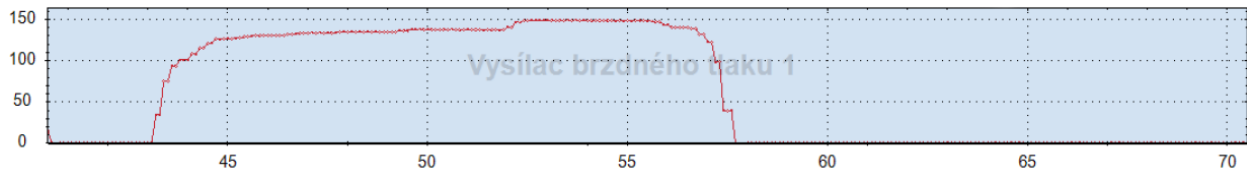


Graf č. [7] Průběh brzdného tlaku vozidla Škoda Octavia 1.6 TDI

Hodnota

Max.

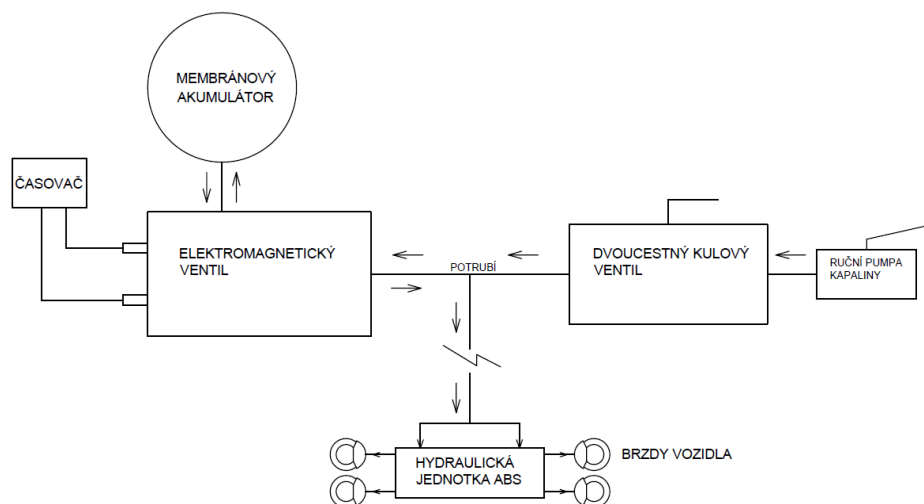
149,08 bar



Z naměřených hodnot lze vyčíst, že tlak v brzdách osobních automobilů se pohybuje při brzdění nad hranicí 100 Bar. Z tohoto důvodu je nutné zvolit membránový akumulátor o pracovním tlaku alespoň 150 Bar, aby došlo k plnému zabrzdění vozidla.

9.2.2. Popis navržené konstrukce a parametry

Hlavní části tohoto druhu bezpečnostního brzdového zařízení tvoří vysokotlaký membránový akumulátor, vysokotlaký elektromagnetický dvoucestný ventil a časovač. Základní schéma tohoto druhu brzdového zařízení je na Obr. [46].



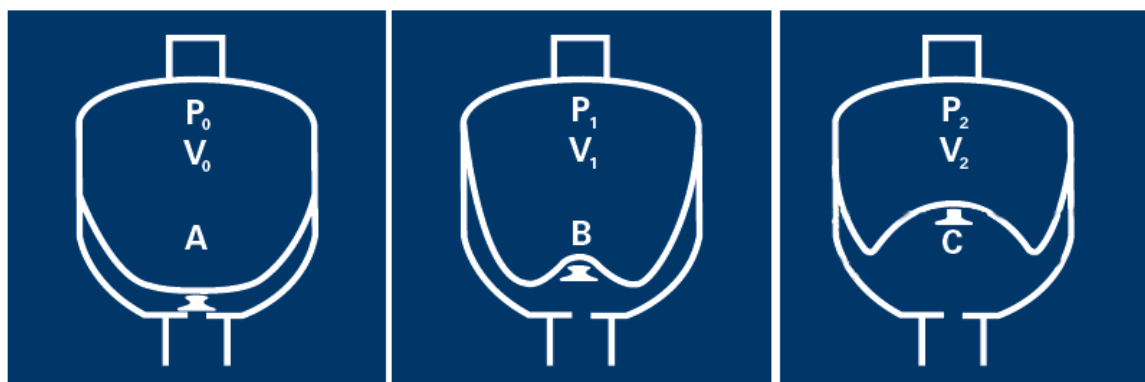
Obr. [46] Základní schéma navrhovaného bezpečnostního zařízení tvořené membránovým akumulátorem

Z výše naměřených parametrů byl vybrán membránový akumulátor ELM 0.16-250/00/AF, kdy ELM značí výrobce, 0.16 – objem pracovního média (l), 250 – maximální pracovní tlak (Bar), 00 – plnění akumulátoru podle předpisu PED, AF – vnitřní závit v místě spojení. Dalšími parametry jsou: maximální tlak plnění: 130 Bar, váha: 1 kg, výška: 120 mm, průměr: 75 mm, vnitřní závit: G1/2". [34]



Obr. [47] Těleso membránového akumulátoru ELM 0.16-250/00/AF

Těleso akumulátoru je rozděleno na dvě části membránou, která odděluje plynné médium, které v tomto případě tvoří dusík, a ovládací médium, které je v tomto případě brzdová kapalina. Plnění akumulátoru dusíkem probíhá již při výrobě a dusík je zde stlačený pod vysokým tlakem tak, aby bylo možné dosáhnout při provozní funkci deklarovaného tlaku 250 Bar. V horní části je tlaková nádoba akumulátoru opatřena plnicím otvorem pro dusík, ve spodní části plnicím otvorem pro kapalinu společně se závitem ke spojení s dalšími částmi.



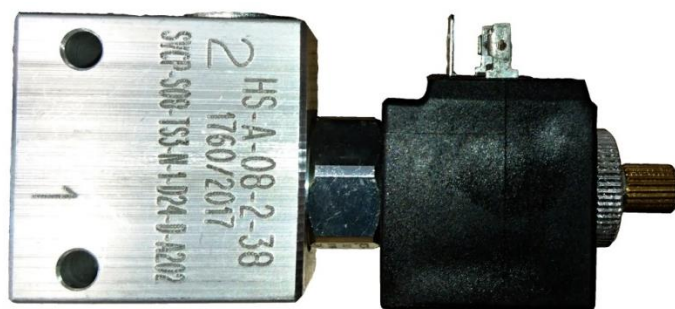
Obr. [48] Princip funkce membránového akumulátoru

Princip činnosti membránového akumulátoru je vyobrazen na Obr. [48]. V prvním případě A je vnitřní přepouštěcí ventil uzavřený vlivem tlaku dusíku, a ten rozpíná membránu do celého objemu tlakové nádoby. Jedná o stav, kdy není do pracovního prostoru vytlačována žádná kapalina a dusík má základní objem V_0 a tlak P_0 . V druhém případě B dochází k postupnému plnění pracovního prostoru kapalinou, plnicí ventil je otevřený vlivem proudění kapaliny a membrána se prohýbá proti směru působení tlaku dusíku. Tlak kapaliny postupně narůstá. Dusík zmenšuje svůj objem na V_1 a zvyšuje se jeho tlak P_1 . Ve třetím případě C kapalina začíná zabírat více prostoru než dusík a tlak kapaliny je velmi vysoký. Plnicí ventil je stále otevřený a dochází k plnění kapaliny. Dusík je v tomto případě stlačený na velmi vysoký tlak P_3 , který je vyšší než je tlak kapaliny a malý objem V_3 . [34] V případě naplnění

a natlakování tlakového membránového akumulátoru dle požadovaných parametrů zůstává ventil, kterým proudí kapalina, stále otevřený a k uzavření dojde až vlivem vyprázdnění pracovního prostoru. Z tohoto důvodu musí být hned za membránovým akumulátorem umístěn vysokotlaký elektromagnetický ventil, který uzavře akumulátor a umožní posléze jeho otevření a vypuštění kapaliny z pracovního prostoru akumulátoru.

Tlakování membránového akumulátoru bude probíhat pomocí ruční hydraulické pumpy, která dokáže vyvinout tlak až 250 Bar.

K ovládání průtoku kapaliny z tlakové nádoby byl vybrán elektromagnetický dvoucestný ventil od výrobce HYDROLINER HS-A-08-2-38 s maximálním průtokem 40 l/min, maximálním provozním tlakem 350 Bar, ovládacím napětím 12 V a závitem na výstupu a vstupu G3/8". Tělo ventilu je vyrobeno z hliníku. [35] Ventil je možné ovládat elektrickým proudem, nebo je možné jeho otevření a uzavření ručně, pomocí ovládacího kohoutu, což lze využít v případě výpadku elektrického zdroje energie.



Obr. [49] Elektromagnetický dvoucestný ventil, HYDROLINER HS-A-08-2-38

Pro ovládání sepnutí elektromagnetického vysokotlakého ventilu a následně průtoku kapaliny slouží externí časové relé H-TRONIC HB626, které lze nastavit pomocí USB portu, CD a PC. Časové relé má velmi širokou možnost nastavení sepnutí. Časový rozptyl sepnutí je od 0,1 s až po 31 dní s frekvencí spínání nejméně 0,1 s. Celkově je zde 9 programových funkcí, které časové relé umožňuje nastavit. Společně s elektromagnetickým ventilem bude časovač napájen bezúdržbovým akumulátorem.



Obr. [50] Externí časové relé H-TRONIC HB626

9.2.3. Umístění ve vozidle

Celá sestava membránového akumulátoru, elektromagnetického dvoucestného ventilu, časovače a napájecího akumulátoru bude umístěna na kovovém držáku, vyrobeném z ohýbaného plechu s povrchovou ochranou proti korozi, a spojení s testovaným vozidlem bude za pomoci nýtovacích šroubů a matic. Držák bude umístěn buď v místě rezervy pro kolo v zavazadlovém prostoru, nebo se může pomocí popruhů upevnit na zadní stranu zadních sedadel. V případě, že bude náraz situován do zadní části testovaného vozidla, je možné celou sestavu s držákem umístit na podlahu vozidla v přední části, nebo jej připevnit na zadní část sedadla řidiče nebo spolujezdce.

10. Výhody a nevýhody navržených bezpečnostních brzdových zařízení

V této části budou popsány jednotlivé výhody a nevýhody navrhovaných bezpečnostních zařízení, a ke konci bude zdůvodněno, proč byla vybrána daná varianta zařízení.

10.1. Výhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem

První výhodou bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem je skutečnost, že při montáži zařízení nedochází k zásahu do konstrukce testovaného automobilu. Zcela odpadá nutnost demontovat jakoukoliv část z automobilu, která by danému zařízení překážela, nebo jej dané zařízení nahrazovalo, takže automobil zůstává stále plně funkční i při opětovné demontáži brzdového zařízení. Současně je jednoduchá samostatná montáž a demontáž tohoto brzdového zařízení, které je v automobilu připevněno pomocí 4 ks nýtových matic a šroubů.

Další výhodou je jednoduchá konstrukce, která se skládá ze samostatného těla lineárního aktuátoru, tlačítka umístěného na konci výsuvné pístnice, držáku aktuátoru a externího napájecího zdroje. Lineární aktuátor lze pořídit samostatně ve specializovaném obchodě spolu s externím zdrojem energie, z čehož vyplývá i jednoduchost zkompletování celého brzdového zařízení.

Výhodou této konstrukce je také to, že nepoužívá žádné ovládací médium, které by se muselo při každém nárazovém testu doplňovat, nebo by zde byla nutnost odvodušňovat brzdy testovaného vozidla.

10.2. Nevýhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem

Nevýhodou bezpečnostního brzdového zařízení tvořené lineárním aktuátorem je doba náběhu plného brzdného účinku. Lineární aktuátor dokáže vyvinout maximální výsuv pístnice 60 mm/s při síle 700 N, která odpovídá plnému brzdnému účinku průměrného řidiče. Vlivem vzrůstající síly klesá maximální možný výsuv pístnice a dochází tak k pomalejšímu nárůstu brzdného tlaku v brzdách vozidla. Při uvažování délky dráhy pohybu brzdového pedálu při plném brzdění 120 mm [15], by lineárnímu aktuátoru trvalo dosažení plného brzdného účinku téměř 2 s, což dvojnásobně převyšuje požadavek na rychlost reakce a dostavení se plného brzdění od bezpečnostního brzdového zařízení. Prodleva a náběh brzdného účinku u moderních brzd automobilů je 0,24 s. (viz. kapitola 3.1.1.) a s připočítáním průměrné reakční doby osoby 0,6 s (viz. kapitola 3.1.2.), která by měla za úkol dálkově ovládat brzdové zařízení, by byla celková doba náběhu brzdného účinku 2,84 s. [2]

Další nevýhodou brzdového systému tvořeného lineárním aktuátorem je nutnost umístění v prostoru nohou řidiče a následně působení přímo na brzdový pedál vozidla. Během nárazových testů jsou vozidla osazena testovacími figurínami, které jsou ve vozidle usazeny stejně jako řidič v reálném vozidle při reálném provozu, a to na milimetry přesně, aby byla výsledná data co nejméně ovlivněna. To má za následek, že figurína má usazeny dolní končetiny na pedálu brzdy a spojky. V případě přítomnosti tohoto druhu brzdového zařízení by v prostoru dolních končetin řidiče nebyl dostatečný prostor pro osazení figuríny, především dolních končetin, a nebylo by tak možné sledovat a měřit síly působící na řidiče během nárazového testu. V případě, že by byl osazený prostor řidiče testovací figurínou současně s bezpečnostním brzdovým zařízením, je zde riziko, že během nárazu dojde k takovým deformacím prostoru pro řidiče, že brzdové zařízení ovlivní měřená data svým pohybem a vychýlením z původní polohy směrem k dolním končetinám řidiče.

Současně s nevýhodou umístění tohoto brzdového zařízení souvisí i možnost jeho poškození při silnějším nárazu, a to vlivem posunu brzdového pedálu proti pohybu výsuvu pístnice. Mohlo by dojít k poškození kuličkového šroubu spolu s elektromotorem.

Brzdové zařízení tvořené lineárním aktuátorem je také finančně nákladné. Cena lineárního aktuátoru série DMA-12-5-B-153-IP65 je dle ceníku 21 632 Kč vč. DPH. [15] Po připočtení výroby držáku aktuátoru, akumulátoru a přírodních kabelů a drobných spojovacích prvků jsou celkové náklady odhadovány na 28 000 Kč.

10.3. Výhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořeného membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem

Největší výhodou této konstrukce brzdového zařízení je rychlost dosažení plného brzdného účinku v brzdách testovaného vozidla. Vlivem stlačení brzdové kapaliny v membránovém akumulátoru na vysoký tlak až 180 Bar je nástup brzdného účinku téměř okamžitý. Ovládání je realizováno přes časovač s minimálním ovládacím časem 0,1 s. Prodleva a náběh brzdného účinku u moderních brzd automobilů je 0,24 s. (viz. kapitola 3.1.1.) a s připočítáním průměrné reakční doby osoby 0,6 s (viz. kapitola 3.1.2.) [2], která má za úkol dálkově ovládat brzdové zařízení, které by v případě nouze zabrzdlilo testovaný vůz, by byla celková doba dostavení se plného brzdného účinku 0,94 s.

Další výhodou je variabilita umístění celého brzdového zařízení téměř na libovolné místo ve vozidle, tudíž je možné testované vozidlo osadit testovacími figurínami dle konfigurace nárazového testu. Zcela pak odpadá riziko zkreslení naměřených dat na figurínách, vzniklé přítomností brzdového zařízení nebo jeho nežádoucím pohybem.

Ačkoliv je celá koncepce tohoto druhu brzdového zařízení složená z několika součástí a vyžádala si výrobu některých částí na míru, je cena nižší. Cena tlakového membránového akumulátoru je 1575 Kč, dvoucestného elektromagnetického ventilu 1675 Kč, opletená hadice se spojovacími prvky 5671 Kč, časovač 1000 Kč, kulový ventil s maticemi a rychlospojka 2500 Kč. Po celkovém sečtení vynaložených nákladů je výsledná cena 12 421 Kč, vč. DPH. V případě přičtení ceny vyrobených dílů na míru a drobných spojovacích prvků je celková cena odhadnuta na 15 000 Kč vč. DPH, což je téměř o polovinu méně, než u verze brzdového zařízení, které tvoří lineární aktuátor.

10.4. Nevýhody bezpečnostního brzdového zařízení tvořeného membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem

Nevýhodou této konstrukce brzdového zařízení je nutnost zasahovat do konstrukce brzdového potrubí automobilu v místě výstupu z HBV a vstupu do jednotky ABS, což má za následek vyřazení provozních brzd automobilu z činnosti. Následkem toho je zavzdušnění brzdové soustavy od jednotky ABS po vlastní tělesa brzd a nutnost před nárazovým testem tuto soustavu odvzdušnit, aby byl zajištěn plný brzdový účinek. Současně se musí průběžně doplňovat brzdová kapalina do ruční hydraulické pumpy, která pod vysokým tlakem tlačí kapalinu do membránového akumulátoru.

11. Popis a specifikace vybrané varianty bezpečnostního brzdového zařízení

Z výše uvedených výhod a nevýhod byla vybrána varianta bezpečnostního brzdového zařízení tvořená membránovým akumulátorem tlaku spolu s elektromagnetickým ventilem, časovačem, dálkovým ovládním a spojovacím potrubím umístěným na společném držáku.

11.1. Technické součásti obsažené v bezpečnostním zařízení

11.1.1. Membránový akumulátor

Membránový akumulátor slouží jako zásobník stlačené kapaliny na velmi vysoký tlak, ze kterého po otevření elektromagnetického ventilu dojde k výtoku kapaliny do potrubí zařízení a následně do brzdového okruhu vozidla. Membránový akumulátor má označení ELM 0.16-250/00/AF, s objemem 0,16 l, maximálním pracovním tlakem 250 Bar. Dalšími parametry jsou: maximální tlak plnění: 130 Bar, váha: 1 kg, výška: 120 mm, průměr: 75 mm, vnitřní závit: G1/2" sloužící k napojení na ostatní příslušenství (elektromagnetický ventil). [34]

11.1.2. Elektromagnetický dvoucestný ventil

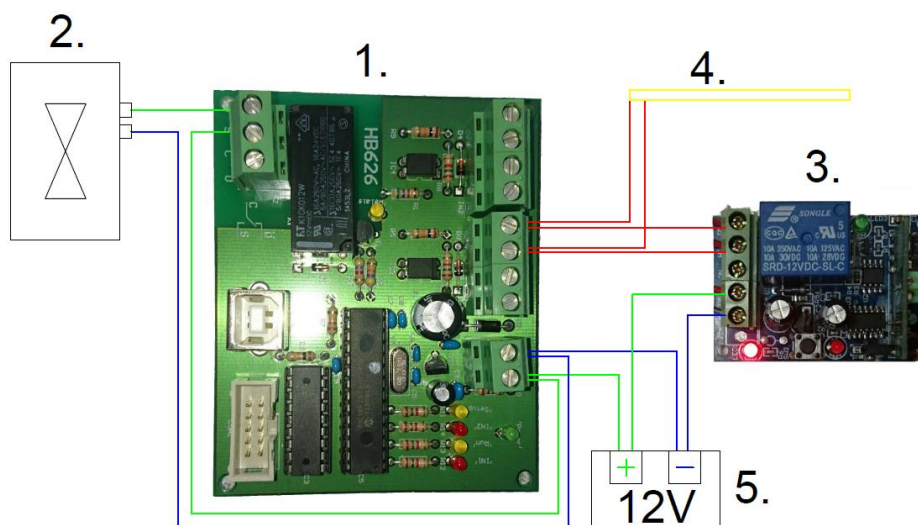
Elektromagnetický dvoucestný ventil je od výrobce HYDROLINER s označením HS-A-08-2-38 s maximálním průtokem 40 l/min, maximálním provozním tlakem 350 Bar, ovládacím napětím 12 V a závitem na výstupu a vstupu G3/8". Tělo ventilu je vyrobeno z hliníku. [35] Ventil je možné ovládat elektrickým proudem, nebo je možné jeho otevření a uzavření ručně, pomocí ovládacího kohoutu, což lze využít v případě výpadku elektrického zdroje energie. Napájení ventilu je realizováno pomocí akumulátoru o napětí 12 V. Ventil umožňuje stejný průtok kapaliny v obou dvou směrech tělesa ventilu. Samotný ovládací člen ventilu je otevřený, pokud je přivedený elektrický proud. V případě plnění akumulátoru tlaku kapalinou je nutné mít ventil otevřený a tedy připojený ke zdroji elektrické energie. Tělo ventilu je opatřeno dvěma otvory určenými pro upevnění k pevnému podkladu. Ventil je opatřen konektorem k napojení elektrického zdroje energie a výstupu z časovače k zajištění správné činnosti a vyslání impulzu ke spuštění.

11.1.3. Externí časové relé HB626

Externí časové relé je od výrobce H-TRONIC, model HB626, které lze nastavit pomocí USB portu, CD a PC. Časové relé má velmi širokou možnost nastavení sepnutí. Časový rozptyl spínání je od 0,1 s až po 31 dní s opakovací frekvencí spínání nejméně 0,1 s. Celkově je zde 9 programových funkcí, ve kterých dokáže relé pracovat. První funkcí je zapnutí zpoždění s resetováním, druhá funkce je vypnutí zpoždění s resetováním, třetí funkce je zapnutí/vypnutí zpoždění s resetováním, čtvrtá funkce je monoflop s resetováním, pátá

funkce je monoflop s resetováním a následným znovuspuštěním, šestá funkce je spínač zapnutí/vypnutí, sedmá funkce je tlačítko On/Off, osmá funkce je přepínač světel, devátou funkcí je 8-kanálový sekvencer zapnutí/vypnutí s resetováním. Pro správnou činnost bezpečnostního brzdového zařízení stačí první tři funkce časového relé. [36]

K tomuto časovému relé je připojena jednotka dálkového ovládacího zařízení, pomocí kterého je možné celý bezpečnostní systém ovládat na dálku. Jedná se o jednotku pracující stejně jako v osobním automobilu, kdy řidič stiskne tlačítko na klíčku od vozidla a vozidlo, resp. ŘJ dálkového ovládacího vydá signál a vozidlo otevře nebo zamkne. Během nárazového testu zodpovědná osoba drží ovladač dálkového ovládacího a sleduje pohyb testovaného vozidla. V případě vzniku problému tato osoba stiskne ovladač a dojde k vytvoření impulzu, který je následně poslán do časového relé, a to zajistí sepnutí elektromagnetického ventilu a následné plné brzdění. Dále je k relé připojen snímač nárazu, tzv. trigger, umístěný v místě nárazu na karoserii automobilu, který je tvořen měděným plíškem kosočtvercového průřezu. Vlivem nárazu dojde k deformaci průřezu plíšku a následně vytvoření elektrického zkratu, který se přenesou do časového relé, a to sepne elektromagnetický ventil. Napájení celku je zajištěno z externího akumulátoru o napětí 12 V.



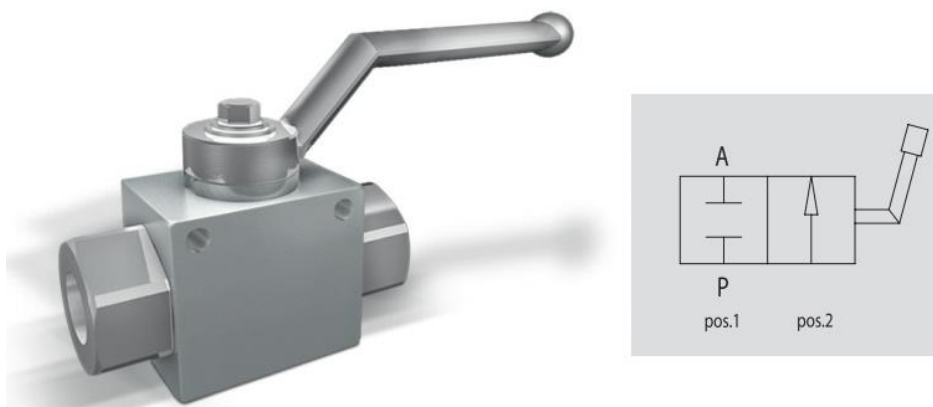
Obr. [51] Schéma zapojení časového relé a příslušenství

Schéma vzájemného zapojení časovače. Časové relé (1), elektromagnetický ventil (2), jednotka dálkového ovládacího (3), snímač nárazu – trigger (4), externí akumulátor (5).

Externí časové relé a jednotka dálkového ovládacího jsou umístěny v plastové krabici, která je upevněna šrouby ke společné desce. Krabice je vybavena průchodkou zajišťující vývod kabelů a zároveň zabránění vniknutí kapalin dovnitř.

11.1.4. Dvoucestný kulový ventil

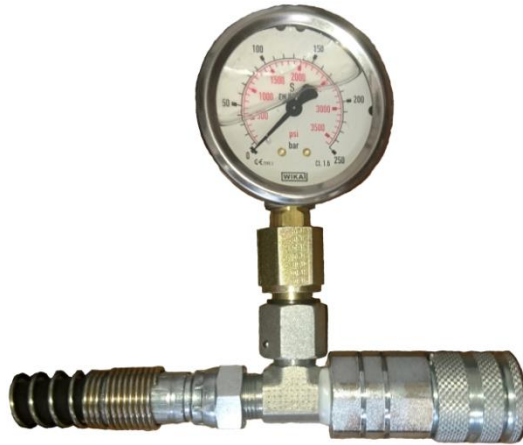
Jedná se o kulový, dvoucestný ventil RS2 VIE G3/8", s maximální pracovním tlakem 500 Bar, vnitřním závitem na výstupech G3/8" a hmotností 0,65 kg. Tělo ventilu je vyrobeno z pozinkované oceli, vnitřní ovládací část je vyrobena z broušené, pochromované oceli. Průtok kapaliny je blokován, když je páka ventilu otočená o 90°, pozice 2., průtok volný, pozice 1. [16] Ventil slouží k propojení bezodkapové rychlospojky s membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem. Současně slouží k uzavření celého tlakového systému brzdového zařízení a zabránění samovolného výtoku kapaliny po odpojení hydraulické pumpy pomocí bezodkapové rychlospojky. Umístění ventilu v celém bezpečnostním zařízení je znázorněno na obr. [59]. Je-li ventil v poloze otevřeno, je páčka ovládání ventilu rovnoběžně se směrem průtoku kapaliny. Je-li ventil zavřený, je páčka ovládání ventilu kolmo ke směru průtoku kapaliny.



Obr. [52] Dvoucestný kulový ventil

11.1.5. Hydraulická rychlospojka s manometrem

Ke zjištění vhodného pracovního tlaku uvnitř membránového akumulátoru slouží glycerínový manometr umístěný před rychlospojkou. Je velmi důležité měřit tlak v akumulátoru, neboť v případě malého tlaku by nedošlo k dostatečnému brzdnému účinku, a v případě tlaku velkého by mohlo dojít k poškození brzdového systému vozidla nebo brzdového zařízení. Manometr zobrazuje hodnoty tlaku až do 250 Bar. Po natlakování membránového akumulátoru na potřebný tlak je nutné odpojit ruční hydraulickou pumpu od zbytku brzdového zařízení. V prvním případě zavřeme kulový ventil, který udrží vysoký tlak v systému brzdového zařízení. Následné odpojení umožňuje bezodkapová rychlospojka, umístěná za kulovým ventilem.



Obr. [53] Manometr s bezodkapovou hydraulickou rychlospojkou

11.1.6. Spojovací členy

Jedná se o redukční spojky mezi jednotlivými částmi celého bezpečnostního zařízení, jako je membránový akumulátor, elektromagnetický ventil, kulový ventil a spojovací hadice. Mezi membránovým akumulátorem a elektromagnetickým ventilem je umístěna redukce ze závitu akumulátoru G1/2" na závit ventilu G3/8". Dále je zde mezičlen se závity G3/8", který má tvar T a slouží k rozvodu kapaliny od akumulátoru kapaliny, elektromag. ventilu, kulového ventilu a vlastních brzd testovaného vozidla. Na rozvodce tvaru T je umístěna další redukce se závity G3/8" a M10x1, kde je umístěn odvzdušňovací šroub, průtokový šroub, banjo a hadice.



Obr. [54] Redukce závitu G1/2" na G3/8"



Obr. [55] T spojka se závity G3/8"

11.1.7. Pancéřové hadice a drobné spojovací prvky

K přivedení kapaliny stlačené na vysoký tlak z membránového akumulátoru do vlastních brzd testovaného vozidla je realizováno pomocí pancéřové hadice. Hadice je tvořena dvěma částmi. První část je tvořena teflonovým jádrem, ve kterém je otvor pro průtok kapaliny. Druhou část tvoří ocelové opletení, které chrání teflonové jádro proti poškození, a zároveň jej obepíná po celé vnější ploše, a tím je možné dosáhnout vysokého tlaku. Pro navrhované

zařízení byla vybrána hadice typu D0-3, s vnitřním průměrem 3,17 mm, vnějším průměrem 6,32 mm a maximálním pracovním tlakem 350 Bar (35MPa). [17]

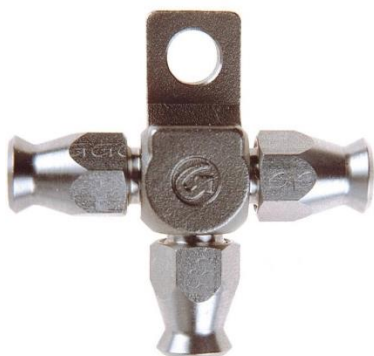


Obr. [35] Pancéřová hadice tvořená teflonovým jádrem a ocelovým opletením [17]

Aby bylo možné pancéřovou hadici připojit na navrhované zařízení a na testovaný automobil, je nutné použít drobné spojovací prvky. V prvním případě je nutné na hadici navléknout převlečnou matici a připravit pancéřovou hadici tím, že obnažíme začátek teflonové hadice od opletení. Na teflonovou část nasadíme olivu, která slouží jako těsnění. Připravíme si protikus, na který přijde připevnit hadice. Jedná se o součást se závitem a výstupkem, který má shodný průměr jako vnitřní průměr teflonové části hadice. Může to být např. banjo, rozvodka tvaru T apod., viz. Obr. [56, 57]. Výstupek nasuneme do teflonové části hadice, a převlečnou matici přetáhneme přes olivu, našroubujeme na závit a dotáhneme. Tím je zajištěno rozebíratelné a těsné spojení. V případě použití banja se musí použít šroub s vnitřním kanálkem pro průtok kapaliny. Těsnost mezi jednotlivými komponenty zajišťují měděné podložky.



Obr. [56] Příklad spojení pancéřové hadice, převlečné matice, olivy a banja



Obr. [57] Rozvodka tvaru T



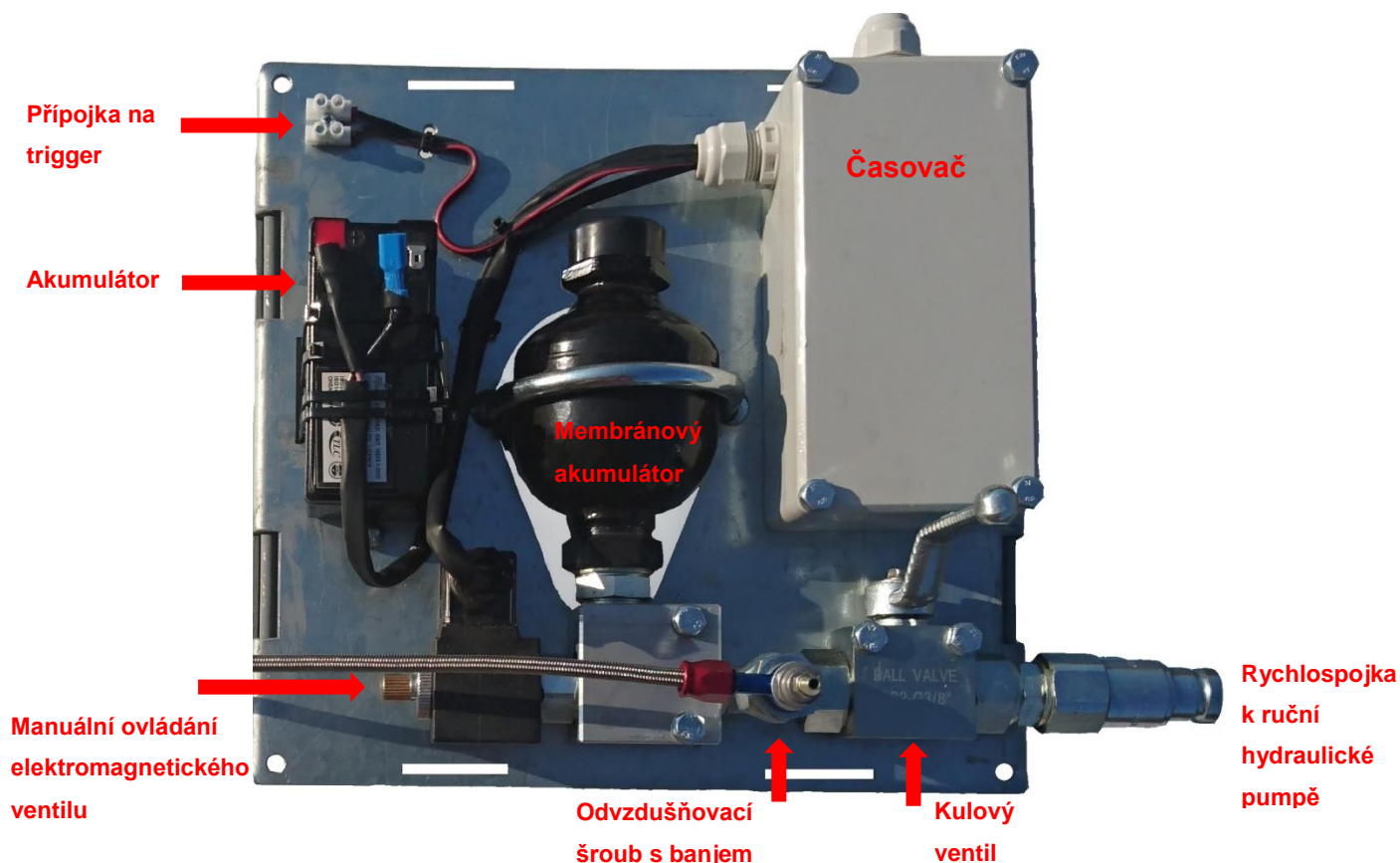
Obr. [58] Banjo rovné, průtokový šroub, odvzdušňovací šroub

Odvzdušňovací šrouby jsou umístěny na výstupu z rozvodky T umístěné za elektromagnetickým ventilem a také v místě, kde dochází k přechodu z pancéřových hadic na brzdové trubky a jednotku ABS. Odvzdušňovací šrouby jsou umístěny tak, aby bylo

možné co nejjednodušeji odvzdušnit celé brzdové zařízení a zároveň nedošlo k zavzdušnění brzd vozidla.

11.2. Umístění součástí na společné desce

Všechny technické součásti (membránový akumulátor, externí časové relé, elektromagnetický dvoucestný ventil, akumulátor, kulový ventil a spojovací členy) jsou umístěny na společné nosné desce, kterou je možné upevnit k testovanému automobilu pomocí nýtovacích šroubů nebo popruhů. Deska je vyrobená z nerezového plechu tloušťky 3 mm, s otvorem pro membránový akumulátor. Dále jsou v desce otvory pro šrouby k upevnění ventilů, časovače, akumulátoru a kabelů. Membránový akumulátor je ve své poloze zajištěn ohnutými kusy plechu z podkladní strany a objímkou z druhé strany. Časové relé a spínací relé dálkového ovládání jsou umístěny v plastové krabičce, která je upevněna čtyřmi šrouby o průměru 6 mm, elektromagnetický a kulový ventil jsou upevněny k podkladní desce též šrouby o průměru 6 mm. Akumulátor a přívodní kabeláž je upevněna pomocí zdrhovacích plastových pásek.



Obr. [59] Vzájemné rozmístění jednotlivých částí brzdového zařízení

11.3. Umístění v testovaném vozidle

Celé brzdové zařízení může být umístěno v zavazadlovém prostoru testovaného vozidla nebo v prostoru pro cestující, a bude připevněno buď pomocí nýtovacích šroubů do podlahy vozidla, nebo pomocí textilních kurt k opěradlu sedadel pro cestující. V tomto umístění a poloze zůstane bezpečnostní brzdové zařízení během celého nárazového testu. Následně se provede vyvedení brzdové pancéřové hadice ze zavazadlového prostoru na střešku vozidla. Vyvedení je realizováno provléknutím pancéřové hadice pod těsněním zadních dveří a následovně je pancéřová hadice vedena po střeše vozidla v okapniče střechy až k čelnímu sklu, kde je vedena po A-sloupku a následně do motorového prostoru. Nežádoucím pohybu pancéřové hadice po střeše a A-sloupku vozidla zabraňuje vysoce lepicí páska, kterou je pancéřová hadice přilepena k vozidlu. Současně s pancéřovou hadicí je veden přívodní kabel od snímače nárazu, tzv. triggeru, který je umístěný v místě nárazu s pevnou překážkou, případně jiným vozidlem, se kterým se osazené vozidlo střeťne.



Obr. [60] Vedení pancéřové hadice a přívodních kabelů od snímače nárazu na testovaném vozidle během nárazového testu

11.4. Napojení bezpečnostního brzdového zařízení na testované vozidlo

Vybraný typ brzdového zařízení vyžaduje zásah do konstrukce automobilu a je nutné odpojit brzdové trubky vedoucí od HBV do hydraulické jednotky ABS, odkud bude brzdový tlak rozdělený rovnoměrně na všechna kola. Na místo demontovaných trubek přijde napojit brzdové zařízení. Po demontáži původních trubek je nutné jejich zaslepení, aby nevytékala volně brzdová kapalina do okolí. Zaslepení je realizováno pomocí dvojice kovových zásepek se závitem M12x1 nebo M10x1. Napojení na testované vozidlo je realizováno pomocí

mezikusu, který je tvořený z brzdové trubky o rozměrech vnějšího průměru měděné brzdové trubky 5 mm a dvou holendrů brzdových trubek, z nichž jeden je zašroubovaný do hydraulické jednotky ABS a druhý do propojovacího členu, sloužící k propojení pancéřové hadice a brzdové trubky, viz obr. [61]. Brzdová trubka z mědi opatřená holendry se závity M10x1 a M12x1 je na obr. [62].

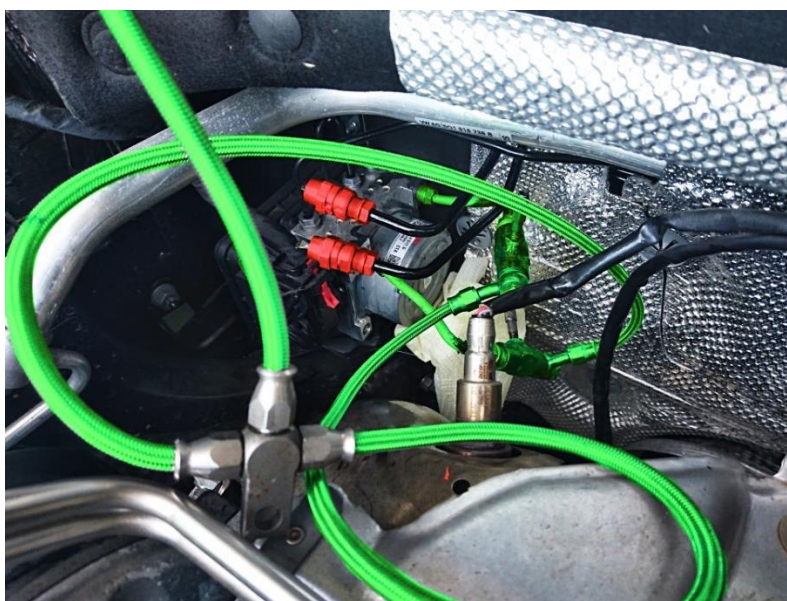


Obr. [61] Propojení brzdové hadice s brzdovou trubkou pomocí propojovacího šedého členu



Obr. [62] Brzdová měděná trubka opatřená holendry M10x1 a M12x1.

Napojení brzdového bezpečnostního zařízení na hydraulickou jednotku ABS v motorovém prostoru je znázorněno na obr. [63]. Červenou barvou jsou vyznačeny záslepky brzdových trubek vedoucích od HBV. Na jejich původní místo je namontováno bezpečnostní brzdové zařízení, jehož pancéřové hadice jsou znázorněny zelenou barvou.



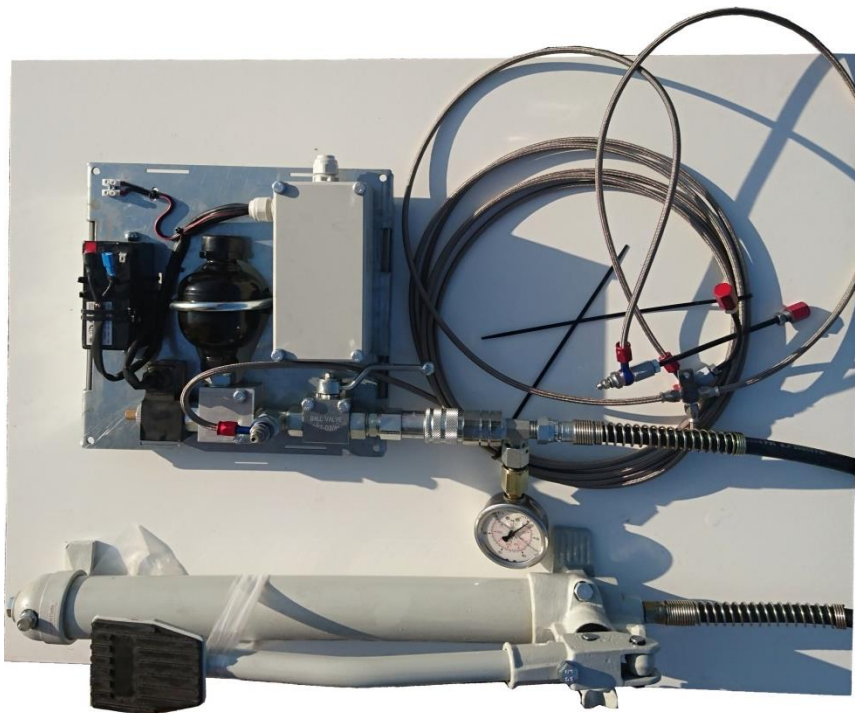
Obr. [63] Napojení bezpečnostního brzdového zařízení na hydraulickou jednotku ABS

12. Zkušební test brzdového zařízení

Úkolem zkušebního testu brzdového zařízení je zjištění funkčnosti jednotlivých komponentů a těsnosti celé soustavy navrženého brzdového zařízení během činnosti.

12.1. Průběh zkušebního testu těsnosti a funkčnosti

Zkouška celého brzdového zařízení nemusela být realizována na vozidle, neboť ke zjištění správné činnosti postačuje natlakování celého zařízení na požadovanou hodnotu tlaku. Na začátku bylo nutné nastavit správnou hodnotu zpoždění na časovém relé, připojit snímač nárazu, tzv. trigger, a odvzdušnit celý systém. Dále byly nainstalovány do místa napojení přechodu na automobil ocelové záslepky, zabraňující vytékání kapaliny z propojovacích brzdových trubek a zároveň sloužící k udržení vysokého tlaku během zkušebního testu.



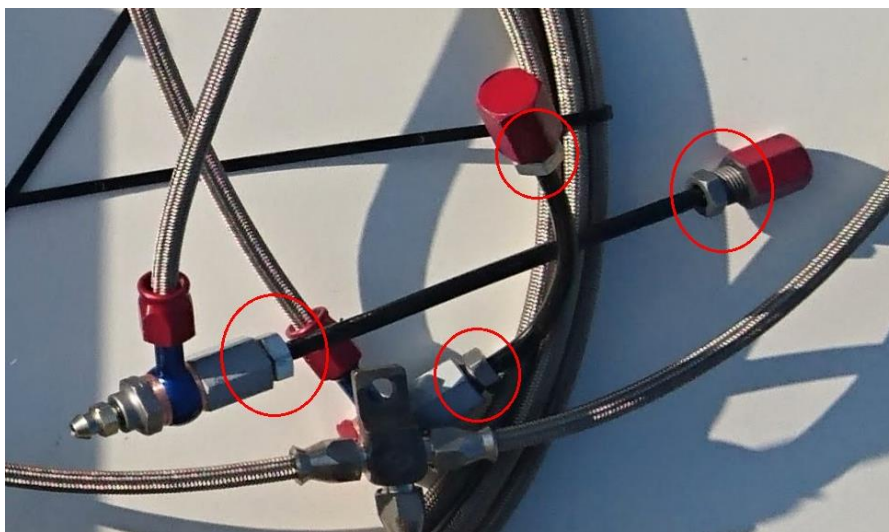
Obr. [64] Brzdové zařízení s ruční hydraulickou pumpou během zkušebního testu

Maximální tlak dosažený během zkušebního testu odpovídal provoznímu tlaku při nárazovém testu, a to 180 Bar (18 MPa). V prvním případě byl tento tlak dosažen v potrubí brzdového zařízení (pancéřové hadice, propojovací číst tvořená pancéřovou hadicí a holendry se šroubením), aby byla zjištěna dokonalá těsnost celého systému, protože je zde mnoho spojů, kterými by mohla unikat ovládací kapalina. V druhém případě byla stejná hodnota tlaku dosažena v membránovém akumulátoru tlaku, elektromagnetickém ventilu a kulovém ventilu, aby se zjistila funkčnost těchto součástí za vysokého tlaku. Následně byl pomocí snímače nárazu udán pokyn do časového relé k otevření elektromagnetického

ventilu simulující náraz testovaného vozidla. Následně došlo k rázovému natlakování celého potrubí. Stejný postup probíhal při sepnutí otevření elektromagnetického ventilu pomocí dálkového ovládacího zařízení. Celý postup zjištění těsnosti a funkčnosti při tlaku 180 Bar byl zopakován celkem 10 krát. Během zkušebního testu však došlo k problémům s těsností potrubí, které je popsáno v následující podkapitole 12.2.

12.2. Zjištěné problémy během zkušebního testu brzdového zařízení

Během zkušebního testu těsnosti a funkčnosti došlo k opakovaným problémům s těsností brzdového zařízení v oblasti spojení brzdových trubek a holendrů. Místo netěsnosti je vyznačeno na obr. [65].



Obr. [65] Vyznačené netěsnosti v místech holendrů a brzdové trubky

K první netěsnosti došlo již při dosažení tlaku 20 Bar, což by mělo při nárazovém testu za následek nedostatečný tlak v brzdové soustavě vozidla a nedošlo by k jeho zastavení. Netěsnost byla způsobená nedostatečným utažením holendrů a vzájemné polohy brzdové trubky a holendru. Při opakování bylo dosaženo vyššího tlaku, avšak netěsnost v daných místech stále přetrvávala. Problém byl následně vyřešen návrhem a zhotovením nového přechodového dílu tvořeného ze šroubení, brzdové hadice, rozvodné kostky, odvzdušňovacího šroubu, převlečných matic a oliv, které zajistí dokonale těsný spoj a propojení brzdového zařízení s testovaným vozidlem za vysokého tlaku. Propojovací mezikus je možný měnit dle závitů na hydraulické jednotce ABS (M10X1, M12x1). Současně se snížil počet spojů, kterými by potenciálně mohlo docházet k úniku a netěsnosti.



Obr. [66] Nově navržený přechodový díl

Při opětovném zkušebním testu již nedošlo k žádným netěsnostem na brzdovém bezpečnostním zařízení. Další výhodou nově navrženého přechodového dílu na vozidlo je ulehčení montáže propojovacího potrubí na testované vozidlo. Nově navržený díl umožňuje propojení s vozidlem tak, že se zašroubuje holender do hydraulické jednotky ABS a následně se pomocí převlečné matice propojí s potrubím tak, že nedojde ke kroucení pancéřové hadice. Vlivem návrhu a zhotovení nového propojení brzdového zařízení s testovaným vozidlem došlo k navýšení ceny celého zařízení o částku 3000 Kč. Konečná cena celého brzdového zařízení tvořeného membránovým akumulátorem tlaku, elektromagnetickým ventilem, časovačem, ruční hydraulickou pumpou a spojovacími prvky s potrubím je 18 500 Kč vč. DPH.

13. Závěr

Hydraulické brzdy osobních automobilů využívají stejný princip přenosu síly od brzdového pedálu k vlastním brzdám již několik desítek let a obsahují mnoho technických součástí, které jsou společné pro všechny druhy brzd - kotoučové a bubnové. Rozdíly jsou až v samotné konstrukci vlastního brzdového mechanismu. Kotoučové brzdy pomocí brzdového třmenů svírají brzdový kotouč, který se otáčí spolu s kolem a bubnové brzdy využívají pakny, které se roztahují uvnitř brzdového bubnu. U dnešních moderních automobilů jsou brzdy vozidel doplněny o další podpůrné a bezpečnostní systémy (ABS, ASR, ACC, ESP, HBA, atd.), které zvyšují komfort jízdy a přispívají v nouzových situacích k dosažení co nejlepšího brzdění a ovládání vozidla. Se stále větším rozvojem autonomních vozidel budou brzdové systémy vozidel upravovány a spojovány s dalšími ŘJ ve vozidle, aby mohla vozidla zcela samostatně bez zásahu řidiče akcelerovat, brzdit, včas zastavit atd..

Při nárazových testech mohou být testovaná vozidla různými způsoby ovládána a bržděna. Jeden ze způsobů je instalace robotického mechanismu, ovládající řízení, akceleraci a brzdění vozidla, nebo umístění výsuvného mechanismu působícího na pedál brzdy. Nevýhodou těchto řešení je umístění v prostoru řidiče. Tento problém řeší brzdové zařízení navržené a zhotovené v této diplomové práci, tvořené membránovým akumulátorem, elektromagnetickým ventilem, časovým relé, kulovým ventilem, ruční hydraulickou pumpou a spojovacím potrubím. Celé brzdové zařízení má variabilní polohu umístění ve vozidle a možnost nastavení časového zpoždění nástupu brzdícího tlaku. Brzdové zařízení je tvořeno jednotlivými díly, které je možné koupit ve specializovaných obchodech v různých technických specifikacích, což je výhodou v případě poškození některé z částí obsažených v navrženém brzdovém zařízení.

V současné době Fakulta dopravní a Ústav soudního znalectví v dopravě využívá k uvedení do pohybu testovaného vozidla tažné vozidlo, které je spojeno prostřednictvím ocelového lana a kladek s testovaným vozidlem. V případě náhlé poruchy a zabrzdění testovaného vozidla však nemá řidič tažného vozidla informace o dění na dráze, a zastavení testovaného vozidla by se projevilo napnutím tažného lana a následně velmi silným trhnutím s tažným vozidlem. Z tohoto důvodu je možné do budoucna upravit zde navržené brzdové zařízení a vybavit jej vysílačem aktuálního stavu - zabrzděno, odbrzděno. Tento stav by se vysílal do tažného vozidla, kde by byly umístěny dvě barevné kontrolky. Zelená by signalizovala nezávadný stav – odbrzděno, červená kontrolka by signalizovala poruchu, náraz – zabrzděno, a řidič by dostal informaci o tom, že má okamžitě zastavit tažné vozidlo. Dalším možným vylepšením celé konstrukce navrženého brzdového zařízení je osazení akcelerometru, který by zaznamenával dosažené přetížení, které by v případě nárazu

překročilo stanovenou hodnotu, snímač by odeslal pokyn k časovému relé a došlo by k automatickému plnému brzdění. Současně by šlo o další pojistku v případě selhání primárního snímače nárazu.

Brzdové bezpečnostní zařízení bude využíváno ústavem K622 Ústav soudního znalectví v dopravě pro vlastní nárazové testy, protože doposud bylo zařízení zajišťující bezpečný pohyb vozu během nárazového testu půjčováno od firmy Škoda Auto. Diplomová práce slouží také jako návod k obsluze a nastavení brzdového zařízení, součástí přílohy je návod k obsluze brzdového zařízení.

Pro zpracování byl použit program MS Word, tabulky byly zpracovány v programu MS Excel, fotografie byly upraveny v programu Zoner Photo Studio 14 a Photoshop CC. Grafické úpravy byly realizovány za podpory Bc. Petra Rejnuše, jazykové korekce za podpory Bc. Lucie Krkonoškové, kterým tímto děkuji. Zvláštní poděkování patří také ASK-Motorsport, Buda 40, Bakov nad Jizerou za odborné rady a poskytnutí dílů potřebných ke kompletaci brzdových hadic a spojovacích prvků.

Věřím, že poznatky a zkušenosti získané během tvorby této diplomové práce v budoucnu využiji i ve svém zaměstnání, kde se zabývám nárazovými testy nově vyráběných vozidel a činností multikolizní brzdy.

14. Zdroje

- [1] Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- [2] Doc. Ing. ŠACHL Jindřich, CSc a kolektiv. *Analýza nehod v silničním provozu*. 1. vydání. Praha: ČVUT v Praze, 2010. 144 str. Dostupné z: <http://k622.fd.cvut.cz/lecture/Analýza%20nehod%20v%20silnicnim%20provozu.pdf>
- [3] BOSCH. *Automotive Handbook*. 9th Edition. Karlsruhe: © Robert Bosch GmbH, 2014. 1544 str. ISBN 978-1-119-03294-6.
- [4] Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- [5] REIF Konrad. *Automotive Mechatronics*. 1st edition. Friedrichshafen, Germany, 2015. 538 str. ISBN 978-3-658-03974-5.
- [6] GSCHEIDLE a kolektiv. *Tabulky pro automechaniky*. 16. přepracované vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. 496 str. ISBN 979-80-86706-21-4.
- [7] FOCUS2MOVE. Focus2move. *Europe best selling cars. The top 100 in the 2018*. [online]. © Focus2move, March 26, 2018. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://focus2move.com/europe-best-selling-cars/>
- [8] HOLÝ Petr. Informační web. *Hydraulické brzdy*. [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://saopovrch.wordpress.com/servis-a-opravy/hydraulicke-brzdy/>
- [9] AUTODÍLY MJ AUTO. Autodíly MJ auto. *Typy brzdových kapalin*. [online]. Brno: © Autodíly MJ auto 2018, 25. říjen. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/typy-brzdovych-kapalin>
- [10] CZECH NEWS CENTER a.s.. Autofun. *Průvodce tuningem: Lepší brzdy stojí za to*. [online]. © 2001 - 2018 Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://autofun.auto.cz/brzdy-11251/>
- [11] MÁČALA, Stanislav. *Historický vývoj a moderní trendy bezpečnostních prvků osobních automobilů*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37746

- [12] CZECH NEWS CENTER a.s.. Auto.cz. *Adaptivní tempomat: Jak funguje? A jaké známe druhy?* [online]. Dusil Tomáš, 14.3.2017, [cit. 2017-11-09]. IISN 1213-8991. Dostupné z: <http://www.auto.cz/adaptivni-tempomat-jak-funguje-a-jake-zname-druhy-104364>
- [13] BESIP. ibesip.cz. *Moderní technologie vozidel.* [online]. © 2012, [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel/aktivni-bezpecnost-prvky-aktivni-bezpecnosti>
- [14] ŠKODA-AUTO a.s.. Skoda-auto.com. *Asistent rozjezdu do kopce.* [online]. Škoda-Auto a.s., © 2018, [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://cs.skodaauto.com/models/hotspotdetail?HotspotName=C18%20%20Asistent%20rozjezdu%20do%20kopce%20%5BFabia%2C%20Roomster%2C%20Octavia%2C%20Yeti%2C%20Superb%5D%20&WebID=f22024f6-082e-4602-b10e-390863555dd7&Page=technology>
- [15] GROSS Jiří, Ing. transmotec.cz. *Aktuátor série DMA s kuličkovým šroubem.* [online]. Transmotec, © 2008 - 2018, [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz/linearni-aktuatory/dma-kulicovy-zavit.html>
- [16] ABITEK. *Ball valves 2 ways.* [PDF]. Abitek. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://abitek.net/downloads/15-1-zwei-wege-kugelventil.pdf>
- [17] ASK MOTORSPORT. ask-motorsport.cz. *Brzdová hadice D-03 teflonová.* [online]. Bakov nad Jizerou, Auto-Sport-Kros s.r.o., [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.ask-motorsport.cz/hadice-a-prislusenstvi/brzdova-hadice-d-03-teflonova/>
- [18] AUTOCAR. autocar.co.uk. *2017's most popular cars in Europe – by country.* [online]. Beckwith Jimi, 29 January 2018, [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/industry/2017s-most-popular-cars-europe-%E2%80%93-country>
- [19] VOLVO. ipaper.ipapercms.dk. *Volvo V60, V60 Cross Country.* [PDF]. Volvo, 84. str., [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://ipaper.ipapercms.dk/Volvocars/CZ/V60CZcs/?page=78>
- [20] AUTONOTO. autonoto.cz. *Volvo V60 T6 R-Design.* [online]. © 2016 – 2018 Autonoto s.r.o., [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://autonoto.cz/katalog/detail/volvo-v60-t6-r-design>
- [21] ŠKODA-AUTO a.s.. Skoda-auto.com. *Katalog Octavia.* [PDF]. Škoda-Auto a.s., © 2018, 40 str., [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://az749841.vo.msecnd.net/sitescscz/alv1/2586e3e7-1197-4d31-f02f1020ef22b9/octavia-katalog.561c73c974bb5df115ffde03eeed2c57.pdf>
- [22] AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro ŠKODA OCTAVIA III Combi (5E5) 1.4 TSI 110 kW.* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/skoda/octavia-iii-combi/1.4-tsi-110kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka>

- [23] RENAULT. renault.cz. *Renault MEGANE* . [PDF]. Renault, 3.4.2018, [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/content/dam/Renault/CZ/pdf/pricelists/megane-price.pdf>
- [24] AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro RENAULT MEGANE IV (B9AM_) 1.6 TCe 205 (B9MV) 151 kW*. [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/renault/megane-iv/1.6-tce-205-b9mv-151kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka>
- [25] VW. Volkswagen-liberec.cz. *Technická data Golf* . [PDF]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-liberec.cz/images/autoenge/block/golf/cenik/vw-golf-technicka-data.pdf>
- [26] AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro VW GOLF VII (5G1, BQ1, BE1, BE2) 1.2 TSI 77 kW*. [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/vw/golf-vii/1.2-tsi-77kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka>
- [27] AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro FORD FOCUS III 1.5 EcoBoost 134 kW*. [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/ford/focus-iii/1.5-ecoboost-134kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka>
- [28] AUTONOTO. autonoto.cz. *Ford Focus*. [online]. © 2016 – 2018 Autonoto s.r.o., [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://autonoto.cz/katalog/ford/focus/2014-hatchback-5dverovy>
- [29] TOYOTA. toyota.cz. *Auris e-katalog*. [online]. © Toyota Central Europe - Czech s.r.o. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/auris/ebrochure.json>
- [30] AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro TOYOTA AURIS (_E18_) 1.6 (ZRE181_, ZRE185_) 97 kW*. [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/toyota/auris-2012/1.6-zre181-zre185-97kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka>
- [31] AUTATUA. autatua.com. *Brzdová kapalina*. [online]. [cit. 2018-02-02]. © 2015 AutAtuA.com. Dostupné z: <http://autatua.com/brzdova-kapalina>
- [32] GARANCE SLAVIČÍN. garance-slavicin.cz. *Brzdové trubky - metráž*. [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.garance-slavicin.cz/hadice/eshop/14-1-Brzdove-trubky-metraz>
- [33] SKF. skf.com. *Servo aktuátory*. [online]. SKF, [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/industry-solutions/automation/automation-products/servo-actuators/index.html>
- [34] KOVAZ. kovaz.cz. *Membránový akumulátor ELM ACCU 0,16-250/00/AF 10849301102*. [PDF]. France, Parker - olaer, [cit. 2018-01-02]. Dostupné z:

<https://www.kovaz.cz/membranovy-akumulator-elm-accu-0-16-250-00-af-10849301102-639822/>

[35] HYDROLINER. hydroliner.cz. *Dvoucestný elektrický ventil otevřen 2/2 3/8" 40L/min 230V*. [online]. Český Těšín, Hydroliner, [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Dvoucestny-elektricky-ventil-otevren-22-38-40Lmin-230V/14594

[36] H-TRONIC. *HB626 - Universales USB- Zeitrelais*. [CD]. H-tronic.

15. Seznam obrázků

- Obrázek [1] Doba (dráha) brzdění a její složky, zdroj: BOSCH. *Automotive Handbook*. 9th Edition. Karlsruhe: © Robert Bosch GmbH, 2014. 1544 str. ISBN 978-1-119-03294-6.
- Obrázek [2] Schéma hydraulické brzdy osobního automobilu, GSCHEIDLE a kolektiv. *Tabulky pro automechaniky*. 16. přepracované vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. 496 str. ISBN 979-80-86706-21-4.
- Obrázek [3] Princip činnosti hydraulických brzd osobního automobilu, HOLÝ Petr. Informační web. *Hydraulické brzdy*. [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://saopovrch.wordpress.com/servis-a-opravy/hydraulicke-brzdy/>
- Obrázek [4] Hlavní tandemový brzdový válec pro dvouokruhové brzdy, Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- Obrázek [5] Uspořádání „přední/zadní“ (II), Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [6] Uspořádání „diagonální“ (X), Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [7] Uspořádání „trojúhelníkové“ (LL), Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [8] Uspořádání „čtyři-čtyři“ (HH), Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [9] Podtlakový posilovač brzdného účinku, Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽĎÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [10] Zjednodušené schéma hydraulické jednotky ABS, GSCHEIDLE a kolektiv. *Tabulky pro automechaniky*. 16. přepracované vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. 496 str. ISBN 979-80-86706-21-4.

- Obrázek [11] Schéma jednonáběžné brzdy (Simplex), Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- Obrázek [12] Typy bubnových brzd: a) jednoduchá (Simplex), b) dvojnáběžná (Duplex), c) se spřaženými čelistmi (Servo), d) dvojnáběžná obousměrná (Duo-duplex), e) se spřeženými čelistmi obousměrná (Duo-servo), Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- Obrázek [13] Dvoupístkový kolový brzdový váleček, Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽDÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [14] Kotoučová brzda s pevným třmenem, Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽDÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [15] Kotoučová brzda s pevným třmenem, GSCHEIDLE a kolektiv. *Tabulky pro automechaniky*. 16. přepracované vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. 496 str. ISBN 979-80-86706-21-4.
- Obrázek [16] Kotoučová brzda s plovoucím třmenem, Ing. JAN Zdeněk, Ing. ŽDÁNSKÝ Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*. 2. vydání. Brno. Avid. s.r.o. Brno. 2001. 211 str. ISBN: Schvalovací doložka MŠMT ČR: Č.j. 16 914/2001.
- Obrázek [17] Kotoučová brzda s plovoucím třmenem, GSCHEIDLE a kolektiv. *Tabulky pro automechaniky*. 16. přepracované vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. 496 str. ISBN 979-80-86706-21-4.
- Obrázek [18] Příklady provedení brzdových kotoučů: a) plochý kotouč, b) hrncový kotouč, c) odvětráný kotouč, Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- Obrázek [19] Činnost systému ABS během intenzivního brzdění, CARTOQ. *Can you retro-fit ABS on a non-ABS car or motorcycle? We explain!*. [online]. CarToqEditor, December 29, 2017, [cit. 2018-02-01]. Dostupné z:

<https://www.cartoq.com/can-you-retro-fit-abs-on-a-non-abs-car-or-motorcycle-we-explain/>

- Obrázek [20] Porovnání brzdné dráhy s a bez brzdového asistentu HBA, REIF Konrad. *Automotive Mechatronics*. 1stedition. Friedrichshafen, Germany, 2015. 538 str. ISBN 978-3-658-03974-5.
- Obrázek [21] Zásah ESP nedotáčivém nebo přetáčivém chování vozidla, Prof. Ing. VLK František, DrSc. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualizované vydání. Brno: © Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 464 str. ISBN 80-239-6464-X.
- Obrázek [22] Činnost multikolizní brzdy, ŠKODA AUTO. skoda-storyboard. *Multikolizní brzda* [online]. © ŠKODA AUTO a.s. 2018, 2. 8. 2017, [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/polopate-asistencni-systemy-skoda-3-dil/attachment/multi-collision-brake-2/>
- Obrázek [23] Základní rozměry vozidla Volvo V60, VOLVO. ipaper.ipapercms.dk. *Volvo V60, V60 Cross Country*. [PDF]. Volvo, 84. str., [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://ipaper.ipapercms.dk/Volvocars/CZ/V60CZcs/?page=78>
- Obrázek [24] Základní rozměry vozidla Škoda Octavia Combi, ŠKODA-AUTO a.s.. Skoda-auto.com. *Katalog Octavia*. [PDF]. Škoda-Auto a.s., © 2018, 40 str., [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://az749841.vo.msecnd.net/sitescsocz/alv1/2586e3e7-11974d3f02f1020ef22b9/Octaviakatalog.561c73c94bdf115ffde03eeed2c57.pdf>
- Obrázek [25] Základní rozměry vozidla Renault Megáne, RENAULT. renault.cz. *Renault MEGANE*. [PDF]. Renault, 3.4.2018, [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/content/dam/Renault/CZ/pdf/pricelists/megane-price.pdf>
- Obrázek [26] Základní rozměry vozidla Volkswagen Golf, VW. Volkswagen-liberec.cz. *Cenník Golf*. [PDF]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-liberec.cz/images/autoenge/block/golf/cenik/vw-golf-technicka-data.pdf>
- Obrázek [27] Základní rozměry vozidla Ford Focus, FOCUSRS. *Focus RS dimensions*. [online]. Da13D, 17th September 2015, [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.focusrsoc.com/forums/topic/191209-mk3-focus-rs-dimensions/>
- Obrázek [28] Základní rozměry vozidla Toyota Auris, TOYOTA. toyota.cz. *Auris e-katalog*. [online]. © Toyota Central Europe - Czech s.r.o. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/auris/ebrochure.json>

- Obrázek [29] Větraný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, přední náprava, AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro Volvo V60 T6 220 kw*. [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: Dostupné z : <https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/t6-225kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdovy-kotouc?productId=35669>
- Obrázek [30] Větraný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, přední náprava, RENLIST. *Volvo V60 Polestar*. [online]. Minneapolis, kskpsu, Nov. 2015, [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: <https://rennlist.com/forums/vehicle-marketplace/1002241-2015-5-volvo-v60-polestar.html>
- Obrázek [31] Plný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, zadní náprava, AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro Volvo V60 T6 220 kw*. [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: Dostupné z :[:https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/t6-225kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdovy-kotouc?productId=35669](https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/t6-225kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdovy-kotouc?productId=35669)
- Obrázek [32] Větraný brzdový kotouč vozidla Volvo V60, zadní náprava, AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro Volvo V60 T4 132 kw*. [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/t4-132kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdovy-kotouc?productId=694177>
- Obrázek [33] Přední brzdové destičky vozidla Volvo V60, AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro Volvo V60 T4 140 kw*. [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/2.0-t4-140kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka?productId=355599>
- Obrázek [34] Zadní brzdové destičky vozidla Volvo V60, AUTODÍLY DUFY. dufy.cz. *Autodíly pro Volvo V60 T4 140 kw*. [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://dufy.cz/autodily/volvo/v60/2.0-t4-140kw/brzdovy-system/kotoucova-brzda/brzdova-desticka?productId=355364>
- Obrázek [35] Pancéřová hadice tvořená teflonovým jádrem a ocelovým opletením, ASK MOTORSPORT. ask-motorsport.cz. *Brzdová hadice D-03 teflonová*. [online]. Bakov nad Jizerou, Auto-Sport-Kros s.r.o., [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.ask-motorsport.cz/hadice-a-prislusenstvi/brzdova-hadice-d-03-teflonova/>
- Obrázek [36] Zakončení typu „F“ klobouček, GARANCE SLAVIČÍN. garance-slavicin.cz. *Brzdové trubky - metráž*. [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.garance-slavicin.cz/hadice/eshop/14-1-Brzdove-trubky-metraz>

- Obrázek [37] Zkončení typu „E“ kalíšek. GARANCE SLAVIČÍN. garance-slavicin.cz. *Brzdové trubky - metráž*. [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.garance-slavicin.cz/hadice/eshop/14-1-Brzdove-trubky-metraz>
- Obrázek [38] Lankový potenciometr série WPS, řady MK30, na rukojeti ovládání posuvu sedadla, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 14. 7. 2017, 9:35.
- Obrázek [39] Siloměr Interface SSM-20Kn při měření síly působící na pedál brzdy, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 14. 7. 2017, 9:35.
- Obrázek [40] Soustava PC, siloměru, lankového potenciometru, sběrného modulu Dewesoft Krypton, externího zdroje, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 14. 7. 2017, 9:52.
- Obrázek [41] Lineární aktuátor DMA-12-5-B-153-IP65, GROSS Jiří, Ing. transmotec.cz. *Aktuátor série DMA s kuličkovým šroubem*. [online]. Transmotec, © 2008 - 2018, [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz/linearni-aktuatory/dma-kulicovy-zavit.html>
- Obrázek [42] Umístění lineárního aktuátoru ve vozidle, zdroj: MIKULKA Martin, [DWG], 14.3. 2018.
- Obrázek [43] Detail A, zdroj: MIKULKA Martin, [DWG], 15. 3. 2018.
- Obrázek [44] Těleso hlavního brzdového válce dvouokruhového, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 2. 3. 2018, 10:52.
- Obrázek [45] Diagnostická zásuvka OBD II., zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 12. 3. 2018, 18:36.
- Obrázek [46] Základní schéma navrhovaného bezpečnostního zařízení tvořené membránovým akumulátorem, zdroj: MIKULKA Martin, [DWG], 15. 3. 2018, 10:55.
- Obrázek [47] Těleso membránového akumulátoru ELM 0.16-250/00/AF, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 13. 3. 2018, 13:06.
- Obrázek [48] Princip funkce membránového akumulátoru, KOVAZ. kovaz.cz. Membránový akumulátor ELM ACCU 0,16-250/00/AF 10849301102. [PDF]. France, Parker - olaer, [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.kovaz.cz/membranovy-akumulator-elm-accu-0-16-250-00-af-10849301102-639822/>
- Obrázek [49] Elektromagnetický dvoucestný ventil, HYDROLINER HS-A-08-2-38, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 13. 3. 2018, 13:08.

- Obrázek [50] Externí časové relé H-TRONIC HB626, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 13. 3. 2018, 13:04.
- Obrázek [51] Schéma zapojení časového relé a příslušenství, zdroj: MIKULKA Martin, [DWG], 16. 3. 2018, 18:45.
- Obrázek [52] Dvoucestný kulový ventil, ABITEK. *Ball valves 2 ways*. [PDF]. Abitek. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://abitek.net/downloads/15-1-zwei-wege-kugelventil.pdf>
- Obrázek [53] Manometr s bezodkapovou hydraulickou rychlospojkou, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 15. 4. 2018, 9:02.
- Obrázek [54] Redukce závitů G1/2" na G3/8", AGROPROFESOR, *Hydraulická šroubení, manometry, přípojky, hrdla*. [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://www.agroprofessor.cz/hydraulicka-sroubeni/>
- Obrázek [55] T spojka se závitů G3/8", GARANCE SLAVIČÍN. garance-slavicin.cz. *Hydraulické šroubení*. [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.garance-slavicin.cz/hadice/eshop/20-1-Hydraulicke-sroubeni/74-2-Sroubeni-T-kus>
- Obrázek [56] Příklad spojení pancéřové hadice, převlečné matice, olivy a banja, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 5. 4. 2018, 10:56.
- Obrázek [57] Rozvodka tvaru T, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 5. 4. 2018, 10:55.
- Obrázek [58] Banjo rovné, průtokový šroub, odvzdušňovací šroub, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 5. 4. 2018, 10:58.
- Obrázek [59] Vzájemné rozmístění jednotlivých částí brzdového zařízení, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 13. 4. 2018, 13:00.
- Obrázek [60] Vedení pancéřové hadice a přírodních kabelů od snímače nárazu na testovaném vozidle během nárazového testu, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 18. 8. 2017, 15:03.
- Obrázek [61] Propojení brzdové hadice s brzdovou trubicí pomocí propojovacího šedého členu, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 13. 4. 2018, 12:41.
- Obrázek [62] Brzdová měděná trubka opatřená holendry M10x1 a M12x1, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 23. 4. 2018, 16:41.
- Obrázek [63] Napojení bezpečnostního brzdového zařízení na hydraulickou jednotku ABS, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 18. 8. 2017, 8:21

- Obrázek [64] Brzdové zařízení s ruční hydraulickou pumpou během zkušebního testu, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 18. 4. 2018, 17:51
- Obrázek [65] Vyznačené netěsnosti v místech holendrů a brzdové trubky, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 18. 4. 2018, 18:03
- Obrázek [66] Nově navržený přechodový díl, zdroj: MIKULKA Martin, [fotografie], 12. 5. 2018, 12:33

16. Seznam tabulek

- Tabulka 1. Požadavky na brzdové systémy motorových vozidel kategorie M, N, dle EHK.
- Tabulka 2. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla Volvo V60
- Tabulka 3. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla Škoda Octavia Combi
- Tabulka 4. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla Renault Megáne
- Tabulka 5. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla VW Golf
- Tabulka 6. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla Ford Focus
- Tabulka 7. Detailnější informace o jednotlivých motorizacích, brzdových kotoučů a brzdových destiček vozidla Toyota Auris
- Tabulka 8. Rozměry brzdových destiček přední a zadní nápravy vybraných vozidel
- Tabulka 9. Objemy brzdové kapaliny ve vozidle
- Tabulka 10. Rozměry a vlastnosti pancéřových hadic
- Tabulka 11. Parametry aktuátorů série DMA

17. Seznam grafů

Graf č. [1] Sešlapování brzdového pedálu

Graf č. [2] Síla při sešlapování brzdového pedálu

Graf č. [3] Charakteristiky lineárního aktuátoru

Graf č. [4] Průběh tlaku v brzdách vozidla BMW E39 530d

Graf č. [5] Průběh tlaku v brzdách vozidla BMW E46 320d na přední a zadní nápravě

Graf č. [6] Průběh brzdného tlaku vozidla Ford Focus 1.6

Graf č. [7] Průběh brzdného tlaku vozidla Škoda Octavia 1.6 TDI

18. Seznam příloh

Příloha č. [1] Návod k obsluze brzdového bezpečnostního zařízení