

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

**Diagnostika brzd
náběh brzdové síly**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jakub Rádľ

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jakub Rádl

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Diagnostika brzd – náběh brzdné síly

Název anglicky

Diagnostics brakes – start braking power

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat průběh brzdné síly se zaměřením na oblast jejího náběhu.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (literární rozbor konstrukce brzd silničních vozidel, možnosti měření brzdné síly a brzdného zpomalení)
- 3) Cíl a metodika práce
- 4) Výsledky (měření brzdné síly na obvodu kola u zvoleného vozidla, vyhodnocení náběhu brzdění, porovnání doby náběhu během škrncení průtoku brzdové kapaliny)
- 5) Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

brzdová soustava, brzdná síla, doba náběhu

Doporučené zdroje informací

Halderman, J.D., Mitchell, Ch.D.: Automotive brake system. Upper Saddle River, N.J. Pearson/Prentice Hall, 2004. ISBN 978-01311142077

Metodika kontroly brzdové soustavy pomocí decelerometru. DEKRA Automobil a.s., Praha.

Metodika kontroly brzdových soustav osobních automobilů na válcových zkušebnách. Ústav silniční a městské dopravy a.s.

Normy a předpisy, periodika a firemní literatura

Pexa, M., Cindr, M., Porazil, J.: Brzdná síla měřená na válcové zkušebně. 14th International scientific conference "Quality and Reliability of Technical Systems", Nitra, 2009, s. 306-309. ISBN 978-80-552-0222-8

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 2. 7. 2015

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 10. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 02. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma diagnostika brzd – náběh brzdové síly vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 31.3.2016

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě diplomové práce pomohli. Hlavně bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je rozebrat současný stav konstrukce brzd silničních vozidel, možnosti měření brzdné síly, brzdného zpomalení a analyzovat vliv světlosti potrubí na náběh brzdné síly z dat naměřených na dynamické válcové zkušebně.

V první části jsou popsány brzdové systémy, česká i mezinárodní legislativa, kterou musí splňovat všechna silniční vozidla. Dále je popsán systém ABS, moderní prvky brzdových systémů a typy zkoušek, kterými se měří veličiny, které musí splňovat požadavky na brzdný účinek. V další části je rozebrána metodika měření a popsána experimentální válcová zkušebna České zemědělské univerzity v Praze.

V práci jsou zpracovány a vyhodnoceny data získaná z měření. V závěru jsou shrnuty poznatky z vyhodnocených dat a celkové zhodnocení vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly.

Klíčová slova: brzdová soustava, brzdná síla, doba náběhu

Diagnosics brakes – start braking power**Summary:**

The goal of this thesis is to analyze the current state of vehicle brakes construction, possibilities of measuring the brake power, braking deceleration and to analyze the influence of pipe diameter to the beginning braking force, based on data from the measuring in the dynamic cylindrical testing lab.

In the first part are described braking systems and Czech and International legislation, which have to comply with all road vehicles. The section also describes ABS, the modern brake system elements and testing methods that measure the requirements of the braking effect. The next section discusses the methodology of measuring and describes the experimental cylindrical test at Czech Agricultural University in Prague.

In this thesis, they are processed and evaluated the data obtained from the measurement. At the conclusion are summarized the findings from the data evaluation and overall assessment of the influence of pipe diameter to beginning braking power.

Keywords: brake system, braking force, rise time

OBSAH

1	Úvod	1
2	Rozbor současného stavu brzd a možností měření brzdného účinku	2
2.1	Brzdy a brzdové systémy	2
2.1.1	Historie a vývoj brzd	3
2.1.2	Rozdělení	4
2.1.3	Proces brzdění	8
2.1.4	Rozdělení brzdových okruhů	9
2.2	Legislativa pro brzdy a proces brzdění silničních vozidel.....	11
2.2.1	Česká legislativa k brzdám a procesu brzdění	11
2.2.2	Mezinárodní legislativa	11
2.2.3	Předpisy o účinnosti brzd	13
2.3	Protiblokovací systém ABS	15
2.3.1	Požadavky na ABS	16
2.3.2	Funkční složky systému ABS	17
2.4	Moderní prvky brzdových systémů	18
2.4.1	EBV – elektronické rozdělování brzdné síly	18
2.4.2	BAS – Brzdový asistent.....	18
2.4.3	EHB, SBC – elektrohydraulická brzda.....	19
2.4.4	ESP – elektronický stabilizační program	20
2.4.5	Prediktivní systém nouzového brzdění.....	21
2.5	Možnosti měření brzdných systémů.....	22
2.5.1	Základní předpisy o působení brzd	23
2.5.2	Druhy zkoušek brzd.....	27
3	Cíl práce	32
4	Metodika měření.....	33

4.1	Zkušební vozidlo	33
4.2	Válcová zkušebna na Technické fakultě ČZU	37
4.2.1	Elektromotor	38
4.2.2	Frekvenční měniče	39
4.2.3	Měřicí jednotka.....	40
4.2.4	Elektromagnetická spojka	40
4.3	Ventil pro regulaci světlosti potrubí pro brzdovou kapalinu	41
4.4	Průběh měření.....	42
4.4.1	Dynamické měření brzdné síly	42
5	Výsledky měření a jejich vyhodnocení	43
5.1	Úprava a zpracování hodnot z měření.....	44
5.1.1	Konečné zpracování.....	48
6	Závěr	51
	Seznam použité literatury	53
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek.....	57
	Seznam grafů	57
	Seznam příloh	57

1 ÚVOD

Každoročně roste počet vozidel pohybujících se po dálnicích a silnicích na celém světě. Na vozidla pohybující se po pozemních komunikacích jsou proto kladeny vysoké nároky na spolehlivost, ekologičnost, ekonomičnost a bezpečnost provozu. Tyto požadavky nelze zabezpečit pouze kvalitní konstrukcí a výrobou, ale o vozidlo je potřeba pečovat a pravidelně kontrolovat jeho funkčnost.

Bezpečnost vozidel lze rozdělit do dvou základních kategorií, a to na aktivní a pasivní bezpečnost. Do pasivní bezpečnosti spadají prvky, které minimalizují následky po vzniku nehody (deformační zóny vozidla, bezpečnostní pásy, airbagy, atd.). Aktivní bezpečností jsou prvky, které pomáhají zabránit vzniku dopravních nehod. Nejdůležitějšími prvky aktivní bezpečnosti jsou účinné brzdy, které umožňují bezpečné zpomalení nebo zastavení vozidla. Dále do aktivní bezpečnosti spadá dobrý výhled z vozidla, kvalitní pneumatiky s předepsaným vzorkem, přesné a spolehlivé řízení, osvětlení vozu a také tlumiče zajišťující dostatečný kontakt pneumatik s vozovkou. Jako další prvky aktivní bezpečnosti lze vyjmenovat moderní elektronické systémy jako je např. ABS, ESP, a další.

V této diplomové práci je probrána problematika brzdových soustav a jejich diagnostika. Účinnost brzdové soustavy je jedním z nejdůležitějších prvků celé bezpečnosti vozidla. I z tohoto důvodu jsou kladeny nemalé nároky na brzdy vozidel, které musí vozidlo splnit při každé kontrole.

V praktické části této práce je popsáno měření na válcové zkušební České zemědělské univerzity v Praze, kde se umístil škrťící ventil na vedení brzdové kapaliny k pravému přednímu kolu. Hodnoty jsou následně vyhodnocovány v ohledu vlivu světlosti potrubí na náběh brzdové síly. Zkoumáno je, zda má škrcení nějaký vliv, případně jaký, zda byla zvolena vhodná metoda měření a také co by se dalo pro následující měření zlepšit.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU BRZD A MOŽNOSTÍ MĚŘENÍ BRZDNÉHO ÚČINKU

V následujících kapitolách jsou rozepsány podrobně brzdové systémy, legislativa, kterou musí vozidla splňovat, moderní prvky v oblasti brzdových systémů a možnosti měření brzdových systémů.

2.1 BRZDY A BRZDOVÉ SYSTÉMY

Jedním z nejdůležitějších prvků ovlivňujících bezpečnost provozu motorových vozidel je brzdový systém a s tím spojená jejich brzdná dráha. Brzdy jsou jedním z nejnákladnějších zařízení na vozidle. Uvádí se, že u nákladních automobilů se brzdy zahřejí při brzdění až na teplotu 500 °C. U vozidel Tatra při extrémním brzdění jsou teploty ve styčné ploše obložení – buben vyšší jak 500 °C. U kotoučových brzd na osobních vozidlech není například při sjezdu dlouhého klesání žádnou výjimkou svítící neboli rozžhavený kotouč, čili teplota vysoko přes 600 °C. Například brzdové soustavy typu Scania jsou zkoušeny firmou Knorr v extrémních podmínkách, na nejprudších klesáních (10%) o délce až 11km. Zkouší se hlavně intenzita brzdění a stálost působení brzd. V tomhle směru jsou využívány tzv. „Alpské testy“, tj. testování vozů a brzd na prudkých svazích či speciální testy na brzdových stolicích, simulující extrémní provozní podmínky. Jsou porovnávány výsledky měření na začátku a na konci zkoušky. [1]

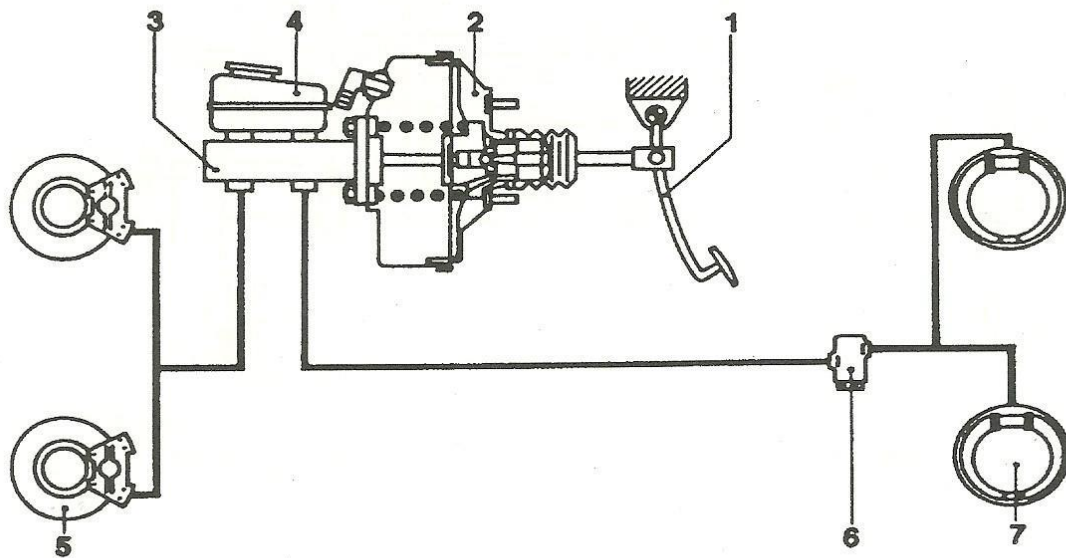
Každý brzdový systém tvoří:

- ovládací prvek, řízený řidičem či obsluhou vozidla, který přímo ovládá dodávku energie potřebné pro brzdění do převodu brzdy.
- převod brzdy – soubor částí systému, který spojuje ovládací orgán s vlastní brzdou.
- vlastní brzdy – část systému, kde je vyvíjena síla způsobující zpomalení vozidla.

Brzdový systém musí zajistit tyto funkce:

- I. Provozní brzdění – má za úkol umožnit ovládání a zastavení vozidla za všech podmínek, tj. bez ohledu na rychlost, zatížení a velikost klesání či stoupání vozovky. Účinek musí být rozdělen mezi kola jedné nápravy symetricky vůči podélné rovině souměrnosti vozidla.
- II. Nouzové brzdění – jeho úkolem je zastavení vozidla v důsledku závady na provozním brzdění.

- III. Parkovací brzdění – má za úkol držet vozidlo v nehybném stavu na stoupající či klesající vozovce, a to i v nepřítomnosti řidiče po odstavení vozidla.



Obrázek 1, Brzdová soustava osobního vozidla [2]

1 – brzdový pedál, 2 – podtlakový posilovač, 3 – tandemový hlavní brzdový válec, 4 – nádržka na brzdovou kapalinu, 5 – kotoučová brzda přední nápravy, 6 – omezovač brzdné síly zadní nápravy, 7 – bubnová brzda zadní nápravy

2.1.1 HISTORIE A VÝVOJ BRZD

První zmínka o hydraulické brzdové soustavě pochází ze Spojených států amerických. Němec Hugo Mayer si už roku 1895 nechal patentovat hydraulický brzdový systém, který však úspěšný nebyl a upadl do zapomnění. V roce 1921 vyhrál závodník Dusenbergr závod Gran Prix v Le Mans, kde použil hydraulicky ovládanou brzdovou soustavu působící na všechna čtyři kola, a tím se proslavil hydraulický brzdový systém. V tomto systému byla použita jako brzdová kapalina směs alkoholu a vody. Hydraulický brzdový systém vyvinul roku 1914 Malcolm Lockheed. Roku 1919 byla založena firma Lockheed Hydraulic Brake Company. V roce 1924 začalo vítězné tažení hydraulického brzdového systému ve firmě Chrysler. Již roku 1938 k tomuto systému přistoupili skoro všichni výrobci automobilů v Německu. O 12 let později byla vyvinuta brzdová kapalina složená z ricinového oleje, alkoholu a diacetonu, která byla schopna spolehlivě přenášet ovládací sílu. Až

v sedmdesátých letech byla zavedena brzdová kapalina vycházející ze silikonového oleje. Za nevýhodu tehdejších systému bylo jasně považováno, že v případě výpadku jednoho diagonálního brzdového okruhu mělo vozidlo tendenci ke stáčení do strany. Kompenzovalo se to záporným poloměrem rejdu. Tento princip byl prvně použit u vozidla Audi 80 v roce 1972. [4]

2.1.2 ROZDĚLENÍ

Pro rozdělení brzdových soustav lze použít dvě kritéria:

- 1) Podle použitého zdroje energie, která vyvolává vlastní brzdný účinek vozidla:
 - a) přímočinné, zde je brzdění vyvoláno jen svalovou silou řidiče – jeho působením na pedál či páku brzdy. Tato síla je k vlastním brzdám vozidla přenášena buď mechanicky (lanka, táhla, apod.) nebo pomocí kapalinového převodu (bez posilovače),
 - b) polostrojní, kde k brzdění je kromě svalové síly řidiče využito dalšího ústrojí, kterým je posilovač brzdového účinku. Ten může být různé koncepce. Buďto přetlakový, podtlakový s využitím podtlaku v sání motoru či hydraulický,
 - c) strojní, zde je brzdění vyvoláno využitím tlakové energie kapaliny, vzduchu nebo jejich kombinace,
 - d) odlehčovací, tyto brzdy slouží ke snižování rychlosti jedoucího vozidla.
- 2) Podle způsobu ovládní:
 - a) nožní – tlakem na brzdový pedál,
 - b) ruční – tlakem na páku brzdy v kabině vozidla,
 - c) samočinné – zabrzděním připojeného vozidla, které nastává automaticky po odpojení od tažného vozidla nebo odtržením během jízdy,
 - d) nájezdové – k brzdění přípojného vozidla je využíváno sil, které vznikají při přiblížení se přívěsu k tažnému vozidlu. [1]

Polostrojní brzdy – využívány hlavně u osobních vozidel

Svalová síla řidiče, působící na ovládací pedál brzdy, je posilovačem zvětšována. Tím je zajištěn větší komfort ovládní (nižší potřeba ovládací síly) při zvětšení vlastního brzdného účinku. Posilovací účinek je u dnes konstruovaných rychlých, avšak také poměrně těžkých

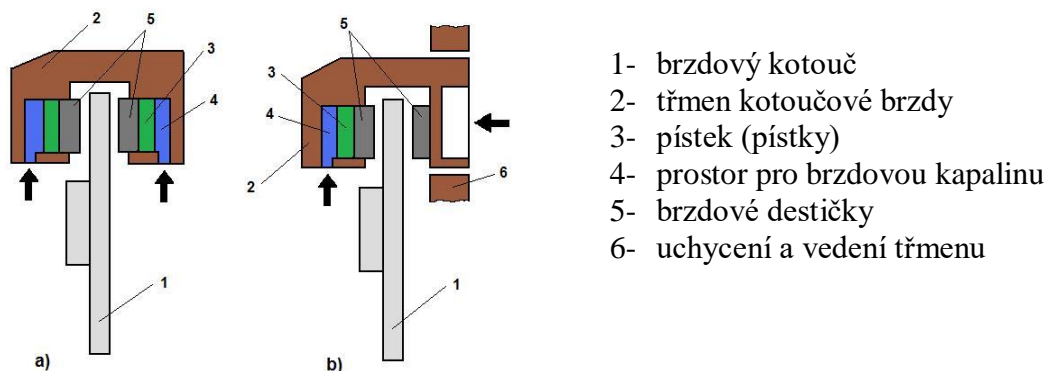
osobních a lehkých užitkových vozidel pro zajištění bezpečnosti provozu nezbytný. Vytváří podmínky pro snížení nároků na řidiče při denních jízdách na velké vzdálenosti. Nejrozšířenějším typem dnes používaných systémů brzd je kapalinová polostrojní brzda s podtlakovým posilovačem. Přenos k vlastním kolovým brzdám je hydraulický. Ovládací síla, kterou působí řidič tlakem na brzdový pedál, je zvýšena v podtlakovém posilovači a prostřednictvím brzdové kapaliny, vytlačované pístem z hlavního brzdového válce, je přenášena ke kolům. Tady tlaková brzdová kapalina rozpíná brzdové válečky (u bubnových brzd) nebo vytlačuje ovládací písty (u kotoučových brzd), tím způsobuje přitlačení brzdových čelistí nebo brzdových destiček na buben či kotouč brzdy a to vyvolává zpomalení vozidla. Soustava tedy pracuje s hydraulickou energií a s hydraulickým převodem. [1]

Protože brzdová kapalina je nestlačitelná – tedy nemění svůj objem při stlačení, je možno malým množstvím kapaliny vytlačeným z hlavního brzdového válce dosáhnout velkých tlaků v systému a tím mohou také veškeré brzdové přístroje mít malé rozměry a hmotnost. [1]

Kotoučové brzdy

Kotoučová brzda má vysokou stabilitu i při vysokých teplotách a je nenáročná na obsluhu, což jsou její hlavní výhody. U osobních automobilů proto již zcela nahradila brzdy bubnové. U nákladních vozidel a autobusů se v poslední době začíná objevovat stále více.

Princip činnosti je založen na přitlačování třecích ploch brzdového obložení (brzdových destiček) na obě strany rotujícího kotouče, který je pevně spojen s nábojem kola. Potřebný přitlak brzdových destiček je zajištěn pomocí pístů uložených a utěsněných v třmenu brzdy. Písty jsou ovládané tlakem brzdové kapaliny. Podle konstrukčního provedení třmenu brzdy lze rozdělit kotoučové brzdy na brzdy s pevným třmenem (obr. 2a) a s plovoucím třmenem (obr. 2b). [8]



Obrázek 2, Kotoučová brzda [18]

V současné době jsou používány nejčastěji brzdy s plovoucími třmeny. Používají se z důvodu, že jsou schopny zajistit rovnoměrný a stejný přítlak destiček na obě strany kotouče. Na kotoučovou brzdou, zejména na vlastní kotouč, jsou při činnosti kladeny vysoké nároky na chlazení a odvod tepla. Kotouče jsou tedy konstruovány tak, aby při otáčení kotouče proudil vzduch kanály odlitými v kotouči. Tyto kotouče jsou nazývány: kotouče s vnitřním chlazením. [8] [31]



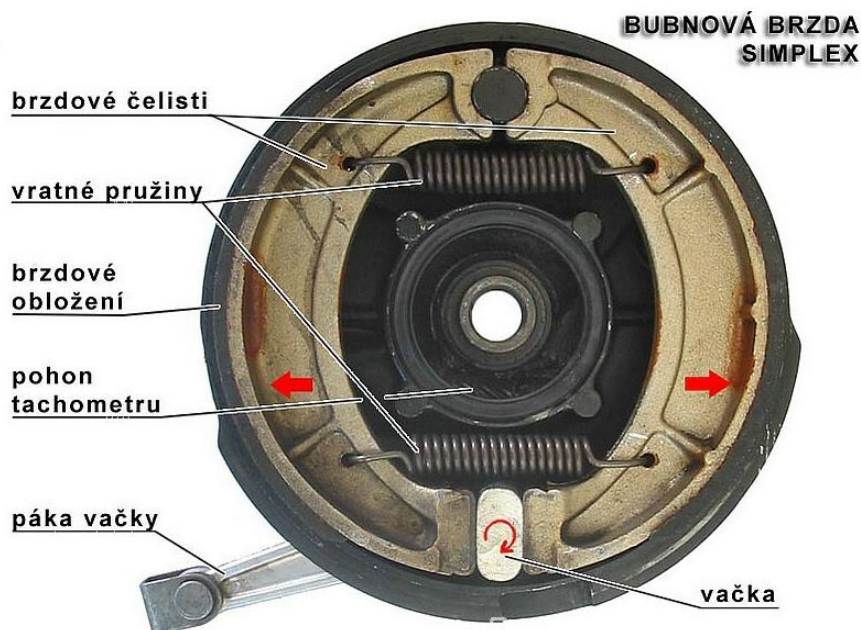
Obrázek 3, Kotouč brzdy s vnitřním chlazením [22]

Při použití kotoučových brzd u autobusů a nákladních vozidel se stále častěji používá jako ovládací medium tlak vzduchu, který prostřednictvím brzdového válce a páky ovládá přítlak destiček. [8]

Podle výrobce je doporučená výměna brzdového kotouče při každé druhé až třetí výměně brzdových segmentů. Vždy je uvedena minimální tloušťka kotouče pro výměnu. Pro plný kotouč o průměru 247 mm je minimální tloušťka 8 mm. Pro kotouč s vnitřním chlazením o průměru 257 mm je minimální tloušťka 18 mm. Pro výměnu brzdových destiček i kotoučů jsou doporučené intervaly. Intervaly se ale velmi odvíjí jak od stylu jízdy, provozních podmínek, tak i od materiálů, ze kterých jsou součásti vyrobeny. Kotouče jsou vyráběny z legované litiny s vysokou pevností. Někteří výrobci legují i hliníkem. Tvrdost kotouče má velký vliv na interval výměny. Měkký kotouč sice brzdí lépe, ale musí se dříve měnit z důvodu rychlejšího opotřebení. [8]

Bubnové brzdy

Bubnové brzdy musí plnit vysoké nároky na přesnost výroby, hlavně na kvalitu opracování povrchu a dodržení geometrie třecí plochy, což má podstatný vliv na chování brzdy (zvukové efekty během brzdění, nerovnoměrnost účinku či vibrace). Tepelná odolnost a rychlý odvod tepla z třecích ploch musí zajistit odolnost proti vzniku trhlin a tepelných skvrn na třecích plochách. Dobré třecí vlastnosti ve spolupráci s použitým brzdovým obložením a vysokou odolností proti opotřebení jsou dalšími požadavky na kotouče a bubny. Tyto nároky může splnit pouze buben či kotouč náležitě dimenzovaný a z kvalitního materiálu. Podle nároků na výkon brzdy jsou bubny vyráběny litím z lehkého kovu se zalitou litinovou vložkou. Tento druh je použit nejčastěji pro osobní automobily. Pro vysoce zatížené brzdy jsou bubny odlévány ze speciálních litin, jejichž složení je obvykle předmětem dlouhého výzkumu. Dostatečné toleranční pásmo bubnu, zejména na třecích plochách, zajišťuje potřebnou tuhost, která je pro správnou funkci nezbytná. Během provozu dochází k opotřebení třecí plochy bubnu, a proto je prováděno přetáčení bubnu na takový průměr, kdy je opět třecí plocha náležitě hladká a rovná. Podle dimenze brzdy je tento opravárenský rozměr větší cca o 1,5 – 3 mm. Takto renovovaný buben však vyžaduje použití brzdového obložení s opravárenským rozměrem (silnější než pro první montáž, rovněž přetočeným na rozměr bubnu). [8]

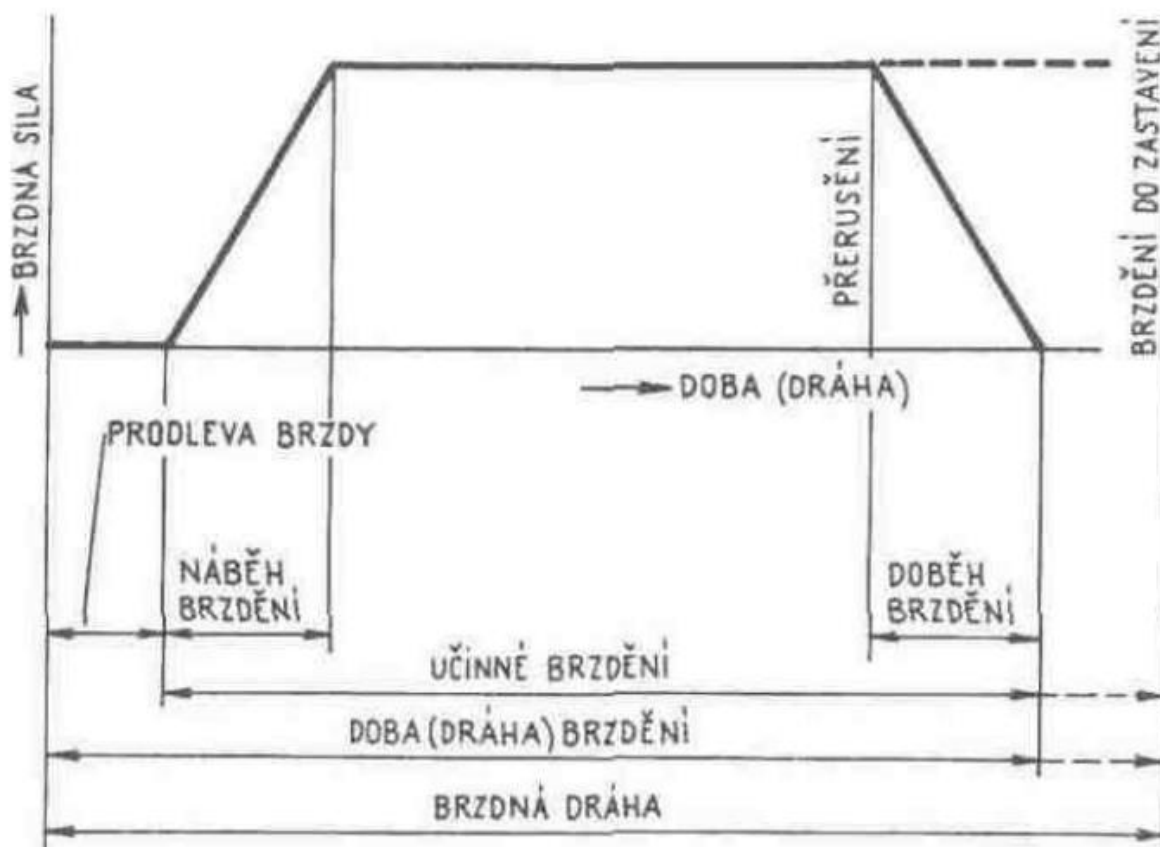


Obrázek 4, Bubnová brzda [19]

2.1.3 PROCES BRZDĚNÍ

Účinek brzdové soustavy pro provozní a nouzové brzdění je hodnocen středním plným zpomalením – je definován předpisem EHK 13, kde jsou uvedeny limitní hodnoty, které musí vozidla plnit. Předpis Evropské hospodářské komise č. 13 platí pro všechna motorová vozidla s konstrukční rychlostí přesahující 25 km/h s výjimkou přívěsných vozidel s jednou nápravou o hmotnosti do 750 kg. Účinek parkovacího brzdění je hodnocen úhlem sklonu svahu, na němž musí parkovací brzda udržet vozidlo v obou směrech jízdy v klidu. [1]

Je naprosto nezbytné, aby brzdy svou spolehlivou a účinnou funkcí zabezpečily v daném okamžiku buď zpomalení vozidla na potřebnou rychlost anebo jeho úplné zastavení, a to při plném zachování směrové stability a ovladatelnosti vozidla. [1]



Obrázek 5, Doba brzdění a její složky [1]

DRUHY AUTOMOBILŮ	POČÁTEČNÍ RYCHLOST [km . h ⁻¹]	NEJVĚTŠÍ PŘÍPUSTNÁ BRZDNÁ DRÁHA [m]	
		PROVOZNÍ BRZDĚNÍ	NOUZOVÉ BRZDĚNÍ
osobní automobily	80	50.7	93.4
autobusy	60	36.7	64.4
ostatní automobily a silniční tahače :			
• do 3.5 t	70	53.1	95.7
• od 3.5 t do 12 t	50	29.2	51
• nad 12 t	40	19.9	33.8

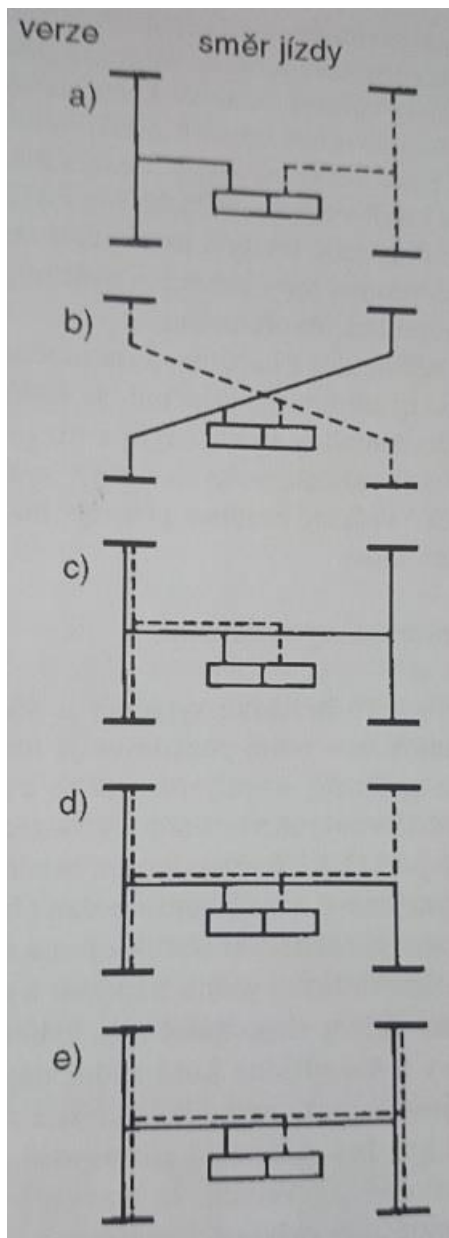
Tabulka 1, Brzdná dráha [1]

Brzdného účinku je dosahováno podle konstrukce použitých brzd, nejvíce třením mezi stojícími – nepohyblivými a otáčejícími se součástmi brzdového systému, přičemž vyvolání a velikost brzdného účinku je řízena řidičem. Při tomto způsobu brzdění je brzdný účinek vyvolán třením mezi pneumatikou a vozovkou. Z tohoto důvodu je brzdný účinek omezen adhezí pneumatiky vůči vozovce. Kromě těchto brzd však existují rovněž systémy využívající k vyvolání zpomalení například účinku elektromagnetických vířivých proudů, hydrodynamických odporů vířící kapaliny nebo pasivních odporů motoru. Tyto systémy jsou nejčastěji používány jako odlehčovací brzdy u těžkých nákladních automobilů či autobusů. [1] [13]

2.1.4 ROZDĚLENÍ BRZDOVÝCH OKRUHŮ

Předpisy pro brzdové systémy je vyžadována dvouokruhovost – tento požadavek je možno splnit několika způsoby zapojení. Tyto způsoby jsou zobrazeny na obr. 3. Dvouokruhový brzdový systém zabezpečuje v případě závady na jednom okruhu brzdění druhým okruhem nejméně s účinkem nouzového brzdění a tudíž zastavení vozidla v krizové situaci. Nejjednodušší rozdělení okruhů je na obr. 6a), kde každý z okruhů brzdí jednu nápravu a obr. 6b), kde jsou okruhy rozděleny diagonálně – to znamená, že brzdí jedno kolo přední nápravy a úhlopříčné kolo zadní nápravy a opačně. Tyto dva systémy jsou v praxi nejčastěji používané a zaručují dostatečný brzdný účinek i u vozidel s pohonem na přední nápravě vozu (varianta b). Verze c), d), e) zvyšují bezpečnost zdvojením části nebo i celé

soustavy. S tím ovšem neúměrně vrůstá složitost celé soustavy a to si nese svoje rizika. U vozidel určených pro běžný provoz nejsou tyto systémy zapojení brzdových okruhů využívány. [1]



Obrázek 6, Možné zapojení brzdových okruhů [1]

2.2 LEGISLATIVA PRO BRZDY A PROCES BRZDĚNÍ SILNIČNÍCH VOZIDEL

V České republice musí vozidla splňovat jak českou, tak i mezinárodní legislativu.

2.2.1 ČESKÁ LEGISLATIVA K BRZDÁM A PROCESU BRZDĚNÍ

Ministerstvo dopravy a spojů je orgánem vydávajícím předpisy pro Českou republiku, které jsou kladeny na brzdové ústrojí a proces brzdění. Předpisy určující podmínky jsou obsaženy v zákoně č. 56/2001 Sb. Česká legislativa, čili tento zákon k procesu brzdění a brzdám vychází z přepisů EHK (Evropské hospodářské komise) OSN. Zákon č. 56/2001 Sb. obsahuje pojednávání o schvalování technických podmínek a technické způsobilosti o provozu motorových vozidel na pozemních komunikacích. V oblasti brzd se také používá norma ČSN 30 0550, která je platná už od roku 1996. [10]

2.2.2 MEZINÁRODNÍ LEGISLATIVA

Mezinárodní legislativou se zabývá Evropská hospodářská komise (EHK) OSN.

Předpisy EHK:

Každý předpis, pod který spadá určitá oblast, jako jsou například brzdy, má své přiřazené pořadové číslo. EHK se samozřejmě vyvíjí a prochází aktualizacemi, ale přiřazené pořadové číslo se nemění. Změna probíhá pouze změnou příslušné série, čili číselným nárůstem za tečkou nebo lomítkem, například 00, 01, 02, atd.

Brzdám a všemu spojenému s procesem brzdění je přiřazeno číslo 13. Tento předpis obsahuje náležitosti pro zkoušení a schvalování systému pro brzdění motorových vozidel spadajících do kategorie M, N a přípojných vozidel kategorie O. [10]

Předpis EHK není zahrnut:

- pro vozidla, která konstrukční rychlostí nemůžou přesáhnout rychlost 25 km/h.
- pro přípojná vozidla, jež se nesmí připojit za motorová vozidla, u kterých konstrukční rychlost přesahuje 25 km/h.
- pro vozidla, která jsou upravená a zařízená pro řízení invalidy.

Předpis EHK stanovuje:

Jeho obsahem je postup, jak podat žádost o homologaci či o rozšíření její platnosti, pokud je prováděna změna typu systému brzdění nebo je ukončená platnost homologace v případě ukončení výroby tohoto typu. [10]

Dále předpis obsahuje rozsah a postup zkoušek pro:

- systémy brzdění a jejich účinek, které jsou ovládány hydraulicky, mechanicky, pneumaticky i elektricky,
- akumulátory (zdroje zásobníků energie),
- dobu náběhu tlaku u vozidel s pneumatickými brzdovými systémy,
- specifická vozidla, která jsou uvedena v Dohodě o dopravě nebezpečných nákladů (ADR),
- systémy pružinových brzd,
- vozidla s protiblokovacími systémy,
- vozidla s nájezdovými brzdami,
- vozidla s elektricky ovládaným vedením,
- určité části brzdových systémů.

[10]

V tabulce 2 je uveden přehled nejdůležitějších částí a příloh předpisu č. 13 EHK.

PŘÍLOHA 1	Brzdová zařízení, metody a podmínky brzdění, které nejsou obsaženy v tomto předpisu
PŘÍLOHA 2	Osvědčení o udělení homologace, rozšíření homologace, odmítnutí homologace, odejmutí homologace, ukončení výroby
Dodatek 1	Seznam údajů o vozidle pro účely homologací podle předpisu č. 90.
Dodatek 2	Osvědčení o homologaci typu brzdového zařízení vozidla
PŘÍLOHA 3	Uspořádání homologačních značek
PŘÍLOHA 4	Zkoušky brzdění a účinky brzdových systémů
Dodatek 1	Postup sledování stavu nabití baterie
PŘÍLOHA 5	Doplňková ustanovení pro určitá vozidla specifikovaná v dohodě ADR
PŘÍLOHA 6	Metoda měření doby náběhu tlaku pro vozidla s pneumatickými brzdovými systémy
Dodatek	Příklad simulátoru
PŘÍLOHA 7	Ustanovení pro zdroje a zásobníky energie (akumulátory energie)
PŘÍLOHA 8	Specifická ustanovení pro systémy pružinových brzd

PŘÍLOHA 9	Ustanovení pro systémy parkovacího brzdění s mechanickým blokováním brzdových válců (brzdy s blokováním)
PŘÍLOHA 10	Rozdělení brzdných sil na nápravy vozidel a podmínky pro splnitelnost mezi tažným a přípojným vozidlem
PŘÍLOHA 11	Případy, v kterých není nutné vykonat zkoušky typu I a nebo typu II (nebo typu <u>lia</u>) nebo typu III
Dodatek 1 Dodatek 2 Dodatek 3 Dodatek 4	Tabulky Alternativní metody zkoušek typu I a typu II pro brzdy přípojných vozidel Vzor formuláře zkušebního protokolu pro alternativní automatické seřizovací zařízení brzdy uvedené v dodatku 2 k této příloze
PŘÍLOHA 12	Požadavky na zkoušky vozidel s nájezdovými brzdami
Dodatek 1 Dodatek 2 Dodatek 3 Dodatek 4	Obrázky Protokol o zkouškách ovládacího zařízení nájezdové brzdy Protokol o zkouškách brzdy Protokol o zkouškách vzájemného přiřazení ovládacího zařízení nájezdového brzdění, převodu a brzd na přívěsu
PŘÍLOHA 13	Ustanovení pro zkoušky vozidel s protiblokovacími systémy
Dodatek 1 Dodatek 2 Dodatek 3 Dodatek 4	Tabulka: značky veličin a definice Využití adheze Brzdný účinek na površích s rozdílnou adhezí Metoda volby povrchu s nízkým součinitelem adheze
PŘÍLOHA 14	Požadavky na zkoušky přívěsu s elektrickými brzdovými systémy
Dodatek	Graf
PŘÍLOHA 15	Metodika zkoušky brzdových obložení na setrvačnickovém dynamometru

Tabulka 2, Předpis EHK č. 13 [10]

2.2.3 PŘEDPISY O ÚČINNOSTI BRZD

K vyhodnocení účinku brzd, čímž je maximální povolená brzdná dráha a minimální brzdné zpomalení. Vozidlo musí splnit určité požadavky v určitých zkouškách. O typech zkoušek až dále. Zde pouze na ukázkou v tabulce 3, jakých hodnot musí vozidlo dosáhnout při zkoušce typu „0“ a parkovací brzdění.

Kategorie vozidel		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃
Typ zkoušky		0, I	0, I	0,I,II	0, I	0, I	0,I,II
Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	v _j	80	60	60	80	60	60
	s ≤	0,1v+v ² /150	0,15v+v ² /130				
	s _j	50,7	36,7	36,7	61,2	36,7	36,7
	a _{stř} ≥	5,8	5,0				
Zkouška typu 0 se zapojeným motorem	v=0,8v _{max,ale} ≥	160	100	90	120	100	90
	s ≤	0,1v+v ² /130	0,15v+v ² /103,5				
	s _j	212,9	111,6	91,8	157,1	111,6	91,8
	a _{stř} ≥	5,0	4,0				
F ≤		50	70				
Parkovací brzdění musí zabránit protáčení kol na svalu nejméně [v %]		30	18- samotné vozidlo 12- souprava				

Tabulka 3, Zkoušky brzd [10]

v – skutečná počáteční rychlost změřená při zkoušce, která musí být co nejbližší jmenovité počáteční rychlosti [km/h]; v_j – jmenovitá počáteční rychlost při zkoušce [km/h]; s – brzdná dráha [m], při zkoušce se změří přesně počáteční rychlost a jejím dosazením do vzorců (viz dále) se vypočítá mezní hodnota brzdné dráhy pro každý konkrétní případ; s_j – jmenovitá brzdná dráha [m], platí jen pro hodnoty jmenovité počáteční rychlosti. U zkoušek se zapojeným motorem je hodnotou brzdné dráhy jen pro uvedené nejvyšší počáteční rychlosti a pro daný případ se musí dopočítat; a_{stř} – střední hodnota plného brzdného zpomalení [m/s²]; F – síla působící na ovládací ústrojí [N]; v_{max} – maximální konstrukční rychlost vozidla [km/h].

Podle předpisu EHK č. 13 vyplývá, že provozní brzdy vozidla musí zastavit vozidlo na dráze dané rovnicí:

$$s \leq v_0 \left(t_1 + \frac{t_2}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2 \cdot a} = K_1 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{K_2} \quad [\text{m}]$$

$$K_1 = \left(t_1 + \frac{t_2}{2} \right) \cdot \frac{1}{3,6}$$

$$K_2 = 2 \cdot a \cdot 3,6^2$$

s – brzdná dráha [m]; v₀ – počáteční rychlost [km/h]; t₁ – doba prodlevy brzd [s]; t₂ – doba náběhu působení brzdného účinku [s], a – brzdné zpomalení [m/s²], K₁ a K₂ – konstanty.

Podle vyhlášky mají konstanty hodnoty:

K₁ = 0,1 pro hydraulické nebo mechanické brzdy,

K₁ = 0,15 pro pneumatické brzdy,

K₂ = 150 odpovídající zpomalení a = 5,8 m/s²

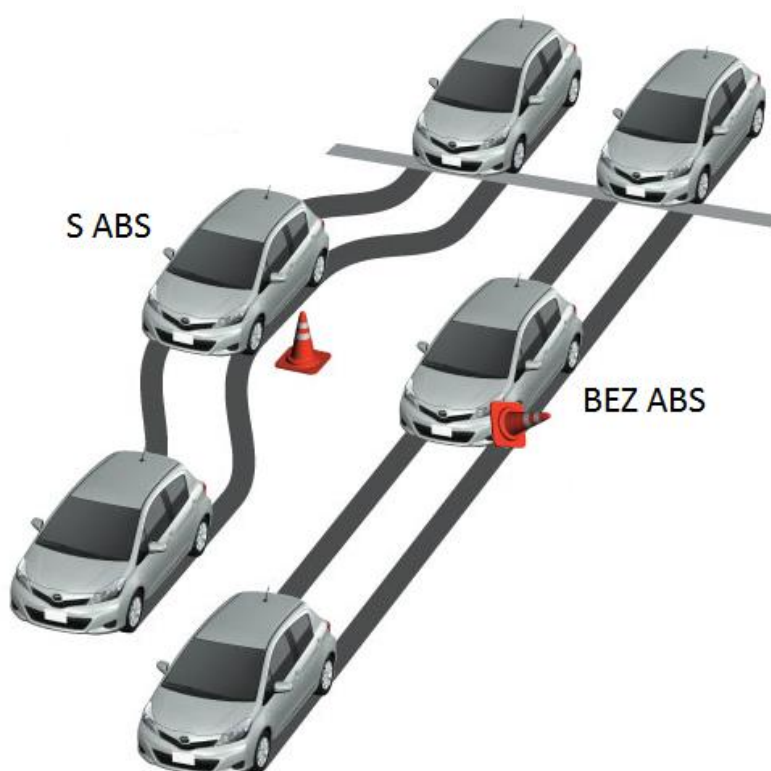
K₂ = 130 odpovídající zpomalení a = 5,0 m/s²

K₂ = 115 odpovídající zpomalení a = 4,4 m/s²

K₂ = 103,5 odpovídající zpomalení a = 4,0 m/s²

2.3 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM ABS

U motorových vozidel občas vyžadují provozní podmínky rychle a bezpečně snížit rychlost jízdy nebo zcela zastavit při kritických situacích. Mezi kritické situace patří například zhoršené podmínky vozovky (mokrý či namrzlá vozovka), prudké reakce řidiče na náhlou překážku nebo chybné chování ostatních účastníků provozu, apod. V těchto případech může dojít k zablokování kol, což je nežádoucí stav, který způsobuje smyk kol a neovladatelnost vozidla. Pro zvýšení aktivní bezpečnosti a zabránění blokování jednoho či více kol se používají systémy ABS (Anti-lock Brake System). V současné době je téměř vždy systém ABS doplněn systémem umožňujícím plynulé rozjetí vozidla, který reguluje prokluz kol při akceleraci. Při použití těchto systémů se stává vozidlo plně ovladatelné a stabilní za každé kritické situace. Výsledkem je tedy bezpečný pocit pro řidiče při ovládání vozidla v provozu. [5]



Obrázek 7, Systém ABS v praxi [20]

Už v počátku 20. století se objevovaly spekulace o tom, jak by se dalo zabránit blokování kol u automobilů. ABS bylo vynalezeno již v roce 1929. Původně však bylo vynalezeno pro letadla francouzským vynálezcem Gabrielem Voisinem. Firma Bosh oznámila v roce 1936 patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“. Dalším velkým nedostatkem byla rychlost, jelikož regulace fungovala příliš pomalu. Až teprve v 70 letech se konečně podařilo uvést na trh ABS použitelné pro motorová vozidla. [5] [26]

Firma Teldix, která je dceřinou firmou firmy Bosch začala vyvíjet svůj protiblokovací systém v roce 1964. Roku 1966 se jim podařilo dosáhnout ve zkušebních automobilech se zabudovaným systémem ABS kratších brzdných drah. Podařilo se jim to dokonce s takovou kvalitou, že zůstala zachována jízdní stabilita při jízdě v zatáčkách či říditelnost vozu. Následně inženýři vyvinuli systém pro regulaci, který byl poprvé kompletně řízen elektronikou. Celé této konstrukci dali jméno ABS 1. ABS 1 ovšem mělo dost nedostatků a muselo se stále zlepšovat. Například elektronický řídicí přístroj obsahoval cca 1000 analogových konstrukčních prvků, a proto nebylo dosaženo žádané spolehlivosti a bezpečnosti. Za pomoci integrovaných obvodů a digitální techniky, technici redukovali počet prvků, což se jim povedlo na 140 kusů. V roce 1978 se konečně dostali k požadované verzi a mohli systém ABS 2 začít sériově vyrábět. Prvními vozy s tímto systémem byly Mercedes-Benz třídy S a BMW řady 7. [16]

2.3.1 POŽADAVKY NA ABS

Celkem musí protiblokovací systém ABS mimo jiné splňovat tyto požadavky:

- regulace brzdění musí zajistit stabilitu jízdy vozidla a jeho ovladatelnost na všech typech povrchu, od mokrého až po náledí,
- ABS musí maximálně využívat součinitel tření mezi vozovkou a koly (Stabilita a říditelnost je důležitější než vlastní brzdná dráha. Síla, kterou působí řidič na brzdový pedál, neovlivňuje úměrně výsledný tlak působící na brzdové čelisti kol),
- regulace brzdění musí probíhat v celé rychlostní oblasti vozu až do minimální,
- při brzdění na vozovce s rozdílnou přilnavostí kol na levé a pravé straně vozu, má vozidlo tendenci se vychylovat příčně ke směru jízdy,
- regulace se musí rychle přizpůsobit změně adheze (přilnavosti) tak, aby neovlivnila stabilitu vozidla,

- během brzdění v zatáčce či na vozovce s nerovným povrchem musí zůstat vozidlo stabilní s co nejmenší brzdovou dráhou,
 - regulace musí rozeznat aquaplaning a vhodně na něj reagovat tak, aby byla zachována přímá jízdní stabilita,
 - bezpečnostní obvody musí neustále kontrolovat bezchybnou funkci systému ABS.
- [1]

2.3.2 FUNKČNÍ SLOŽKY SYSTÉMU ABS

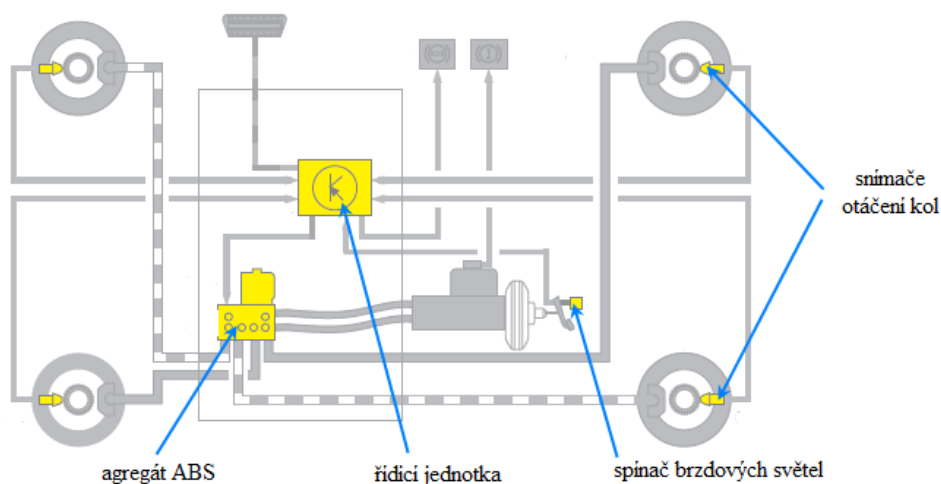
Každý systém ABS se skládá z těchto základních částí:

- snímače otáček jednotlivých kol, případně snímače otáček hnací nápravy (na kuželovém pastorku stálého převodu),
- hydraulické jednotky,
- elektronické řídicí jednotky,
- kontroly opotřebení obložení brzdového segmentu.

Regulační okruhy ABS se skládají z těchto částí:

- regulační dráha,
- rušivé veličiny – jízdní poměry, stav brzd, zatížení vozidla, stav pneumatik, apod.
- regulátor – snímače otáček a řídicí jednotka,
- regulační veličiny – otáčky,
- regulační veličina – řidičův tlak na brzdový pedál.

[1]



Obrázek 8, Schéma ABS [21]

2.4 MODERNÍ PRVKY BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ

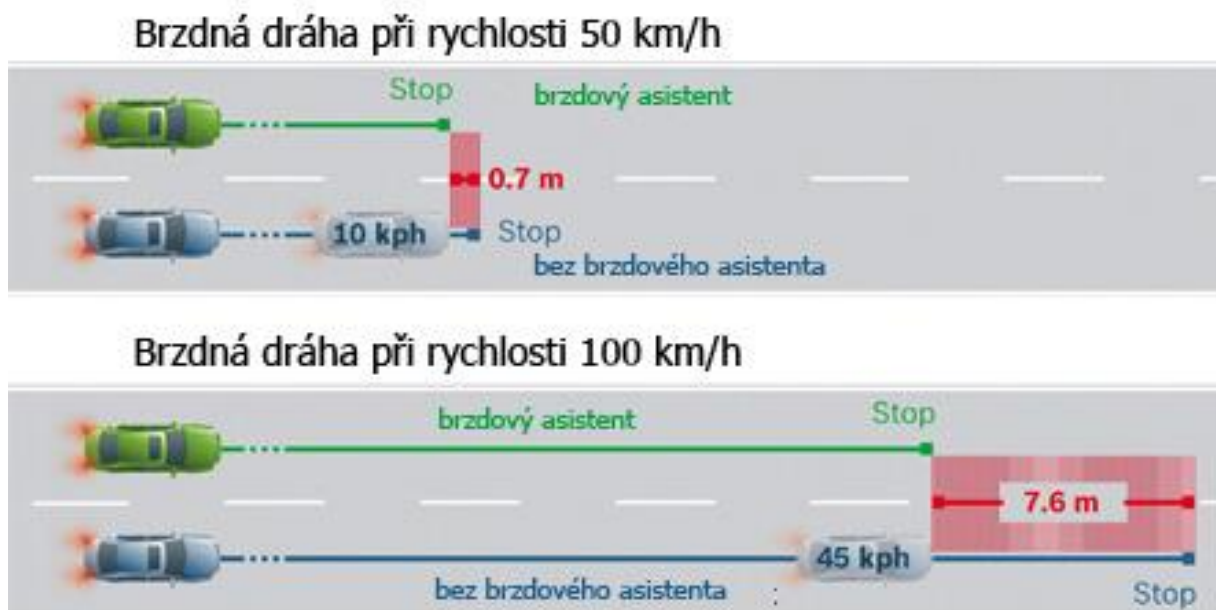
V současné době je kladen vysoký požadavek na aktivní bezpečnost, a proto je vyvíjeno stále více technologií, které k tomu přispívají. Vývoj brzd a různých brzdových asistentů k tomu neodmyslitelně patří. V oblasti současných trendů mezi brzdovými systémy patří například elektronické rozdělení brzdné síly, brzdový asistent či elektrohydraulická brzda.

2.4.1 EBV – ELEKTRONICKÉ ROZDĚLOVÁNÍ BRZDNÉ SÍLY

EBV je použito u vozidel, které jsou vybaveny systémem ABS. Není závislé na systému ABS a funguje před jeho vlastní regulací či v případě jeho výpadku. EBV s využitím hydraulického okruhu ABS a jeho elektromagnetických ventilů reguluje sílu na zadní nápravě. Díky tomuto systému se regulátor brzdné síly v závislosti na zatížení zadní nápravy stává zbytečným. Pokud dojde k poruše elektronického rozdělování brzdné síly, rozsvítí se kontrolka ABS. Tento systém bere v úvahu jak stav vozovky, tak i poměry zatížení a je uveden do činnosti již při lehkém brzdění, hlavně během jízdy do zatáčky. Za pomoci snímačů otáček kol jsou sledovány rozdíly v otáčkách mezi koly na pravé a levé straně a mezi přední a zadní nápravou. Vše je řízeno a vyhodnocováno v řídicí jednotce. V případě zjištění moc velkého rozdílu v otáčkách přední a zadní nápravy, řídicí jednotka zabrání dalšímu zvyšování tlaku na zadní nápravu zavřením vstupních elektromagnetických ventilů. V případě hrozby blokace některého kola zareaguje řídicí jednotka na signál čidla a brání dalšímu zvyšování tlaku pro toto kolo. Pomocí EBV se dosáhne stability při brzdění vozidla v zatáčce. [5]

2.4.2 BAS – BRZDOVÝ ASISTENT

Brzdový asistent je založen na principu snímání každého sešlápnutí brzdového pedálu a ukládá si rychlost a sílu sešlápnutí. Tyto informace jsou předávány do řídicí jednotky, kde se porovnávají s uloženými údaji pro případ běžného brzdění. Je-li sešlápnutí vyhodnoceno jako kritické, tak se za pomoci elektromagnetického ventilu aktivuje velice rychle posilovač brzd, čímž je okamžitě k dispozici maximální brzdny účinek. Díky tomuto systému lze podstatně zkrátit brzdnou dráhu vozidla. [5]



Obrázek 9, Rozdíl brzdné dráhy s a bez brzdového asistenta BAS [27]

2.4.3 EHB, SBC – ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA

Při běžném provozu je prostřednictvím oddělovacích ventilů zajištěno hydraulické spojení mezi pístky brzd kol a hlavním brzdovým válcem. Elektronické čerpadlo vytvoří při sešlápnutí brzdového pedálu vysoký tlak (cca 13-16 MPa). Umožňuje také velmi prudký nárůst hydraulického tlaku. Tento proces je podporován funkcemi „Předběžné naplnění“ a „Suché brzdění“. Řídící jednotka SBC přijímá informace za pomoci elektrického signálu, který je vysílán ze snímače polohy brzdového pedálu. Následně se díky dalším řídicím jednotkám, ABS, ESP a další elektroniky rozhodne, jak dlouho a jakou silou bude hydraulický tlak působit na jednotlivé brzdy každého kola. Elektrohydraulická brzda má několik možností jak zlepšuje proces brzdění. [5] [28]

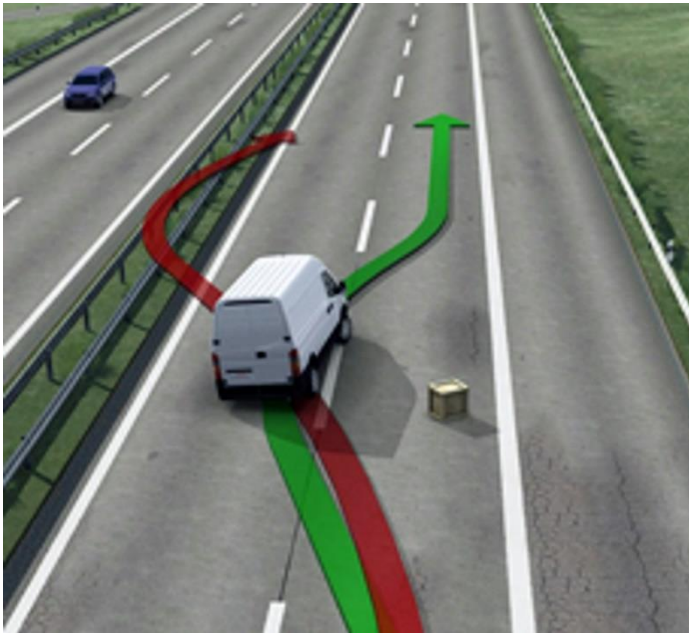
Možnosti zlepšení brzdění pomocí elektrohydraulické brzdy:

- **předběžné naplnění** brzdového vedení, slouží pro případ, že když při vysoké rychlosti je náhle uvolněn plynový pedál, tak se připraví brzdové obložení na nouzové brzdění,
- **suché brzdění** brzdového obložení reaguje na situaci dle frekvence stěračů skel (při jemném brzdění může dojít k vysoušení ploch brzdových kotoučů),

- **SBC Stop** může být aktivováno jen při rychlosti menší než 15 km/h a snižováním rychlosti pomocí páčky tempomatu. Díky tomu vozidlo brzdí se stálým zpožděním, dokud se zcela nezastaví,
 - **SBC Hold** je asistent rozjezdu do kopce. Zamezuje vozidlu, které stojí v kopci, v couvání.
- [5]

2.4.4 ESP – ELEKTRONICKÝ STABILIZAČNÍ PROGRAM

Při jízdě automobilu může dojít k situacím, kdy se vozidlo stává velice těžko ovladatelným. V případě, že je navíc tato situace doprovázena malými zkušenostmi řidiče nebo prudkým brzděním či špatným manévrem volantu, může nastat smyk vozidla. Takovýmto situacím se samozřejmě snaží výrobci vozidel zabraňovat a zvyšovat bezpečnost provozu. Dochází proto k sériové montáži ESP, který je doplňován známějšími a dříve používanými systémy, jako jsou například ABS, ASR a MSR (regulace brzdného momentu motoru). Systém ESP má však oproti ABS a ASR výhodu v tom, že dokáže regulovat skluz pneumatiky, jak v podélném, tak ale i v příčném směru. Při vzniku moc velkého příčného skluzu pneumatiky dochází ke ztrátě bočního vedení a to vede následně k vybočení vozidla do strany. Systém ESP snižuje riziko smyku během brzdění, ale také s tímto systémem roste stabilita vozidla, jež projíždí zatáčkou. ESP tedy celkově zvyšuje stabilitu vozidla. Dosahuje toho samočinnými zásahy do hnacího momentu motoru a brzd jednotlivých kol bez zásahu řidiče. V případě, že systém zaznamená příčně dynamický kritický stav vozidla, dochází k zabrzdění příslušných kol a tím k vytvoření točivého momentu kolem svislé osy vozu. Tento moment má za úkol kompenzovat nedotáčivý či přetáčivý pohyb vozidla. ESP je regulační systém, který slouží řidiči k vylepšení chování vozidla. Systém ESP ovšem nezasahuje jen do brzdové soustavy, ale také do hnacího ústrojí vozidla. [5] [29]



Obrázek 10, Systém ESP [22]

2.4.5 PREDIKTIVNÍ SYSTÉM NOUZOVÉHO BRZDĚNÍ

Systém prediktivního nouzového brzdění pomáhá řidiči v případě rozptýlení během jízdy nebo krátkodobé ztráty koncentrace. Pokud vozidlo jede rychlostí 80 km/h a řidič ztratí na sekundu pozornost, tak automobil ujede více než 22 metrů. Při takové ztrátě často dochází k nárazu do vozidla jedoucího před tímto vozem. Z ujetých metrů za vteřinu lze jasně vidět, že v takovýchto případech můžou o nehodě rozhodovat opravdu i desetiny sekundy. Výzkumy nehod ukazují, že při velké části nehod, kdy řidič nabourá vozidlo před sebou, je na vině pomalé sešlápnutí brzdového pedálu či malá síla sešlápnutí. Pro snížení nehod by měl přispět právě systém prediktivního nouzového brzdění, který vyvinula firma Bosch. Tento systém se snaží zabránit nárazu do vpředu jedoucího vozidla nebo aspoň snížit následky po nárazu. Systém je založen na propojení systému regulace jízdní dynamiky (ESP) nebo elektronickým řízením stability (ESC) a radarového snímače. Neustále analyzuje provoz před vozidlem. Tento systém je aktivován okamžitě po nastartování vozidla a funguje bez ohledu na rychlost jízdy. Systém funguje jak přes den, tak i v noci. Důležité ovšem je, aby si řidiči uvědomili, že tento systém je pouze pomocný a každý řidič i tak sám zodpovědný za to, aby věnoval pozornost řízení a dodržoval bezpečný odstup. [9]



Obrázek 11, Systém prediktivního nouzového brzdění [25]

2.5 MOŽNOSTI MĚŘENÍ BRZDNÝCH SYSTÉMŮ

V silničním provozu je stále více pozornosti věnováno bezpečnosti. Snad nejdůležitější částí vozidla pro bezpečnost silničního provozu jsou brzdy, a proto je zapotřebí jim věnovat speciální pozornost. Účinnost brzdové soustavy by se měla proto velmi pečlivě zkoušet. Pro zkoušení brzdových vlastností i pro jejich vyhodnocení je stanoven předpis R 13 Evropské hospodářské komise (EHK) OSN, vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích. [6]

Veličiny určující účinek brzdové soustavy:

- pokud vozidlo stojí tak se určuje brzdný sklon – sklon svahu, na kterém je možné zamezit pohybu vozidla za pomoci parkovacího brzdění,
- pokud se vozidlo pohybuje tak jsou měřítkem brzdné zpomalení, brzdná dráha a ovládací síla na brzdový pedál.

Celkově na brzdové soustavě probíhá několik zkoušek. Testuje se například celkový účinek brzdové soustavy, čímž se rozumí schopnost vozidla snížit rychlost, klidně až do zastavení, nebo udržení vozidla ve svahu. Na stanici technické kontroly se měří například souměrnost působení brzd na protilehlých kolech jedné nápravy. Snahou je dosažení, pokud je to možné, stejných brzdných sil. [6]



Obrázek 12, Asfaltová plocha pro dynamické zkoušky brzdění [17]

2.5.1 ZÁKLADNÍ PŘEDPISY O PŮSOBENÍ BRZD

Účinek brzd pro vozidla kategorie M a N je předepsán v § 30 Účinek brzd vyhlášky č. 341/2014 Sb. Do kategorie M patří motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob. Do kategorie N spadají motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů. V tomto paragrafu jsou také uvedeny typy zkoušek, kterými se účinky brzd zkoušejí.

a) Zkouška typu „0“

Základní zkouška. Zjišťuje dále předepsané brzdné účinky, pokud u nich není stanoveno jinak. Na počátku této zkoušky musí být brzdy studené, tím se rozumí, že teplota, která se měří na kotouči či bubnu je nižší než 100 °C.

b) Zkouška typu „I“

Během této zkoušky je zkoušeno slábnutí brzdného účinku.

c) Zkouška typu „II“

Tento typ zkoušky slouží pro testování vozidla na dlouhých klesáních.

d) Zkouška typu „IIA“

Je zkouškou sloužící pro testování brzdných vlastností během sjíždění dlouhého klesání, ovšem bez využití provozního, nouzového a parkovacího brzdění.

e) Zkouška typu „III“

Zkouška testující slábnutí brzdného účinku pro vozidla O4.

Provozní brzda a její účinnost je prakticky stanovena podle nejvyšší přípustné brzdné dráhy, na které musí vozidlo zastavit. Vždy vozidlo zastavuje z nějaké stanovené počáteční rychlosti.

[6]

a) Zkouška typu „0“

Jak již bylo zmíněno výše, je to zkouška se studenými brzdami. Testování probíhá vždy na vodorovném povrchu. Pro samotné testování je potřeba auto naložit tak, aby rozložení váhy na nápravy odpovídalo údajům udávaných výrobcem. Někdy je vyžadováno provedení více druhů testů, co se týče rozložení váhy na nápravy. V tomto případě je potřeba brát v úvahu dodržení maximální přípustné hmotnosti na nápravu, kterou udává výrobce.

Všechny typy zkoušek je nutné opakovat ještě minimálně jednou s nenaloženým vozidlem. Ve vozidle při testu může být kromě řidiče ještě spolujezdec, který zaznamenává výsledky. [10]

Zkouška typu „0“ s odpojeným motorem:

Tento test je prováděn z rychlosti, která je pro každou kategorii vozidel dána. Pro každou rychlost je daná i maximální povolená odchylka. [10]

Zkouška typu „0“ se zapojeným motorem:

Tento test se provádí z několika rozdílných rychlostí. Nejnižší rychlost testu je rovna 30 % z maximální rychlosti vozidla. Nejvyšší rychlost testu je rovna 80 % z maximální rychlosti vozidla. Pokud je vozidlo vybaveno zařízením pro omezování rychlost, tak se jako maximální rychlost vozidla bere hodnota, jež dovoluje právě toto omezovací zařízení. Během měření se na testované dráze změří skutečné brzdné účinky a do protokolu se zaznamená chování vozidla. Pokud se testuje tahač s návěsem, tak se návěs uměle zatěžuje, aby byly co nejvíce nasimulovány účinky plného návěsu. Naložené návěsy se nesmějí zkoušet při rychlosti vyšší

než 80 km/h. Následně se vykonávají další zkoušky se zapojeným motorem při rychlostech, které jsou dané pro danou kategorii vozidla. [10]

b) Zkouška typu „I“

Při tomto typu zkoušky se měří slábnutí brzdného účinku. Tato zkouška je zaměřena na slábnutí vlivem stálého nebo častého brzdění. V těchto případech dochází k zahřívání brzdných třecích ploch a to má za následek klesnutí brzdného účinku.

Zkouška typu „I“ s opakovaným brzděním:

Během tohoto testu je vozidlo naložené a je uskutečněno několik brzdění v řadě a následné uvolnění brzd. Během testu je vždy zařazený nejvyšší rychlostí stupeň a zapojený motor. Při měření je zapotřebí dodržet, aby síla, která působí na ovládací orgán brzd, byla seřizena tak, aby se během prvního měření dosáhlo středního plného brzdného zpomalení 3 m/s^2 . Tuto sílu je pak nutné udržet stejnou pro všechny další měření. Pro měření je potřeba dodržet podmínky pro danou kategorii. Podmínky pro určité kategorie jsou uvedeny v následující tabulce. [10]

Kategorie vozidel	Podmínky pro zkoušky			
	v_1	v_2	Δt (s)	n
M ₁	80% $v_{\max} \leq 120$	1/2 v_1	45	15
M ₂	80% $v_{\max} \leq 100$	1/2 v_1	55	15
M ₃	80% $v_{\max} \leq 60$	1/2 v_1	60	20
N ₁	80% $v_{\max} \leq 120$	1/2 v_1	55	15
N ₂	80% $v_{\max} \leq 60$	1/2 v_1	60	20
N ₃	80% $v_{\max} \leq 60$	1/2 v_1	60	20

Tabulka 4, Podmínky pro zkoušku typu "I" [10]

v_1 – počáteční rychlost na počátku brzdění (km/h), v_2 – rychlost na konci brzdění (km/h),

v_{\max} – maximální rychlost vozidla (km/h), n – počet brzdění, Δt – čas mezi cykly brzdění (s)

c) Zkouška typu „II“

Během tohoto testu se zkouší chování vozidla během dlouhých klesání. Tento test je prováděn tak, aby zkoušené naložené vozidlo pohlcovalo stejnou energii, jako když by jelo na dráze dlouhé 6 km s 6 % klesáním střední rychlostí. Pokud je vůz vybaven odlehčovací brzdou, tak během tohoto testu jí může použít. Důležité je, aby při testu byl zařazen takový rychlostní stupeň, aby nebyly překročeny maximální otáčky motoru, které udává výrobce. Při určování brzdného účinku motoru je dostačující, aby bylo dosaženo středního zpomalení

alespoň 0,5 m/s². Po tomto testu je zapotřebí, aby byl proveden ještě test zahřátých provozních brzd. Účinnost brzd musí být taková, aby se brzdná dráha vešla do hodnot uvedených v následující tabulce při maximálním působení síly na brzdný orgán 700 N. [10]

Kategorie vozidla	M ₃	N ₃
Brzdná dráha [m]	0,15v + 1,33v ² /130	0,15v + 1,33v ² /115
Střední plné brzdné zpomalení [m/s ²]	3,75	3,3

Tabulka 5, Podmínky pro splnění zkoušky typu "II" [10]

d) Zkouška typu „III“

V této zkoušce je popsáno slábnutí brzdného účinku pro přípojná vozidla o nejvyšší přípustné hmotnosti přes 10 000 kg (O4). Tento test je prováděn tak, že během jízdy se vozidlo několikrát opakovaně zabrzdí. Každý brzdící cyklus trvá 60 sekund a je 20 krát opakován. Počáteční rychlost je vždy 60 km/h. Rychlost na konci celého cyklu se vypočítá dle vzorce:

$$v_2 = v_1 \sqrt{\frac{P_M + P_1 + P_2}{P_M + P_1 + P_2} \cdot \frac{4}{P_M + P_1 + P_2}} \text{ [km/h]}$$

v₁ – počáteční rychlost (km/h), v₂ – konečná rychlost (km/h), P₁ – část hmotnosti nesené nebrzděnou nápravou (kg), P₂ – část hmotnosti nesené brzděnou nápravou (kg)

Po této zkoušce je nutno změřit účinnost provozního brzdění se zahřátými brzdami. Tento test se zahřátými brzdami se provádí stejně jako u zkoušky typu „0“. Počáteční rychlost je rovna 60 km/h. [10]

2.5.2 DRUHY ZKOUŠEK BRZD

Jsou předepsány dva druhy, jak ověřit předepsaný účinek brzd:

- a) jízdními zkouškami na silnici,
- b) na zkušebních zařízeních, například na plošinových či válcových zkušebních brzd.

a) Jízdní zkoušky na vozovce

Jízdní zkouška se provádí jako brzdění v přímém směru. Používá se pro kontrolu předpisem stanovených brzdných drah, k ověření funkce omezovačů brzdného účinku, posilovačů brzdné soustavy, testování ABS, atd. Speciální zkoušky se provádí taktéž pro test směrové stability. Toho lze využít například při nesouměrném účinku brzd na pravé a levé straně nápravy. Během brzdných zkoušek je měřeno hlavně zpomalení vozidla, ovládací tlak v brzdové soustavě, brzdná dráha, ohřátí brzd či ovládací síla na brzdovém pedálu. [6]

Přímé měření brzdné dráhy

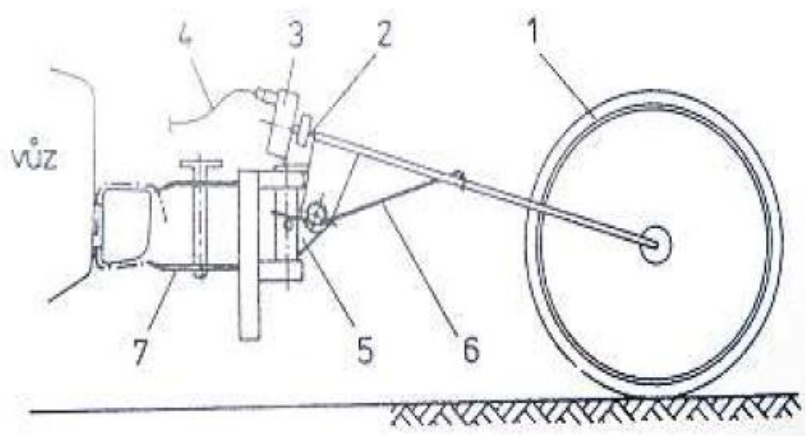
Měření přímo brzdné dráhy je založeno na principu měření brzdné dráhy nebo času brzdění z dané rychlosti. Z toho je následně vypočtena hodnota zpomalení. Jednou z možností pro toto měření je způsob, kdy jsou vystřelovány barevné značky na vozovku a měří se čas a vzdálenost mezi značkami. Tento systém je složen z odpalovacího mechanismu, snímače pro brzdový pedál, elektronických stopek a dalších prvků. Všechny prvky vyjma odpalovacího zařízení jsou umístěny uvnitř vozu. Odpalovací zařízení se přidělá na vhodné místo vně vozidla. [6]

Další možnosti měření brzdné dráhy

Jako spíše orientační měření lze použít i velice jednoduchou metodu, ke které nám postačí pouze stopky a pásmo. Najdeme vhodnou zkušební dráhu a vyznačíme si úsek mezi dvěma body (například A-B) kužely nebo něčím co je po ruce a je to jasně viditelné. Během tohoto měření je nutná spolupráce od spolujezdce, který provádí měření. Vozidlo řidič uvede do konstantní rychlosti podle tachometru a vjede do úseku A-B. V momentě projíždění kolem bodu B začne řidič brzdit. Měří se doba průjezdu mezi body A-B a doba potřebná pro zastavení vozidla. Po zastavení se změří brzdná dráha. Je možné toto měření udělat i tak, že

kolega není na sedadle spolujezdce, ale stojí u vyznačené dráhy A-B a měří čas zvenku. Je nutné dbát na měření času vždy od stejné části vozu u značky.

Pro měření brzdné dráhy je také možno použít takzvané vlečné kolo, někdy nazývané jako páté kolo. Vlečné kolo je víceúčelové zařízení, slouží k dynamickým jízdám testům. Vlečné kolo je tvořeno lehce upraveným jízdáním kolem s rozměrem 28". Kolo se za pomoci kardanového závěsu připevňuje k vozidlu. Nejčastěji se připevňuje k zadnímu nárazníku nebo k pomocné konstrukci na boku vozidla. Elektronický snímač impulzů se zpravidla umísťuje přímo do osy otáčení kola nebo se umístí na kardanový závěs a rotační část snímače je poháněna rotačním hřídelem. [6]



Obrázek 13, Vlečné kolo [6]

1 – kolo, 2 – ohebný hřídel, 3 – snímač impulzů, 4 – el. kabel, 5 – kardanový závěs, 6 – přítlačná pružina, 7 – upevnění k vozidlu.

b) Zkoušky na zkušebních zařízeních

Pro zkoušení brzd na zkušebně se nejčastěji využívají tyto 3 možnosti:

- a) plošinové zkoušky,
- b) pomaloběžné válcové zkušebny (do 10 km/h),
- c) rychloběžné válcové zkušebny (až do 200 km/h),

a) Plošinová zkušebny

Tato zkušebna se využívá pro testování brzd jak nákladních, tak i osobních vozidel. Testované vozidlo najíždí na měřicí plošiny rychlosti cca 10 km/h. Pokud se testuje například ABS, tak je možno najíždět i vyšší rychlostí. V momentě, kdy řidič najede s vozidlem na plošiny, prudce zabrzdí. Plošiny jsou připojené na elektronické jednotky, kam se přenesse pomocí snímačů údaje o brzdných silách jednotlivých kol. Jednou z výhod je, že plošinová zkušebna brzd měří za podmínek, které se podobají provozu z hlediska dynamických účinků na vozidlo. Další výhodou je, že během zkoušky mohou být v provozu omezovací a zátěžové ventily, ABS a 4WD systémy podobně jako v provozu na vozovce. [6] [15]



Obrázek 14, Plošinová zkušebna [15]

b) Pomaloběžné válcové zkušebny (do 10 Km/h)

Pro zkoušky brzdové soustavy na pomaloběžných válcových zkušebnách se brzdný účinek vyhodnocuje dle poměrného zpomalení, takzvaného zbrzdění Z, které je dáno vztahem:

$$Z = \frac{\sum F_B}{G} * 100 = \frac{\sum F_B}{m * g} * 100 [\%]$$

$\sum F_B$ – součet brzdných sil na obvodech jednotlivých kol vozu, za stejné hodnoty ovládací síly, respektive ovládaného tlaku [N]

$G = m * g$ – celková tíha vozidla [N]

Pomaloběžné válcové zkušebny se využívají při kontrolách na stanicích technické kontroly a také v autoservisech. Využívají se tam proto, protože podle hodnot naměřených sil F_B , lze snadno a rychle ověřit funkci brzd, vyhodnotit souměrnost brzdění na pravé a levé straně nápravy a zjistit celkové rozdělení brzdné síly.

Takováto válcová zkušebna, kde se měří brzdná síla se skládá ze dvou párů hnacích válců, které jsou uloženy v základové konstrukci. Základová konstrukce bývá převážně zabudovaná pod úroveň podlahy.

Testování brzdného účinku se provádí tak, že testovaný vůz postupně najede koly přední a zadní nápravy na měřicí válce tak, aby vždy na každém válci stálo jedno kolo. V průběhu měření je motor vozidla vypnut. Kola vozidla se roztáčí na danou rychlost pomocí měřících válců, které jsou poháněny elektromotory. Tahle rychlost, takzvaná zkušební rychlost se nemění ani během brzdění. Brzdná síla, která působí na obvod brzděného kola vyvolá reakční moment, který působí proti směru otáčení měřícího válce a který je úměrný velikosti brzdné síly kola. [6] [14]



Obrázek 15, Test brzd na válcové zkušebně [23]

c) Rychloběžné válcové zkušebny (až do 200 Km/h)

Rychloběžné válcové zkušebny se používají pro měření brzdné dráhy. Snahou je přiblížit podmínky na válcích co nejvíce reálným podmínkám na vozovce. Zařízení funguje na principu, že se zpomalují až zastaví dva litinové válce, které roztáčí elektromotor. Válce zároveň roztáčí kola nápravy, kde jsou testovány brzdy. Energie, která se akumuluje v setrvačné hmotě válců je mařena brzdami. Moment setrvačnosti je znám. Samotné měření probíhá tím způsobem, že je sešlápnut pedometr, tím se samočinně přeruší pohon válců a snímač otáček zaznamená počet otáček do zabrzdění. Tento počet otáček slouží pro určení

brzdného účinku. Výsledná hodnota se podobá hodnotám naměřeným při jízdnicích zkouškách. Výsledky této zkoušky a jízdnicí zkoušky se liší, protože na válcové zkušebně není možné simulovat všechny vnější vlivy, jako je třeba účinek klopného momentu, odskakování kol během brzdění, atd. [6]



Obrázek 16, Válcová zkušebna [24]

3 CÍL PRÁCE

Obecným cílem práce je rozebrat problematiku brzdových systémů, možnosti jejich měření a najít vhodnou metodu analýzy dat pro zjištění vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly, případně navrhnout možnosti zlepšení pro další měření.

Obecného cíle bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- nalezením vhodných veličin pro analýzu a jejich výpočtem,
- vypracováním grafů k porovnání,
- analýzou grafů a získaných hodnot.

4 METODIKA MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno v roce 2012. Prováděl ho v rámci své diplomové práce student Bc. Karel Němec pod vedením doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D., který je letos i mým vedoucím diplomové práce. Pan Němec zkoumal vliv světlosti potrubí na průběh brzdné síly na obvodu kola. Výsledky tohoto měření jsou použity v této práci k porovnání vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly.

4.1 ZKUŠEBNÍ VOZIDLO

Pro měření byl použit osobní automobil Škoda Roomster, který zapůjčila Technická Fakulta, České Zemědělské Univerzity v Praze. Tento automobil byl vybaven zážehovým motorem 1,6 MPI o výkonu 77kW. Automobil obsahoval 6-ti stupňovou automatickou převodovku. Více informací o vozidle, základní technické parametry jsou uvedeny v příloze 1.



Obrázek 17, Testované vozidlo Škoda Roomster [11]

Brzdový systém vozidla Škoda Roomster

U všech vozidel Škoda Roomster jsou provozní brzdy kapalinové. Brzdy jsou dvouokruhové a propojené diagonálně, to znamená, že první okruh brzdí levé zadní kolo a pravé přední kolo, druhý okruh brzdí pravé zadní kolo a levé přední kolo. Účinek obou okruhů je v poměru 1:1. Brzdy předních i zadních kol jsou kotoučové, ovšem s tím rozdílem, že přední jsou s vnitřním chlazením a zadní bez vnitřního chlazení kotoučů. Zkušební automobil je vybaven systémy ASR, ABS a Dual Rate, které slouží pro zvýšení bezpečnosti

jízdy a pomáhají eliminovat chyby řidiče. Hlavní brzdový válec a nádoba na zásobní brzdovou kapalinu je spojena v jeden celek.

System ABS je podrobně popsán již výše. System ASR zabraňuje protáčení hnacích kol a to ve všech rychlostech, tím zajišťuje stabilitu a ovladatelnost při akceleraci. Posilovač brzd s funkcí Dual Rate funguje na principu ve dvou stupních brzdného účinku. Při mírném brzdění se systém chová jako klasická brzdná soustava. Při větší intenzitě vzroste prudce účinek posilovače brzd. To znamená, že při stejně vyvíjené síle na brzdový pedál je u systému Dual Rate tlak v brzdové soustavě vyšší než u systému běžného. Parkovací (ruční) brzda působí na zadní kola. Propojení mezi brzdovými prvky zadních kol a pákou je řešeno lany v lanovodech. Brzdový systém je vybaven samočinným seřizováním provozní vůle brzdících prvků. Všechny brzdící části jsou bezazbestové.

Celkový přehled o vybraných základních technických údajích o součástech brzdových soustav testovaného automobilu je uveden v následující tabulce 6. [11]

Typ	Hodnoty		
hlavní brzdový válec - průměr	26,64 mm		
Přední kotoučová brzda		Zadní kotoučová brzda	
třmen brzdy - typové označení	C54 - II	třmen brzdy - průměr pístu	38 mm
třmen brzdy - průměr pístu	54 mm	kotoučové brzdy - průměr	232 mm
kotoučové brzdy - průměr	288 mm	tloušťka nového brzdového kotouče	9 mm
tloušťka nového brzdového kotouče	25 mm	nejmenší povolená tloušťka brzdového kotouče	7 mm
nejmenší povolená tloušťka brzdového kotouče	22 mm	tloušťka nové brzdové destičky s nosnou kovovou destičkou	16,9 mm
nejmenší povolená tloušťka třecího obložení bez nosné kovové destičky	2 mm	nejmenší povolená tloušťka třecího obložení bez nosné kovové destičky	2 mm

Tabulka 6, Součásti brzdové soustavy Škody Roomster [11]

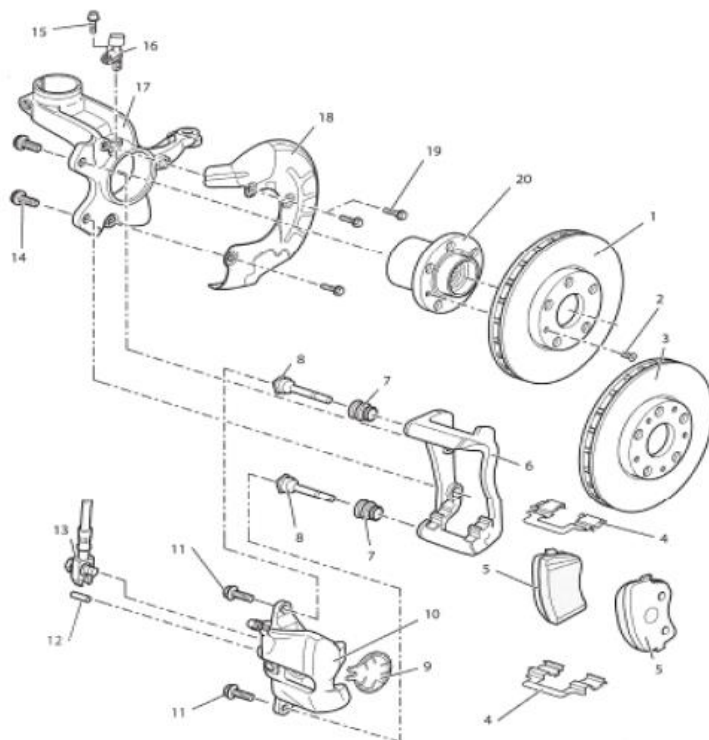
Brzdové potrubí a hadice

Rozvod tlakové brzdové kapaliny je veden pryžovými hadicemi a ocelovými trubkami. Vedou kapalinu od hydraulické a elektrické řídicí jednotky ABS či od hlavního tandemového brzdového válce. Brzdové trubky jsou buď pozinkované, nebo ocelové a mají další vnější plastovou ochrannou vrstvu. Trubky mají vnitřní průměr 3 mm a vnější průměr 6 mm. Trubky jsou vytvářeny předem, jsou uchyceny do plastových úchytek tak, aby nebyly v dotyku s jinými součástmi vozu a předcházelo se tak jejich poškození. Na voze jsou namontovány i kombinované ocelové trubky s hadicemi.

Spojení trubek a tlakových válců je vyřešeno kuželovými dosedacími plochami a speciálními převlečnými maticemi. Tyto matice mají šestihran pro klíč 11 mm a jemný závit M10x11. Hadice jsou také opatřeny šestihranem a zápichem pro upevňovací pružnou sponu. [11]

Kotoučové brzdy předních kol

Přední kotoučové brzdy jsou typu C54-II. Tento typ je použit u vozidel Škoda Roomster, které mají automatickou převodovku a silnější motor. Hlavní rozdíl oproti jiným kotoučovým brzdám pro tento automobil je v průměru kotoučů, tvaru třmenů a dalších montážních prvků. Na následujícím obrázku 18 je schéma kotoučové brzdy typu C54-II. [11]

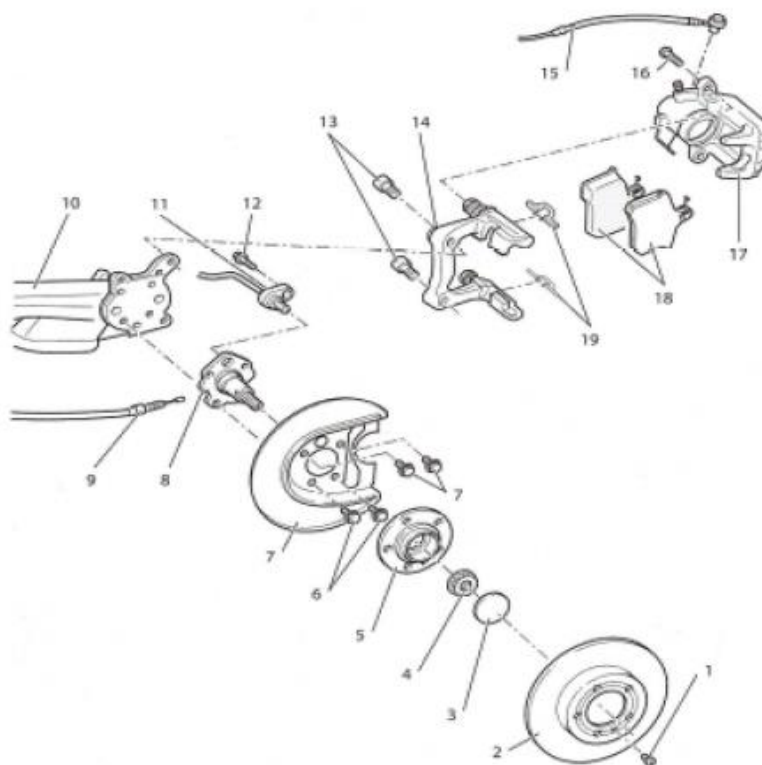


Obrázek 18, Schéma kotoučové brzdy typu C54-II [11]

1) brzdový kotouč s vnitřním chlazením, 2) šroub s křížovou drážkou, 3) brzdový kotouč s vnitřním chlazením, 4)přidržovací plech třecích segmentů, 5) třecí segmenty, 6) držák čelistí, 7) manžeta, 8) vodící čep, 9) tepelný ochranný kryt, 10) třmen brzdy, 11) šroub, 12) pružné pouzdro, 13)brzdová hadice v kompletu s hrdlem, dutým šroubem a tešnicími kroužky, 14 – 15) šroub, 16) snímač otáček ABS, 17) hlava ložiska čepu kola, 18)krycí plech, 19) šroub, 20) náboj kola s ložiskem (u vozidel s ABS je impulsivní kroužek zabudovaný v náboji kola)

Kotoučové brzdy zadních kol

Kotoučové brzdy zadních kol jsou řešeny obdobně jako kotoučové brzdy předních kol, třmenové, jednobratvé a čepové. Třmen je upevněn ke kotevní desce čepu kola na zadním konci vlečného ramene pomocí dvou samojistících šroubů. Na třmenu zadní brzdy je mimo hydraulického válce ještě páka, která slouží pro lana k parkovací brzdě. Na následujícím obrázku 19 je schéma kotoučové brzdy zadního kola. [11]



Obrázek 19, Schéma kotoučové brzdy zadního kola [11]

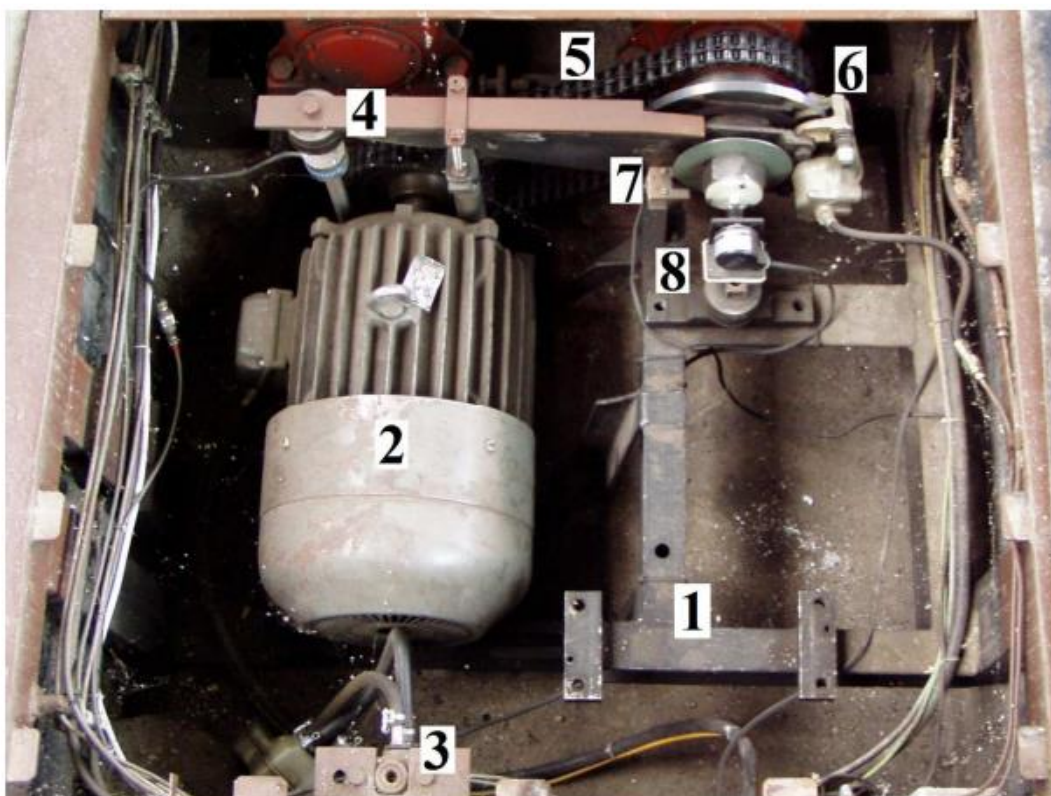
- 1) Šroub, 2) brzdový kotouč, 3) krytka, 4) samojistná dvanáctihránná matice, 5) náboj kola s ložiskem kola s integrovaným impulsivním kroužkem ABS 6) šrou, 7) krycí plech, 8) čep nápravy, 9) lanko ruční brzdy, 10) těleso nápravy, 11) snímač otáček, 12 - 13) šroub, 14) držák třmenu s vodícími čepy a manžetami, 15) brzdová hadička s hrdlem a dutým šroubem, 16) samojistný šroub, 17) třmen brzdy, 18) třecí segmenty, 19) držák třecího segmentu

4.2 VÁLCOVÁ ZKUŠEBNA NA TECHNICKÉ FAKULTĚ ČZU

Do roku 2012, kdy byla provedena zkouška pro hodnoty, z kterých je vycházeno, prošla zkušebna spadající pod katedru Jakosti a spolehlivosti strojů řadou modernizací. Původně to byla zkušebna pro měření brzdného účinku na stanicích technické kontroly. Díky těmto úpravám zde bylo možné měřit výkonové parametry motorů vozidel a brzdné účinky vozidel.

„Hlavní konstrukční úprava válové zkušebny spočívá v odstranění převodovky, která svým naklápěním umožňovala vyhodnocení brzdného účinku jednotlivých kol. Po odstranění převodovky byl hnací elektromotor propojen s válci zkušebny pomocí řetězového převodu s převodovým poměrem 1:1.“ [12]

V současné době probíhají další úpravy v dílnách, a proto není možné, aby bylo měření provedeno. Proto je v této diplomové práci využito naměřených hodnot, od pana doc. Ing. Martina Pexy Ph.D.



Obrázek 20, Válcová zkušebna na ČZU [3]

1) rám pro uložení výkyvné převodovky, 2) elektromotor, 3) hlavní hydraulický válec, 4) rameno s tenzometrem pro stanovení brzdného účinku kotoučové brzdy, 5) řetěz, 6) kotoučová brzda, 7) optický snímač, 8) inkrementální snímač (1024 impulsů za otáčku)

Válnová zkušebna obsahovala několik základních částí, bez kterých by nemohla plnit svou měřicí činnost. Mezi tyto části patří například frekvenční měniče, elektromotor, inkrementální snímač válců či měřicí jednotka.

4.2.1 ELEKTROMOTOR

Na válcové zkušebně byly v době měření dva elektromotory polské výroby Indukta. Každá dvojice válců měla svůj elektromotor.

Technické parametry elektromotoru:

- jmenovitý výkon – 7 kW,
- jmenovité otáčky – 1455 otáček/min,
- budicí proud – 15 A,
- napětí – 380 V.

[12]

4.2.2 FREKVENČNÍ MĚNIČE

Na válcové zkušebně byli dva frekvenční měniče značky ABB s označením ACS800-01-020-3+E202+L502+L509+N651. Zapojení bylo provedeno tak, že se ovládal pouze první frekvenční měnič a druhý automaticky kopíroval nastavení prvního měniče. Tyhle měniče mají spoustu užitečných funkcí, nejvíce jsou ovšem využívány tyto:

- možnost nastavení provozních parametrů,
- možnost záznamu naměřených dat,
- kontrola rozběhové a doběhové rampy,
- při přetížení automaticky vypínají budící proud.

[12]

Inkrementální snímač otáček

Tento snímač slouží pro určení otáček. Poskytuje velké množství impulzů na jednu otáčku, konkrétně 1024 impulzů a tím tedy plně vyhovuje pro měření brzdného účinku vozidel, při malých rychlostech. Při těchto malých rychlostech udělá válec při plném brzdění $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$ otáčky.

Technické parametry:

- počet impulzů na jednu otáčku – 1024,
- pracovní napětí – 4,75 až 5,25 V,
- spouštěcí točivý moment – 0,03 Nm,
- maximální namáhání:
 - axiální – 30 N,
 - radiální – 50 N,
- maximální otáčky:
 - trvalé – 3000 ot/min,
 - špičkové – 5000 ot/min.

[12]



Obrázek 21, Inkrementální snímač otáček [3]

4.2.3 MĚŘÍCÍ JEDNOTKA

Je zařízení, které slouží pro záznam dat z válcové zkušebny. Měřicí jednotka slouží pouze pro snímání dat. Tyto data následně odesílá do počítače pro zpracování. K této měřicí jednotce se může připojit buď snímač točivého momentu, nebo snímač otáček. Lze nastavit různé pracovní režimy či diagnostické funkce. [12]

4.2.4 ELEKTROMAGNETICKÁ SPOJKA

Elektromagnetická spojka na válcové zkušebně na ČZU slouží k rozpojení pravé a levé válcové skupiny. Během měření výkonových parametrů jsou tyto dvě skupiny spojeny a simulují pohyb vozidla na vozovce. Pro měření brzdového účinku je vhodné, aby tyto skupiny byly rozpojené a dalo se lépe měřit účinek brzd na jednotlivých kolech. Konkrétně byla na zkušebně spojka typu ELA 25, která je schopna přenášet dynamický točivý moment 250 Nm.

Technické parametry:

- točivý moment dynamický – 250 Nm,
- točivý moment statický – 355 Nm,
- maximální otáčky spojky – 2200 otáček/min,
- moment setrvačnosti vnitřních částí – 0,028 kg.m²,
- moment setrvačnosti vnějších částí – 0,012 kg.m²,
- průměr – 182 mm,
- napětí budící cívky 24 V.



Obrázek 22, Elektromagnetická spojka [12]

4.3 VENTIL PRO REGULACI SVĚTLOSTI POTRUBÍ PRO BRZDOVOU KAPALINU

Pro měření bylo potřeba vymyslet jak snižovat pokud možno rovnoměrně průměr potrubí pro brzdovou kapalinu. Kolegové zvolili pro měření jako nejvhodnější ventil, který bude snižovat průměr potrubí. Pro ventil bylo potřeba vybrat vhodné místo, aby byl snadno dostupný a mohlo docházet často k jeho nastavování a nebylo třeba demontovat například podvozek automobilu. Zároveň bylo potřeba umístit ventil tak, aby regulovat světlost potrubí pouze pro jedno kolo a dalo se tak porovnávat s druhým. Ventil byl nakonec tedy umístěn do podběhu pravého předního kola do místa, kde se napojuje brzdová hadice od předního pravého brzdového třmenu s brzdovým potrubím. Ventil byl vyroben pomocí závitové tyče. Regulace ventilu se určovala pomocí otáčení šroubu, který směřoval kolmo na průtok kapaliny. Určení hodnoty regulace se dosahovalo podle stoupání závitu a podle počtu otočení šroubu. Po nainstalování ventilu byla brzdová soustava odvzdušněná.



Obrázek 23, Umístění ventilu na vozidle [12]

4.4 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Měření probíhalo při dvou rozdílných nastavení počáteční rychlosti, z které se začínalo brzdit. Rychlosti byly 45 km/h a 5 km/h. Pro vyhodnocování vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly budou používány pouze hodnoty z počáteční rychlosti 5 km/h a to z důvodu, že z této rychlosti došlo k plnému brzdění, kdežto z rychlosti 45 km/h docházelo pouze k mírnému brzdění. Na vozidle bylo zkontrolováno odzdušnění, těsnost brzdové soustavy a množství brzdové kapaliny. Dále se zkontroloval tlak v pneumatikách, který se upravil na požadovanou hodnotu, a nakonec se změřil dezén na pneumatikách, jestli odpovídá platným zákonům České republiky.

Měření se provedlo tak, že byl nainstalován ventil do základní polohy (to znamená, že brzdová hadička nebyla vůbec škrcena). Následně bylo provedeno měření, čímž se získaly hodnoty standardu, se kterými se se porovnávají všechny následující hodnoty získané po snížení průměru vedení brzdové kapaliny. Základní průměr vedení byl 3,0 mm. Předpokládalo se, že vliv světlosti potrubí se projeví až po větším snížení a proto byly provedeny první dvě snížení o 0,8 mm (na 2,2 mm a na 1,4 mm). Následně se snižovalo vždy o 0,4 mm (na 1,0 mm, 0,6 mm a nakonec na 0,2 mm).

Pro získání přesnějších a lepších výsledků bylo pro každou hodnotu světlosti potrubí měření opakováno 4 x.

4.4.1 DYNAMICKÉ MĚŘENÍ BRZDNÉ SÍLY

Pro měření bylo na válcích zkušebny nastaveno 120 otáček/minutu, což odpovídá přibližně rychlosti 5 km/h zkušebního vozidla. Otáčky válce se nastavily pomocí měniče, který nemá zpětnou vazbu o otáčkách, má informaci o frekvenci, z které vychází. Z důvodu nízké rychlosti otáčení kol a válců zkušebny byl inkrementální snímač otáček nastaven na snímání otáček válců zkušebny po 1 ms. Po dosažení rychlosti 5 km/h došlo k prudkému brzdění a tím zastavení kol testovaného vozidla. Síla na brzdový orgán nepřekročila 500 N.

„Při tomto měření byla snímána předpokládaná rozdílná maximální brzdná síla mezi oběma koly. Nasbíraná data byla přes měřící jednotku zasílána do PC ke zpracování.“ [12]

Data z tohoto měření jsou použita k analýze vlivu škrcení vedení brzdové kapaliny na náběh brzdné síly.



Obrázek 24, Testované vozidlo během měření [12]

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ

Výsledky měření bylo potřeba důkladně projít, zpracovat a vymyslet vhodný způsob pro zjištění vlivu světlosti brzdového potrubí na náběh brzdové síly. Ukázka hodnot, z kterých je vycházeno, jsou znázorněny v tabulce 7.

Kanál	Čas	Dílký	Rychlost [km/h]
0	343524261	72844	5,33687
1	343534948	72677	5,430164
0	343598666	72847	5,343827
1	343608167	72680	5,430387
1	343656894	72682	5,439934
0	343673077	72850	5,343397
0	343722493	72852	5,364086
1	343729997	72685	5,439004
0	343796501	72855	5,372493
1	343803029	72688	5,444291
1	343851662	72690	5,450448

Tabulka 7, Ukázka hodnot pro zpracování [vlastní zpracování]

V tabulce 7 jsou vidět 4 sloupečky hodnot. První sloupeček nabývá pouze hodnot 0 a 1. Nula představuje pravý válec zkušebny (tím pádem pravé kolo) a jednička představuje levý válec (levé kolo testovaného vozu). Druhý sloupeček znázorňuje hodnotu času, ovšem je to hodnota, která se pro další výpočty nebo použití do grafů musí vynásobit hodnotou 20 ns.

Ve třetím sloupečku jsou hodnoty takzvaných dílků, představují polohu válce. Jedna otočka válce představuje 1024 dílků. Nakonec ve čtvrtém sloupci je rychlost, kterou se otáčejí válce experimentální zkušebny.

5.1 ÚPRAVA A ZPRACOVÁNÍ HODNOT Z MĚŘENÍ

Pro zpracování zadaných hodnot bylo potřeba získaná data z měření převést z čistě textového formátu do programu pro snadnější práci a úpravu. Byl zvolen program Microsoft Excel. Po zkopírování hodnot do Microsoft Excelu bylo potřeba data rozdělit do sloupců, k čemuž slouží jednoduchá funkce, která data oddělená mezerou řadí do sloupců (Text do sloupců). V tabulce 8 je ukázka hodnot v programu Microsoft Excel po úpravě.

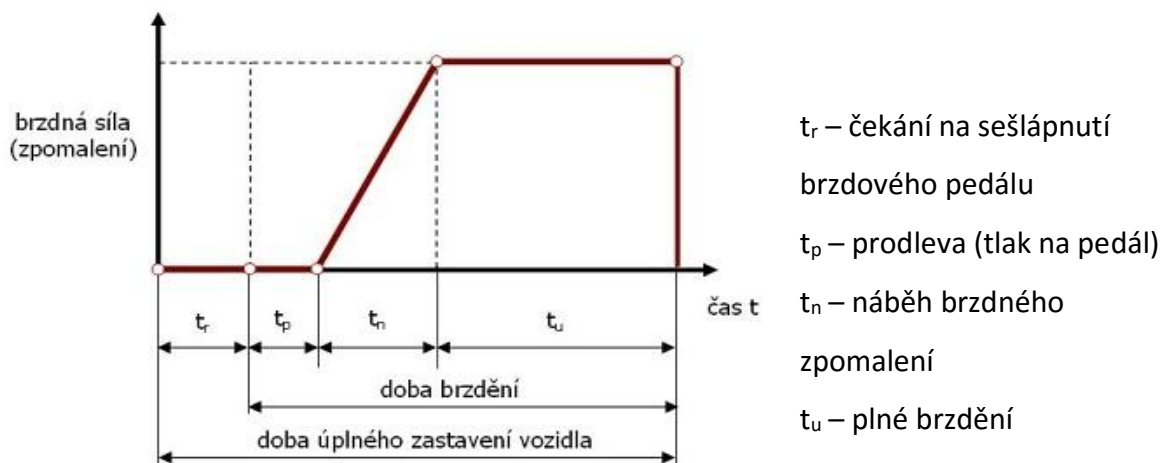
Kanál	Čas	Dílky	Rychlost [km/h]	Otáčky válců [ot/min]	Úhlová rychlost [rad/s]	Úhlové zrychlení [rad/s ²]	Rychlost [m/s]	Brzdné zrychlení [m/s ²]	Brzdná síla [N]
0	765893705	975169	5,33902						
0	765968255	975172	5,333434	117,8759	12,3439				
0	766017975	975174	5,331288	117,6837	12,3238	-24,1548	1,540475		
0	766092728	975177	5,31895	117,3017	12,2838	-27,3024	1,535475	-3,4128	-648,4328
0	766167829	975180	5,294303	116,9023	12,242	-30,0249	1,530247	-3,75311	-713,0913
0	766218033	975182	5,279891	116,5831	12,2086	-25,685	1,52607	-3,21062	-610,0176
0	766293477	975185	5,270233	116,2859	12,1774	-23,2307	1,522179	-2,90384	-551,7289
0	766369196	975188	5,251093	115,9125	12,1383	-31,0404	1,517291	-3,88004	-737,2084
0	766419852	975190	5,232779	115,5367	12,099	-29,5139	1,512372	-3,68924	-700,9548
0	766495982	975193	5,222744	115,1978	12,0635	-43,3534	1,507936	-5,41917	-1029,643
0	766547011	975195	5,19453	114,4838	11,9887	-47,9968	1,49859	-5,99959	-1139,923
0	766623934	975198	5,168902	114,0249	11,9407	-52,7843	1,492583	-6,59803	-1253,626
0	766675478	975200	5,142629	113,1888	11,8531	-59,0256	1,481637	-7,3782	-1401,858

Tabulka 8, Ukázka úpravy hodnot v MS Excel [vlastní zpracování]

Jak je na první pohled patné z tabulky 8, bylo potřeba data rozdělit pomocí filtru do dvou skupin a to podle hodnoty kanálu na jedničky a nuly, čili na pravé a levé kolo. Toto rozdělení jde udělat pomocí dvou funkcí, buďto pomocí již zmíněného filtru, nebo také pomocí funkce seřadit od nejmenšího po nejvyšší po označení všech dat. Dalším krokem bylo provést výpočty, pro získání hodnot, které následně mohou být vynášeny do grafů, porovnávány a vyhodnocovány. Výpočty byly provedeny vždy za pomoci průměru přes 3 hodnoty. To je důvodem, proč v tabulce 8 chybí u některých sloupečků první hodnoty.

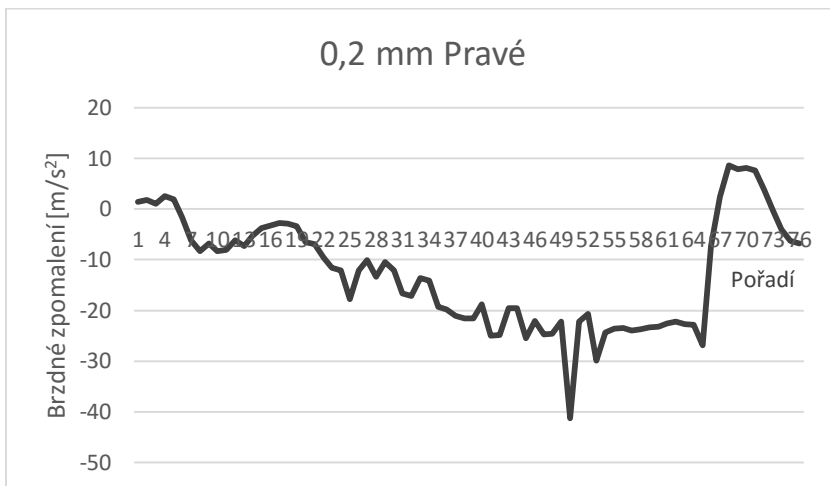
V pátém sloupci jsou otáčky za minutu. K jejich hodnotě se došlo podílem dílků za čas ($otáčky = \frac{dílký/1024}{čas*0,00000002} * 60$), ovšem dílky se musely podělit hodnotou dílků na jednu otáčku, čili 1024 a čas bylo potřeba vynásobit 0,00000002 (20 ns). Výsledek podílu se nakonec vynásobil 60 a to proto, že byly požadovány otáčky za minutu a bez vynásobení by to byly otáčky za sekundu. Dále byla vypočtena úhlová rychlost a úhlové zrychlení. Další sloupec nabývá hodnot rychlosti v metrech za sekundu. Rychlost je vypočtena z otáček válce zkušebny. Bylo využito hodnot v pátém sloupci, ty se podělily šedesáti, abychom dostali otáčky v sekundách a pro získání hodnoty rychlosti to vynásobil $\pi/4$ ($rychlost = \frac{otáčky*\pi}{60*4}$). Samozřejmě by šlo rychlost v metrech za sekundu zjistit tím, že by se podělila rychlost, která byla ve vstupních datech hodnotou 3,6, ale bylo by to nepřesné, protože tato rychlost je jen orientační a je lepší jí vypočítat z otáček válců experimentální zkušebny. Jako předposlední následoval výpočet brzdného zrychlení, pro tuto práci bylo spíše zajímavé brzdné zpomalení, což jsou hodnoty se záporným znaménkem. Zrychlení bylo získáno dělením rychlosti ve sloupci osm časem, který se opět vynásobil 20 ns. Poslední hodnotou, která byla počítána, je brzdná síla (brzdné zrychlení*190). Hodnota 190 se získala ze hmotnosti válců zkušebny, které mají dohromady cca 380kg. 190 je tedy hmotnost jednoho válce zkušebny.

Po výpočtu všech potřebných hodnot pro všechna měření při různém průměru brzdového vedení, bylo potřeba určit způsob vyhodnocování vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly. Na grafu 1 je vidět teoretický průběh. V první části se nic neděje, auto jede konstantní rychlostí, pak se sešlápne brzdový pedál a dochází k náběhu brzdného zpomalení, což na grafu 1 představuje část druhá. Po dosažení plného brzdění se vozidlo brzdí maximální brzdou až do úplného zastavení.

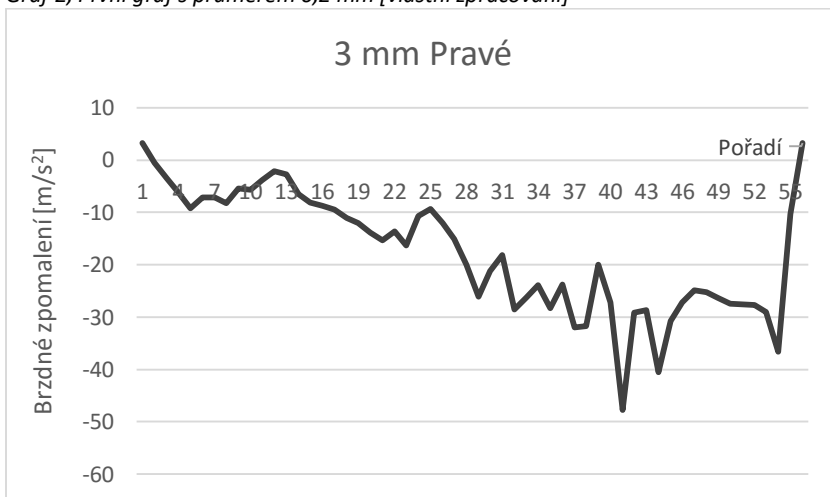


Graf 1, Teoretický průběh brzdění [vlastní zpracování]

Na osu ypsilon se mohlo vynést buďto brzdou sílu nebo brzdné zpomalení. Bylo vybráno brzdné zpomalení, protože má hodnoty 190x nižší a průběh je totožný. Na grafu 2 a 3 je vidět první pokus porovnání průběhu brzdného zpomalení při škrcení na 0,2 mm se základním průtokem brzdné kapaliny bez škrcení (3 mm).



Graf 2, První graf s průměrem 0,2 mm [vlastní zpracování]



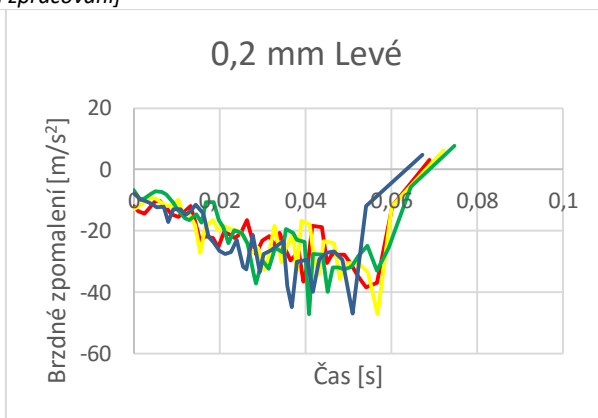
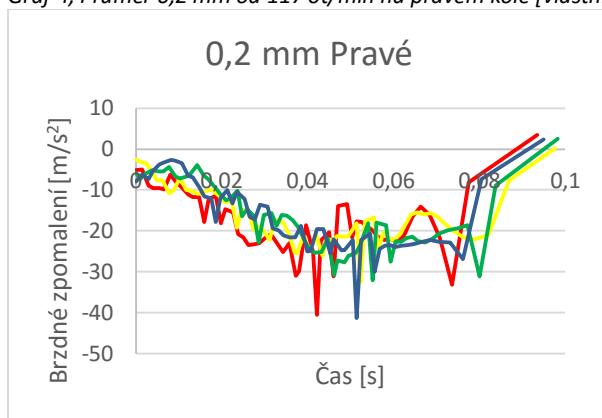
Graf 3, První graf s průměrem 3 mm [vlastní zpracování]

Takovéto grafy byly udělány pro všechny světlosti potrubí, pro všechna měření a zvláště pro pravé a levé kolo. Graf 2 a 3 je pouze ukázkou, aby bylo zcela jasně vidět, že zvolená metoda nebyla vhodná. Na ose y je vynášeno brzdné zpomalení, což je v pořádku, ale na osu x je vynášeno pouze pořadí hodnot brzdného zpomalení, a to se ukázalo jako neobjektivní pro následující posuzování.

Podle grafu teoretického průběhu bylo usouzeno, že na osu x se bude muset vynášet čas. Proto se všechny grafy musely udělat znovu. Otázkou ovšem bylo, jaký čas by bylo vhodné zvolit jako 0, či jak zjistit ze vstupních hodnot, kdy byl sešlápnut brzdový pedál.

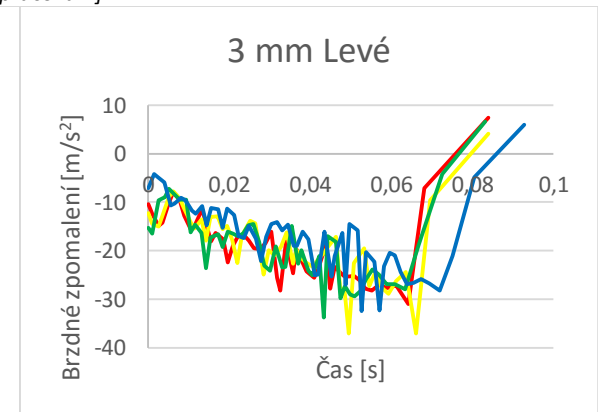
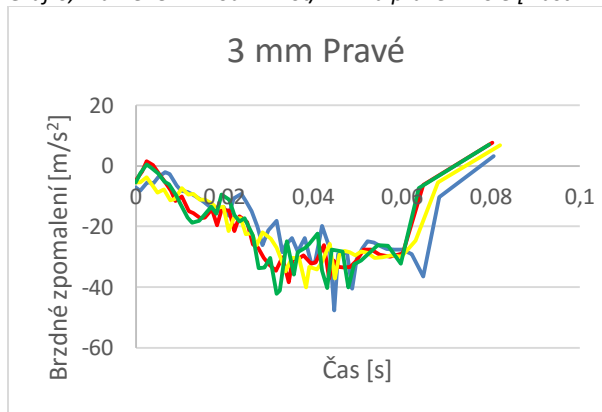
Prošla se všechna data a bylo zvoleno jako vhodná metoda, nalezení nejvyšších hodnot otáček válců, kterou lze najít u každého měření a tu označit jako čas nula. Otáčky válců se nastavují pomocí frekvenčního měniče a kolísají okolo hodnoty 120 ot/min. Při některých měřeních se ovšem k této hodnotě nedostanou, a proto byla hledána nejvyšší hodnota otáček, kterou lze najít u všech měření.

Graf 4, Průměr 0,2 mm od 117 ot/min na pravém kole [vlastní zpracování]



Graf 5, Průměr 0,2 mm od 117 ot/min na levém kole [vlastní zpracování]

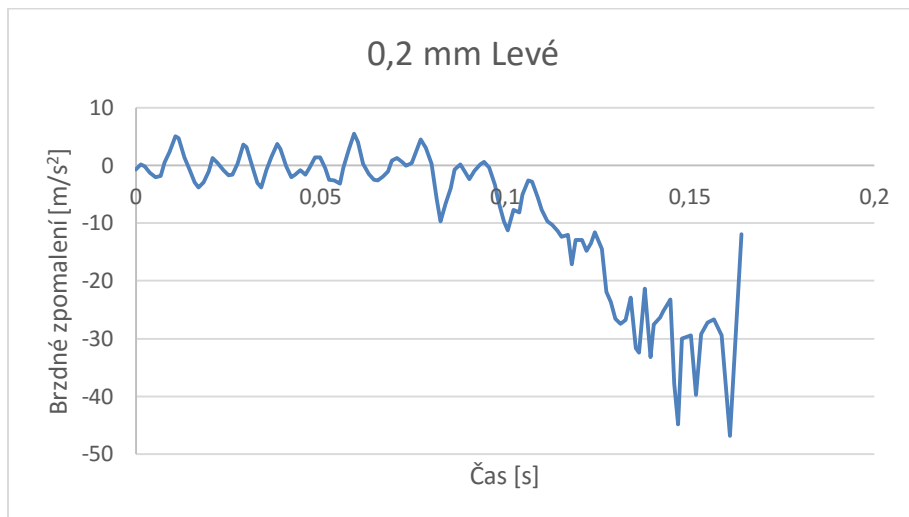
Graf 6, Průměr 3 mm od 117 ot/min na pravém kole [vlastní zpracování]



Graf 7, Průměr 3 mm od 117 ot/min na levém kole [vlastní zpracování]

V grafech 4, 5, 6 a 7 jsou vždy 4 křivky, kde každá křivka znázorňuje jedno měření pro daný průměr vedení brzdové kapaliny. Jsou to opět jen grafy na ukázkou pro představu, samozřejmě se vše porovnávalo i s grafy, které vznikly z ostatních hodnot při měření všech průtoků. Z těchto grafů bylo patrné, že otáčky válců zkušebny nejsou vhodným parametrem pro určování počátku a tak bylo zapotřebí prozkoumat i tu část, než došlo k samotnému brzdění. K tomuto účelu byla poskytnuta od vedoucího diplomové práce pana

doc. Ing. Martina Pexy Ph.D. dostal další data, která nebyla oříznutá o tu část před brzděním, kde bylo tam jasně patrné, jak se válce zkušebny otáčejí a pak dojde k prudkému brzdění. Tento jev je vidět na grafu osm.



Graf 8, Náběh zpomalení [vlastní zpracování]

Z grafu 8 je patrné, že hodnota brzdného zpomalení kolísá kolem nuly oproti teoretickému předpokladu i v době, kdy není sešlápnut brzdový pedál, a proto je složité určit přesně čas, při kterém došlo k nabíhání brzdné síly. Pro určení této hodnoty byl zvolen způsob, kdy se pozorovaly hodnoty otáček válců, které kolísaly, ale vždy když klesly o jednu otáčku za minutu tak se tahle chvíle stanovila jako čas 0. Stejný čas byl přidělen hodnotě nula i na druhém kole, kde otáčky ještě neklesly o jednu otáčku za minutu.

5.1.1 KONEČNÉ ZPRACOVÁNÍ

Konečná verze zkoumání náběhu brzdné síly při různých průměrech vedení brzdové kapaliny je znázorněna na grafech, které jsou přiloženy v příloze 2. Každý graf má v názvu průměr vedení při jakém byly hodnoty získány a za pomlčkou je písmeno P (pravé kolo) nebo L (levé kolo), které je doplněno číslici, představující o kolikáté měření se jedná. Každý graf představuje modrou plnou čarou závislost brzdného zpomalení (osa y) na čase (osa x). Brzdné zpomalení je v m/s^2 a čas v sekundách. Grafy ještě obsahují křivku klouzavého průměru přes 6 hodnot, kterou představuje červená čárkovaná křivka. Tato spojnice trendu přes klouzavý průměr tam je z důvodu vyhlazení původní křivky.

V tabulce 9 je souhrn průměrů brzdného zpomalení. Pro každý průměr potrubí je v tabulce uvedena výsledná hodnota, která je průměrem všech 4 hodnoty z každého měření. Hodnoty pro výpočet byly odečítány přímo z grafů.

Průměrné dosažené brzdné zpomalení			
Pravé kolo		Levé kolo	
Průměr	Zpomalení [m/s ²]	Průměr	Zpomalení [m/s ²]
0,2 mm	-25	0,2 mm	-30,5
0,6 mm	-31	0,6 mm	-29
1 mm	-33,25	1 mm	-26,75
1,4 mm	-31,5	1,4 mm	-29,75
2,2 mm	-31	2,2 mm	-30,75
Z - 3 mm	-33,5	Z - 3 mm	-28,25

Tabulka 9, Průměrné dosažené brzdné zpomalení [vlastní zpracování]

Z tabulky 9 je patrné, že brzdné zpomalení na každém kole kolísá. Toto kolísání může být způsobeno nepřesným odečítáním z grafů. Je ovšem jasně zřejmý pokles na pravém kole (na straně škrce) při nejvyšším škrce na 2 mm průměru. Na levém kole je vidět, že k žádnému takovému poklesu nedošlo. Je tedy vidět, že škrce se projeví až při seškrce na 0,2 mm. Do té doby hodnoty kolísají a škrce nemá vliv na nejvyšší průměrné brzdné zpomalení.

V tabulce 10 jsou v prostředním sloupci časy v prodlevě počátku brzdění. Jsou to hodnoty, kdy je z grafů patrné, že se začalo brzdit a rozdíl mezi pravým a levým kolem je hodnota v tabulce. Jelikož jsou všechny hodnoty kladné, znamená to, že vždy v průměru všech 4 měření začalo brzdit dříve kolo levé a s prodlevou uvedenou v tabulce kolo pravé. V pravém sloupci je hodnota od počátku brzdění do zastavení pravého kola, mínus hodnota od počátku brzdění do zastavení levého kola.

Průměr vedení	Průměrná prodleva náběhu brzd [s]	Průměrný rozdíl v době brzdění [s]
2 mm	0,008623	-0,0133575
6 mm	0,00353	0,001975
10 mm	0,0072675	0,001412
14 mm	0,0038975	-0,0014425
22 mm	0,001575	-0,00304
Z - 30 mm	0,01149	0,018245

Tabulka 10, Časy brzdění [vlastní zpracování]

Z výsledků se zdá, že škrčení brzdového vedení zjevně nemá na prodlevu v náběhu brzdné síly vliv. Je vidět, že vždy po sešlápnutí brzdového pedálu začalo dříve brzdit kolo levé a s minimální prodlevou kolo pravé. Hodnota prodlevy se liší, ale pohybuje se zhruba v rozmezí od jedné setiny do jedné tisícin vteřiny. Z hodnot v pravém sloupci lze pozorovat, že při měření bez škrčení byla doba brzdění delší u pravého kola. Při dalších dvou hodnotách škrčení to bylo opačně a delší dobu brzdilo kolo levé. Následně pro průměry 0,6 a 1 mm zas kolo pravé a při nejvyšším škrčení na 0,2 mm zas kolo levé.

6 ZÁVĚR

V diplomové práci jsou popsány základní brzdové systémy silničních vozidel a jsou rozdělené do základních kategorií. Dále je popsána česká i mezinárodní legislativa a předpisy o účinnosti brzd, které musí splňovat všechna silniční motorová vozidla v České republice. V další části je popsán protiblokovací systém ABS, vybrané moderní prvky brzdových systémů a možnosti měření brzdných systémů včetně typů zkoušek. Následuje rozebrání metodiky měření a popsání experimentální válcové zkušebny České zemědělské univerzity v Praze. Nakonec je zpracování dat z měření a vyhodnocení vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly.

Vyhodnocením výsledků z měření se došlo k závěru, že škracení vedení brzdové kapaliny nemá žádný velký vliv na náběh brzdné síly. Je vidět pouze skokový pokles maximálního brzdného zpomalení při seškracení průměru vedení na 0,2 mm. Tento pokles byl ovšem velmi znatelný (o 6 m/s^2). Doba náběhu brzdné síly je u každého měření rozdílná, ale nezdá se, že by byla ovlivněna škracením. To může být způsobeno nepřesným odečítáním hodnot, které je způsobeno kolísáním brzdného zpomalení. Kolísání brzdného zpomalení je zapříčiněno frekvenčním měničem, pomocí kterého se nastavují otáčky válců zkušebny. Měnič bohužel nemá žádnou zpětnou vazbu o otáčkách válců.

Předpoklad byl takový, že škracení bude mít vliv na strmost křivky náběhu brzdného zpomalení. Tento předpoklad byl při pár měřeních naplněn, ale při některých ne. Po zprůměrování hodnot nelze tedy tento fakt objektivně potvrdit. Může za to několik faktorů, které mohly celé měření ovlivnit a to od nízké rychlosti měření, přes opotřebení brzdových kotoučů až po zahřátí brzdových kotoučů, ke kterému došlo po několika měřeních.

Pro další zkoumání vlivu světlosti potrubí na náběh brzdné síly by bylo vhodné zajištění zpětné vazby pro frekvenční měnič, který nastavuje otáčky válců a tím by se snížilo kolísání hodnot brzdného zpomalení. Pro budoucí měření by bylo vhodné použít vyšší vzorkovací frekvenci (v případě této práce to byla 1 ms). S vyšším počtem hodnot by bylo možné přesněji analyzovat naměřená data a tím lépe posoudit vliv světlosti potrubí na náběh brzdné síly. Nakonec by mohlo analýze prospět zkusit prudké brzdění z vyšší rychlosti než 5 km/h, kde by se náběh brzdné síly mohl projevit více než při takhle nízké počáteční rychlosti.

Nelze tedy objektivně potvrdit vliv světlosti potrubí na náběh brzdné síly. Lze ovšem tuto práci použít jako podklad pro další zkoumání a měření této problematiky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literatura:

- [1] Ing. K. Horejš, Mgr. V. Motejl a kolektiv: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů. 4. vydání. Brno: nakladatelství Littera, 2008, 364 stran. ISBN 978-80-85763-42-3
- [2] Halderman, J. D. Automotive brake systems. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2004, 500 s. ISBN 01-304-7507-6.
- [3] Pexa, M. Dynamické metody měření a modelování při diagnostice strojů. Praha, 2011. Habilitační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [4] Brož, J. a Trnka, L. AutoExpert: Praktická dílna. Praha: Vogel Publishing, 2010, roč. 2010, č. 6. ISSN 1211-2380
- [5] Erjavec, J. a Thompson, R. Automotive Technology. 6th ed. Delmar, Nelson Education, 2014, 1712 s. ISBN 978-133-61231-5
- [6] Vémola, A., Diagnostická zařízení 1. díl. ISŠA, Brno, 2000, 127 s. ISBN 80-85763-31-1.
- [7] Vlk, F., Podvozky motorových vozidel, 3. vydání. Brno: Vydavatelství František Vlk, 2006, 464 stran. ISBN 80-239-6464-2
- [8] Vala, M., Tesař, M., Teorie a konstrukce silničních vozidel I, 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002. 229 stran. ISBN 80-7194-503-4
- [9] Vlk, F., Automobilová elektronika I: Asistenční a informační systémy, 1. vydání, Brno: Nakladatelství František Vlk, 2006, 269 stran. ISBN 80-239-6462-3
- [10] Předpis EHK č. 13. Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění. 2009
- [11] Šwarz, Jiří. *Automobily Škoda: Roomster*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a. s., 2007. ISBN 978-80-247-1662-6.
- [12] Němec, Karel. Vliv světlosti brzdného potrubí na průběh brzdné síly na obvodu kola. Praha: ČZU 2012, Diplomová práce ČZU, Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů
- [13] Day, A. J., Braking of road vehicles, 1 st pub. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2014, 472 stran. ISBN 978-0-12-397314-6
- [14] Massimo, G., The science of vehicle dynamics, Dordrecht: Springer, 2014, 356 stran. ISBN 978-94-017-8532-7

Internet:

- [15] KL Auto, Test brzd-geometrie podvozku-tlumičů [Online]. [cit. 2016-2-2]. Dostupné z: <http://www.lpg-prestavba.cz/stranky/profil-spolecnosti---divize-lpg/test-brzd-geometrie-podvozku-tlumicu.htm>
- [16] Bosh.cz: Brzdové systémy pro osobní vozy [Online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://aa.bosch.cz/download/Brzdove-systemy/produktove-informace.pdf>
- [17] AutaNet, 2016: Průvodce nákupem automobilu [Online]. [cit. 2016-2-1]. Dostupné z: <http://www.autanet.cz/autonews-jak-a-kde-se-testuji-pneumatiky-bridgestone-2422>
- [18] Auto-PC technologie, 2011: Kotoučová brzda [Online]. [cit. 2015-12-9]. Dostupné z: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/kotoucova-brzda/>
- [19] Motorkari.cz, 2005: část brzdy [Online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-3.-cast-brzdy-3259.html>
- [20] Toyota.com: Safer braking [Online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.toyota.com.au/yaris/features/safety/braking-control>
- [21] Motohouse.cz, 2015: elektronické abs [Online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.motohouse.cz/jak-jezdit-s-elektronickym-c-abs>
- [22] Piston, 2012: Brzdové kotouče DBA [Online]. [cit. 2016-1-3]. Dostupné z: <http://www.piston.cz/brzdy-DBA>
- [23] Roboterm Chotěboř, 2012: Válcové testery brzd pro osobní vozy [Online]. [cit. 2016-1-20]. Dostupné z: <http://www.rte.cz/produkty/osobni-vozy/valcove-testery-brzd/>
- [24] Bristle.cz, 2005: Zkoušení vozidel na válcových zkušebnách nové generace [Online]. [cit. 2016-1-20]. Dostupné z: <http://www.bristle.cz/0103.htm>
- [25] Automobilové technologie Bosh: Aktivní bezpečnost [Online]. [cit. 2016-2-3]. Dostupné z: http://www.bosch-mobility-solutions.cz/cs/cz/driving_safety_3/driving_safety_systems_for_commercial_vehicles_3/active_safety_7/active_safety_3.html
- [26] Robert Bosh odbytová s.r.o., 2003: ABS – konstrukce. Databáze online [cit. 2016-1-20] Dostupné na: http://www.bosh.cz/press/detail.asp?f_id=280
- [27] Autolexicon.net, 2016: Brzdový asistent. [Online]. [cit. 2016-1-21]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdovy-asistent/>

- [28] Patent Issued for Electronic Parking Brake System, Assistant Starting Method Thereof for Motor Vehicle. *Journal of Engineering* [online]. 2015, , 465 [cit. 2016-01-21]. ISSN 19458711
- [29] Jilin Huang; Tanev, I.; Shimohara, K. "Evolving a general electronic stability program for car simulated in TORCS", *Computational Intelligence and Games (CIG), 2015 IEEE Conference on*, On page(s): 446 – 453 [cit. 2016-1-12]
- [30] HUANG, Xiaoya, Hu ZHANG a Wei LI. *The design of brake fatigue testing system* [online]. [cit 2016-02-25]. Les Ulis: EDP Sciences, 2015. Copyright - © Owned by the authors, published by EDP Sciences, 2015; Poslední aktualizace - 2016-02-05.
- [31] S, PRAVEENA. Modeling and Structural Analysis of Disc Brake. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* [online]. 2014, [cit. 2016-03-11]. ISSN 23198753.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1, Brzdová soustava osobního vozidla [2]	3
Obrázek 2, Kotoučová brzda [18]	5
Obrázek 3, Kotouč brzdy s vnitřním chlazením [22]	6
Obrázek 4, Bubnová brzda [19]	7
Obrázek 5, Doba brzdění a její složky [1]	8
Obrázek 6, Možné zapojení brzdových okruhů [1]	10
Obrázek 7, Systém ABS v praxi [20]	15
Obrázek 8, Schéma ABS [21]	17
Obrázek 9, Rozdíl brzdné dráhy s a bez brzdového asistentu BAS [27]	19
Obrázek 10, Systém ESP [22]	21
Obrázek 11, Systém prediktivního nouzového brzdění [25]	22
Obrázek 12, Asfaltová plocha pro dynamické zkoušky brzdění [17]	23
Obrázek 13, Vlečné kolo [6]	28
Obrázek 14, Plošinová zkušebna [15]	29
Obrázek 15, Test brzd na válcové zkušebně [23]	30
Obrázek 16, Válcová zkušebna [24]	31
Obrázek 17, Testované vozidlo Škoda Roomster [11]	33
Obrázek 18, Schéma kotoučové brzdy typu C54-II [11]	36
Obrázek 19, Schéma kotoučové brzdy zadního kola [11]	37
Obrázek 20, Válcová zkušebna na ČZU [3]	38
Obrázek 21, Inkrementální snímač otáček [3]	40
Obrázek 22, Elektromagnetická spojka [12]	41
Obrázek 23, Umístění ventilu na vozidle [12]	41
Obrázek 24, Testované vozidlo během měření [12]	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1, Brzdná dráha [1]	9
Tabulka 2, Předpis EHK č. 13 [10]	13
Tabulka 3, Zkoušky brzd [10]	14
Tabulka 4, Podmínky pro zkoušku typu "I" [10]	25
Tabulka 5, Podmínky pro splnění zkoušky typu "II" [10]	26
Tabulka 6, Součásti brzdové soustavy Škody Roomster [11]	34
Tabulka 7, Ukázka hodnot pro zpracování [vlastní zpracování]	43
Tabulka 8, Ukázka úpravy hodnot v MS Excel [vlastní zpracování]	44
Tabulka 9, Průměrné dosažené brzdné zpomalení [vlastní zpracování]	49
Tabulka 10, Časy brzdění [vlastní zpracování]	49

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1, Teoretický průběh brzdění [vlastní zpracování]	45
Graf 2, První graf s průměrem 0,2 mm [vlastní zpracování]	46
Graf 3, První graf s průměrem 3 mm [vlastní zpracování]	46
Graf 4, Průměr 0,2 mm od 117 ot/min na pravém kole [vlastní zpracování]	47
Graf 5, Průměr 0,2 mm od 117 ot/min na levém kole [vlastní zpracování]	47
Graf 6, Průměr 3 mm od 117 ot/min na pravém kole [vlastní zpracování]	47
Graf 7, Průměr 3 mm od 117 ot/min na levém kole [vlastní zpracování]	47
Graf 8, Náběh zpomalení [vlastní zpracování]	48

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1.....	1
Příloha 2.....	2

Příloha 1

Základní technická data automobilů Škoda Roomster				
motor			1,6 l – 77 kW	
kód motoru			BTS	
převodovka pětistupňová, ručně řazená			MQ 200	–
převodovka šestistupňová, automatická			–	AQ 250
	jednotka	tolerance	hodnota	
plní limity emisního předpisu			EU 4	
pohotovostní hmotnost	kg	± 5 %	1175	1210
zatížení přední nápravy při pohotovostní hmotnosti	kg		676	712
zatížení zadní nápravy při pohotovostní hmotnosti	kg		499	498
užitečný náklad (bez tažného zařízení)	kg		515	
užitečný náklad při použití tažného zařízení (bez přívěsu)	kg		465	
celková hmotnost	kg		1690	1725
zatížení přední nápravy při celkové hmotnosti	kg		849	885
zatížení zadní nápravy při celkové hmotnosti	kg		841	840
nejvyšší povolená hmotnost jízdní soupravy	kg		2690	2725
hmotnost přípojného vozidla (brzděného/nebrzděného) při stoupání do 12 %	kg		1000/450	
nejvyšší rychlost	km h ⁻¹	± 5 %	184	179
zrychlení z 0 na 100 km. h ⁻¹	s	+ 4 s	10,9	12,5
zrychlení z 60 na 100 km. h ⁻¹ při použití 4./5. rychlostního stupně	s	+ 4 s	11,4/16,1	6,8/27,1
zrychlení z 80 na 120 km. h ⁻¹ při použití 4./5. rychlostního stupně	s	+ 4 s	11,7/17,6	8,9/32,5
součinitel odporu vzduchu c _w			0,33	

Příloha 2

