

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



## **Mobilní zkušebna brzdného účinku silničních vozidel**

Diplomová práce

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

Autor práce: Jan Tuček

PRAHA 2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Tuček

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Mobilní zkušebna brzdného účinku silničních vozidel

Název anglicky

Mobile testing unit for braking effect of road vehicles

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je přispět k bezpečnosti silničního provozu a to experimentálními zkouškami na navržené a realizované mobilní válcové zkušebně. Cílem je vyjádřit především opakovatelnost měření.

### Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (popis konstrukce brzd, předpisy, princip kontroly brzdného účinku atd.)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (měření brzdného účinku silničních vozidel, zpracování dat, analýza opakovatelnosti zkoušky atd.)
- 6) Závěr

## Doporučený rozsah práce

50-60

## Klíčová slova

brzdny účinek, zkušebna, opakovatelnost

---

## Doporučené zdroje informací

ABS. *Anti-lock brake systems 1 : System descriptions. Fault diagnosis. Checks & Adjustments.* BERKSHIRE: AUTODATA, 1999. ISBN 0-85666-666-1.

HALDERMAN, J D. – MITCHELL, C D. *Automotive brake systems.* Upper Saddle River, New Jersey: b Pearson/Prentice Hall, 2004. ISBN 978-0131142077.

HALDERMAN, J D. – MITCHELL, C D. *Worktext for Automotive brake systems.* Upper Saddle River, New Jersey: b Pearson/Prentice Hall, 2004.

Předpisy, normy a periodika.

VLK, F. *Automobilová elektronika. 2, Systémy řízení podvozku a komfortní systémy : [systémy ABS/ASR/ESP, elektronické brzdové systémy, zádržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy].* Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.

VLK, F. *Podvozky motorových vozidel : pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy.* Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5274-4.

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2019

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 10. 2019

## Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: *Mobilní zkušebna brzdného účinku silničních vozidel* 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 20. 4. 2020

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D za pomoc při zpracování své diplomové práce a za cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Danielovi Maderovi za pomoc při provádění měření.

# Mobilní zkušebna brzdného účinku silničních vozidel

## **Abstrakt:**

Diplomová práce je zaměřena na posouzení funkčnosti mobilní brzdové válcové zkušebny. V teoretické části je popsáno základní rozdělení brzdových soustav, nejčastěji používané druhy brzd, materiály třecích součástí a elektronických systémů. Dále je rozváděna problematika diagnostiky brzdového ústrojí v jednotlivých typech zkušeben. V závěru první části je uveden přehled aktuálně platné legislativy týkající se zkoušení brzd.

V praktické části je popsána simulace, kdy je vozidlo zastaveno v kopci a je na něm prováděna zkouška brzdového systému. Sklon vozovky pro experimentální měření odpovídá 5,7 %. Byly simulovány dva případy; první, kdy vozidlo zastaví směrem z kopce, a druhý, kdy vozidlo zastaví do kopce. Třetí a zároveň kontrolní měření probíhalo na rovině. Zkoušky brzdného účinku se prováděly dynamickou metodou. Ve všech třech případech bylo provedeno měření na všech kolech daného vozidla. Výsledky měření poukazují na to, že sklon vozovky do 5,7 % výrazně neovlivňuje brzdný účinek. Dále byla posuzována opakovatelnost prováděné zkoušky. Pro účel hodnocení byly naměřeny a vypočteny hodnoty brzdných sil. Statickým posouzením byla zjištěna dostatečná míra opakovatelnosti.

## **Klíčová slova:**

Brzdný účinek, brzdová zkušebna, opakovatelnost

# **Mobile testing unit for braking effect of road vehicle**

## **Summary:**

This diploma thesis is focused on the assessment of the functionality of the mobile roller brake tester. Its theoretical part introduces the basic division of brake systems, the most commonly used types of brakes, friction materials and electronic systems. Then the brake system diagnostics is being described. At the end of the first part legislation for testing brakes is listed.

The practical part describes the simulation of a brake test on a slope of 5.7%. Two cases were simulated; the first when the vehicle brakes downhill, the second when the vehicle brakes uphill. The third and control measurement was carried out on a level surface. The braking performance tests were tested with use of a dynamic method. In all three cases measurements were performed on all wheels of the vehicle. The results of the measurements sufficiently proved that the slope of the road up to 5.7% does not significantly affect the braking effect. Furthermore, also the repeatability of the test was assessed. The braking forces were measured and calculated for evaluation purposes. The assessment of the measured values led to a conclusion that this type of testing fully ensures the requested test repeatability.

## **Key words:**

Braking performance, brake tester, repeatability

## Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Rozbor současného stavu .....	2
2.1	Brzdové soustavy vozidel .....	2
2.2	Hydraulická brzdová soustava .....	3
2.2.1	Posilovač brzd .....	4
2.2.2	Hlavní brzdový válec .....	5
2.2.3	Brzdová kapalina.....	7
2.3	Bubnová brzda .....	8
2.3.1	Typy bubnových brzd.....	10
2.4	Kotoučová brzda .....	11
2.4.1	Kotoučová brzda s pevným třmenem.....	13
2.4.2	Kotoučová brzda s plovoucím třmenem.....	13
2.4.3	Brzdové kotouče.....	13
2.4.4	Materiály brzdových kotoučů.....	14
2.4.5	Brzdové obložení.....	15
2.4.6	Organické destičky .....	16
2.4.7	Kovové destičky .....	16
2.4.8	Keramické destičky .....	16
2.5	Regenerativní brzdění .....	17
2.6	Elektronické doplňky brzd .....	17
2.6.1	ABS .....	17
2.6.2	ASR .....	19
2.6.3	BAS .....	19
2.6.4	EBD .....	20
2.7	Diagnostika brzd .....	20



2.7.1	Dynamická metoda zkoušení brzd .....	21
2.7.2	Statická metoda zkoušení brzd .....	21
2.8	Válcová zkušebna .....	21
2.8.1	Pomaloběžná válcová zkušebna .....	22
2.8.2	Rychloběžná válcová zkušebna.....	23
2.9	Plošinová zkušebna brzd.....	24
2.10	Legislativa a provádění zkoušek.....	25
2.10.1	EHK 13 OSN .....	26
2.10.2	System provozního brzdění .....	27
2.10.3	System nouzového brzdění.....	27
2.10.4	System parkovacího brzdění.....	28
3.	Cíl práce .....	29
4.	Metodika.....	30
4.1	Mobilní válcová zkušebna .....	31
4.2	Měřicí jednotka .....	34
4.3	Frekvenční měnič TECO 7300 CV .....	35
4.4	Vozidlo použité pro měření .....	36
4.5	Záznamové zařízení .....	37
5.	Výsledky měření .....	38
5.1	Zpracování naměřených hodnot.....	39
5.1.1	Měření brzdné síly na rovině.....	41
5.1.2	Měření brzdné síly do kopce .....	43
5.1.3	Měření brzdné síly z kopce .....	45
5.2	Hodnocení vlivu polohy na brzdou sílu .....	47
5.3	Opakovatelnost měření .....	49
5.4	Hodnocení opakovatelnosti měření .....	52

6.	Závěr.....	54
7.	Citovaná literatura .....	55
8.	Seznam obrázků .....	I
9.	Seznam tabulek .....	II
10.	Seznam použitých zkratek a jednotek .....	III

## 1. Úvod

V dnešní uspěchaně době, kdy je možnost se setkat na silnicích s neohleduplnými řidiči, kteří neváhají ostatním zkřížit cestu a vystavit jak sebe, tak i ostatní účastníky provozu riziku, je nezbytné, aby brzdový systém správně fungoval. Na komunikacích je stále vidět velké množství starých aut, neboť dosavadní přijatá opatření typu zavádění sankcí za nákup starších vozidel nebo příspěvky za ekologickou likvidaci jsou nedostačující a pokusy o omlazení současného vozového parku v České republice se tak neseťkávají s úspěchem. Stará vozidla většinou nedokážou splňovat stále se zpřísnující emisní normy a to má vážné ekologické dopady na životní prostředí. Současně je ale potřeba brát v úvahu také skutečnost, že většina těchto vozidel může být ve špatném technickém stavu, což může vést k přímému ohrožení bezpečnosti silničního provozu.

Nedílnou součástí automobilu jsou brzdové systémy, které slouží ke zpomalování pohybu vozidla nebo k jeho úplnému zastavení. Je proto nezbytné, aby jejich funkce byla rychlá a naprosto spolehlivá. Funkčnost brzdových systémů je potřeba pravidelně prověřovat a také je pravidelně opravovat a udržovat ve stavu, který vyhovuje předpisům. Například banální výměna brzdové kapaliny by se měla pravidelně provádět každé dva roky. Je ale otázkou, kolik majitelů nebo provozovatelů automobilů toto doporučení dodržuje.

Automobily se povinně testují na stanicích technických kontrol nebo procházejí kontrolou na servisních místech, aby se na silnici nedostávala vozidla nezpůsobilá provozu. I přes tuto skutečnost lze na silnicích běžně potkat vozidla nebo spíše vraky, které provozu na komunikacích naprosto nevyhovují. Jejich majitelé totiž často platné předpisy obcházejí.

Tato práce se zabývá ověřením funkčnosti mobilní válcové zkušebny, která by měla v budoucnu přispět k testování vozidel přímo na komunikacích. Neklade si za cíl poskytovat naprosto přesné výsledky brzdných sil, jaké jsou dosahovány na brzdových zkušebnách technických kontrol, ale spíše prověřit funkčnost brzdového ústrojí testovaných vozidel a zhodnotit, zda jsou schopna silničního provozu nebo jsou provozu nezpůsobilá a musí být odstavena k detailnímu prověření brzdného účinku.

## 2. Rozbor současného stavu

Druhá kapitola diplomové práce se zabývá rozbohem brzdových systémů používaných na současných silničních vozidlech, popisem jejich konstrukce, typy brzdových soustav a popisem jejich jednotlivých prvků. Dále je rozvedena legislativa vztahující se na jejich používání. Následují možnosti, jak zkoušení brzd provádět a typy zkušebních zařízení.

### 2.1 Brzdové soustavy vozidel

Brzdovou soustavou se rozumí soubor strojních zařízení, která mají za účel zpomalit nebo zastavit vozidlo, případně ho udržet v klidu a zajistit jeho ovladatelnost. Podle způsobu přenosu energie se brzdové soustavy rozdělují na:

- mechanické,
- hydraulické,
- vzduchové,
- kombinované – smíšené.

Rozdělení brzdových soustav podle funkce:

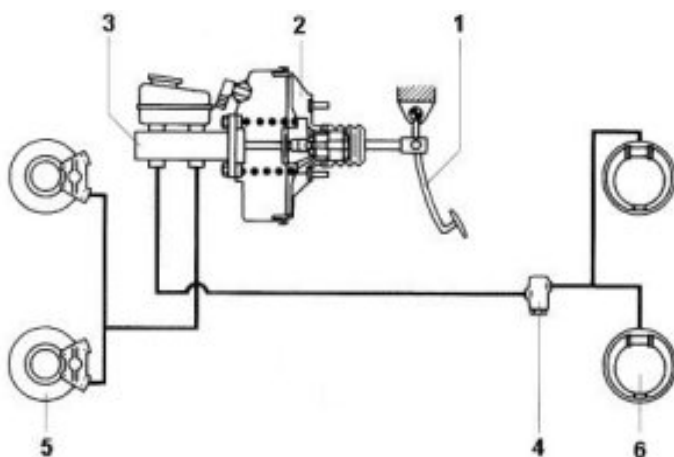
- **provozní brzda** – ovládána je brzdovým pedálem, brzdná síla působí na všechna brzděná kola vozidla,
- **nouzová brzda** – zajišťuje bezdný účinek při poruše provozní brzd,
- **parkovací brzda** – většinou je ovládána mechanicky, ale v dnešní době se setkáváme i s parkovacími brzdami ovládanými elektricky - slouží k zabezpečení vozidla proti pohybu při parkování,
- **zpomalovací brzda** – jde o brzdu, která napomáhá vozidlu zpomalit, ne však úplně zastavit (výfuková brzda retardér – u nákladních automobilů). [1]

## 2.2 Hydraulická brzdová soustava

Kapalinové, neboli hydraulické soustavy, se nejvíce používají u osobních vozidel. Pracují na principu Pascalova zákona, který říká, že tlak kapaliny se šíří v uzavřené nádobě ve všech směrech stejně. [2]

Hydraulická soustava se skládá z brzdového pedálu, posilovače, dvouokruhového hlavního válce, brzdového potrubí, omezovače brzdového tlaku, brzdy přední a zadní nápravy. Pomocí brzdového pedálu se vytvoří v brzdové kapalině tlak, jenž působí silou na píst v hlavním brzdovém válci. Následně kapalina přenáší vytvořenou tlakovou sílu na pístky v kolových brzdových válečcích [2].

**Obr. 1 - Hydraulická brzdová soustava [3]**



1 – brzdový pedál; 2 – brzdový posilovač; 3 – dvouokruhový válec; 4 – potrubí;  
5 – přední brzda; 6 – zadní brzda

Z bezpečnostních důvodů jsou dnes výhradně používány dvouokruhové brzdové systémy. Pokud nastane porucha na jednom z nich, musí být možno druhým vozidlo zastavit. Existuje více možností, jak mohou být dvouokruhové systémy realizovány:

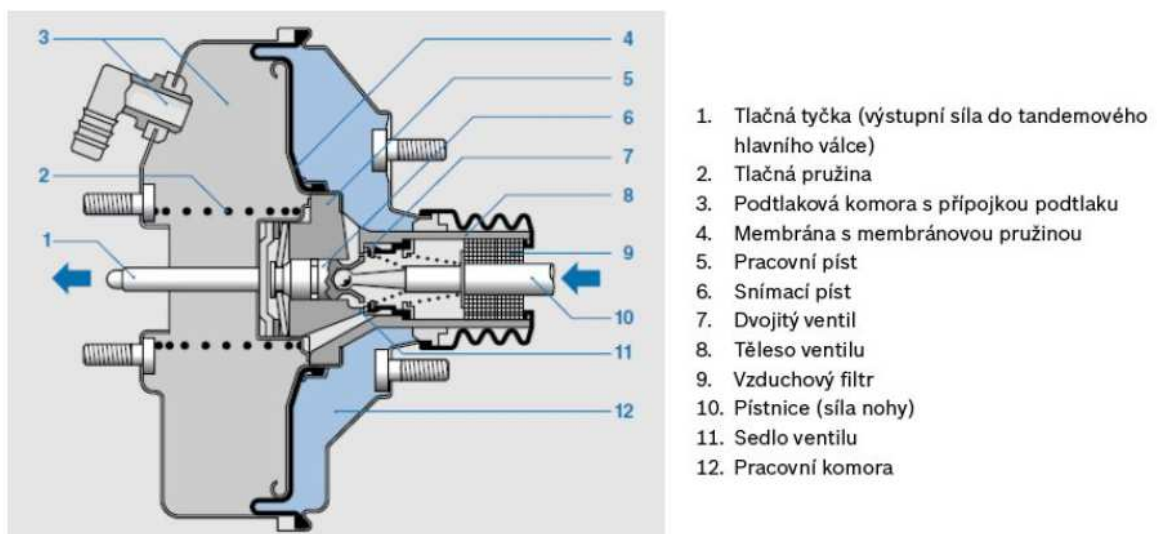
- **systém zapojení TT** – nejjednodušší způsob jak může být dvouokruhový systém zapojen, každá náprava má svůj vlastní okruh,

- **diagonální systém zapojení K** – brzdovým okruhem je propojeno jedno přední a jedno zadní kolo, a to na opačné straně vozidla,
- **systém zapojení HT** – v prvním okruhu jsou zapojeny brzdy všech čtyř kol a do druhého jen brzdy přední nápravy,
- **systém zapojení LL** – oba okruhy brzdí přední nápravu a jedno kolo na zadní nápravě,
- **systém zapojení HH** – v obou okruzích jsou zapojeny všechny brzdy na každém kole [1].

### 2.2.1 Posilovač brzd

V dnešní době se posilovač brzd instaluje již do každého vozidla. Nachází se mezi brzdovým pedálem a hlavním brzdovým válcem. Úkolem posilovače je zvýšit tlak v hydraulickém systému při sešlápnutí brzdového pedálu. Vynaložená síla na brzdový pedál je tak menší a díky tomu řidič při brzdění nemusí vynakládat tak velkou sílu. Posilovač brzd musí být konstruován tak, aby i v případě, kdy dojde k poruše, bylo možné vozidlo brzdit a využívat pouze sílu řidiče. Z konstrukčního hlediska se rozlišují dva typy brzdových posilovačů: přetlakový a podtlakový. [4]

**Obr. 2 - Brzdový posilovač [5]**



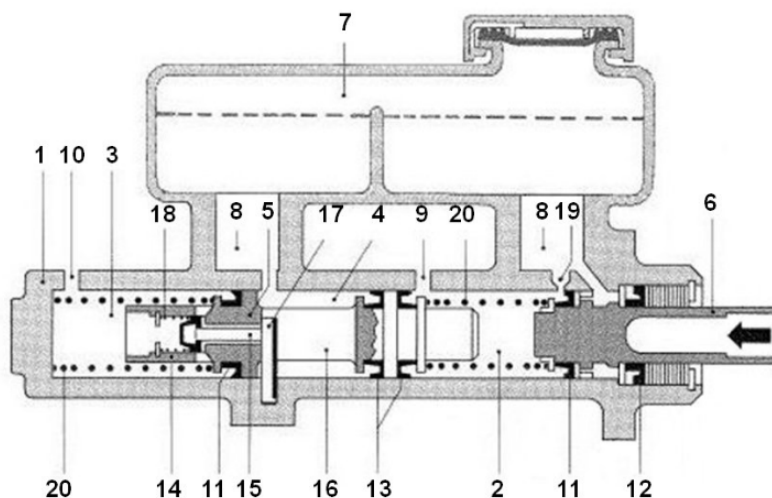
**Přetlakový posilovač brzd** pracuje s vysokotlakým čerpadlem, které zvyšuje tlak v systému a napomáhá k posílení brzdného účinku. Čerpadlo se většinou využívá i pro hydraulický posilovač řízení. Nutnou podmínkou pro jeho funkci je nastartovaný motor vozu. V případě vypnutí motoru zajistí integrovaný akumulátor energie ještě zhruba dvoje sešlápnutí pedálu s posilovačem brzd. Energie je zde uchovávána pomocí pružiny nebo stlačeného dusíku. [3]

**Podtlakový posilovač brzd** využívá pro vytvoření podtlaku u zážehových motorů sací potrubí, v případě vznětových motorů je využita podtlaková pumpa. Posilovač je aktivní pouze v případě nastartovaného motoru, po vypnutí vykonává funkci přibližně ještě po dvojnásobném sešlápnutí brzdového pedálu, pak už se stává nefunkčním. Když je brzdový pedál uvolněn, jsou pracovní i podtlaková komora posilovače propojeny se sáním motoru a vytváří se v nich podtlak. Po stlačení brzdového pedálu do pracovní komory vnikne vzduch z okolí, avšak podtlaková komora se uzavře a nadále z ní je odsáván vzduch. Rozdíl tlaků pak způsobí posílení brzdného účinku. [3]

### 2.2.2 Hlavní brzdový válec

Hlavní brzdový válec převádí sílu na brzdovém pedálu na hydraulickou brzdnou sílu. Jeho účelem je vytvářet hydraulický tlak pro oba samostatné brzdové okruhy. Skládá se ze dvou pístů zařazených za sebou a spojených tlačnou tyčí. Oba písty jsou uloženy v oddělených komorách. Takové uspořádání umožňuje ovládání obou okruhů zároveň, takže v případě poškození jednoho z nich, zůstává druhý okruh stále funkční. Sníží se přitom brzdná účinnost a dojde k prodloužení brzdné dráhy - pokud se nejedná o zapojení HH ve kterém jsou do obou okruhů zapojeny všechny brzdy. [6]

**Obr. 3 - Dvouokruhový brzdový válec [7]**



- |                                 |                                 |                                  |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 – těleso hlavního válce       | 8 – kanálek do nádoby           | 15 – kolík centrálního ventilu   |
| 2 – pracovní prostor I. okruhu  | 9 – výstup I. okruhu            | 16 – drážka plovoucího pístu     |
| 3 – pracovní prostor II. okruhu | 10 – výstup II. okruhu          | 17 – dorazový kolík              |
| 4 – mezikomora                  | 11 – primární manžeta           | 18 – pružina centrálního ventilu |
| 5 – plovoucí píst               | 12 – sekundární manžeta         | 19 – vyrovnávací otvor           |
| 6 – tlačná tyč - píst           | 13 – manžeta                    | 20 – vratná pružina              |
| 7 – vyrovnávací nádoba          | 14 – těleso centrálního ventilu |                                  |

Nachází-li se brzdový válec v klidové poloze (brzdový pedál je uvolněn) poloha pístů je vymezena pomocí pružin. Vyrovnávací otvor je otevřen, první píst se nachází v krajní poloze a poloha druhého pístu je dána dorazem. První i druhý okruh je propojen s vyrovnávací nádržkou, která zaručuje vyrovnávání objemu v jednotlivých okruzích vlivem teploty. Dojde-li k brzdění, tedy k sešlápnutí brzdového pedálu, tlačný píst se posune a uzavře tak vyrovnávací otvor. Tím dojde k uzavření prvního okruhu brzdového systému. Růstem tlaku v prvním okruhu dochází k pohybu druhého pístu. Následně se uzavře centrální ventil a tím i druhý brzdový okruh. Dochází k nárůstu tlaku i v druhém okruhu a brzdy pracují. Po odlehčení pedálu vratné pružiny posunou písty do výchozích poloh, otevře se otvor pro vyrovnání tlaků v obou okruzích, brzdy se uvolní a nastává klidová situace. [8]



### 2.2.3 Brzdová kapalina

Brzdová (hydraulická) kapalina je nezbytnou součástí hydraulického systému brzd. Jsou na ni kladeny vysoké nároky, musí být schopna pracovat i při velkých rozdílech teplot a při vysokých tlacích. Brzdová kapalina je pracovní látka, která je nestlačitelná a dokáže přenášet sílu od sešlápnutého brzdového pedálu až k brzdám automobilu.

Hlavní požadavky na brzdové kapaliny:

- vysoký bod varu,
- viskozita – minimální změna viskozity na teplotě,
- odolnost vůdčí absorpci vody,
- chemická a teplená stálost,
- odolnost proti korozi,
- hořlavost a ekologičnost,
- nízká degradace pryžových těsnění. [9]

Existuje velké množství různých druhů a typů brzdových kapalin i jejich výrobců. Obecně se rozdělují kapaliny na tři skupiny. Výroba první probíhá na bázi glykolu, druhá je založena na silikonu a třetí skupinou jsou minerální oleje. Rozdíl je v použití, pro vozidla se systémem ABS je vhodné použít kapalinu se silikonovou bází. Tyto kapaliny není možné míchat mezi sebou, neboť například glykol chemicky reaguje se silikonem. Při prodeji jsou brzdové kapaliny označovány písmeny DOT a čísly. Hodnota čísla udává teplotu, které je kapalina schopná odolat. Čím větší hodnota, tím větší tepelné zatížení kapaliny může být.

Základní rozdělení kapalin:

- **DOT 3** – zastaralá kapalina která se v dnešní době už nepoužívá, není vhodná pro systém ABS, bod varu je 205 °C,
- **DOT 4** – standardní glykolová kapalina, bod varu je udáván 230 °C,
- **DOT 5** – méně používaná silikonová kapalina, bod varu je 260 °C,
- **DOT 5.1** – vysoko zátěžová kapalina na bázi glykolu [10].

Nevýhodou glykolových kapalin je, že absorbují vzdušnou vlhkost a postupem času stárnou. Voda, která se do kapaliny dostane, však nevytváří kapky, ale volně se rozptýlí. Kdyby k tomuto nedocházelo, mohlo by dojít k selhání brzd.

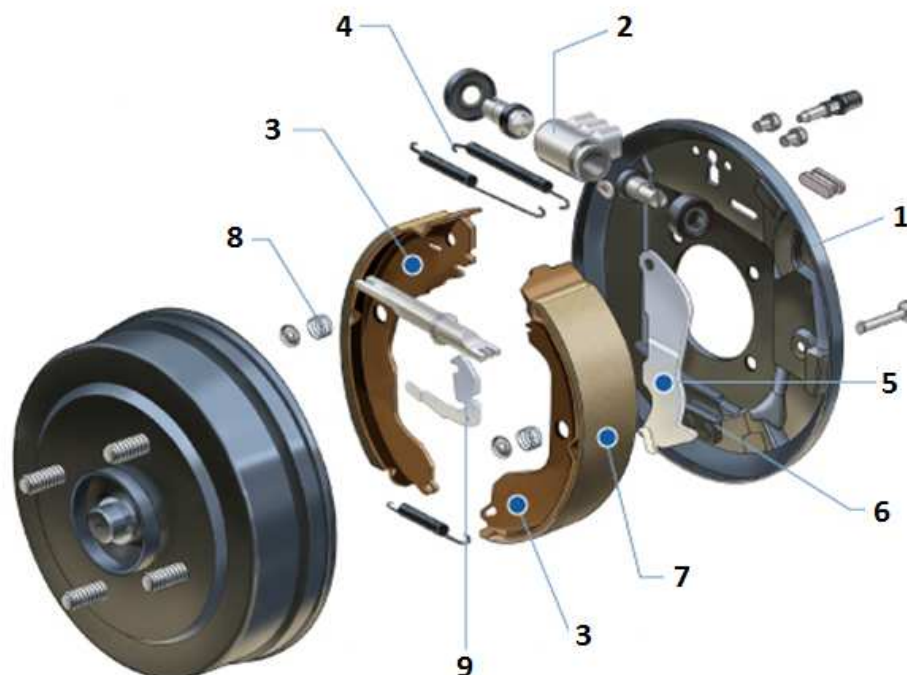
Kapaliny založené na silikonu neabsorbují vodu z okolí, výhodou tedy je, že brzdový systém nepodléhá korozi. Absorbují však vzduch z okolí a časem způsobují měknutí brzd. Jsou velmi agresivní, reagují totiž s lakem vozidel a jejich další nevýhodou je nutnost použití speciálních těsnících hmot.

Minerální kapaliny se s vodou odpuzují a nemísí se. Dostane-li se voda do brzdového okruhu, veškeré vodní kapky spojí se do jedné a může dojít k zamrznutí brzd. Je-li množství vody v systému velké, může vlivem mrazu dojít i k poškození brzdových součástí. Proto se nemohou minerální oleje používat při extrémně nízkých teplotách. [11]

### **2.3 Bubnová brzda**

Mezi dnes stále velmi používané brzdy na silničních vozidlech patří bubnové brzdy. Ačkoliv dnešním trendem je tuto brzdu nahrazovat brzdami kotoučovými, které jsou po technické stránce vyspělejší, automobilky je stále používají na svých vozech a to zejména na vozech nižších tříd. I přesto má tento typ brzdy stále výhodu oproti kotoučové brzdě a to uložením stykových ploch v tělese brzdového bubnu. To má za následek zamezení vnikání nečistot a cizích těles mezi funkční plochy brzd a tím zajišťuje jejich větší spolehlivost. Naopak nevýhodou tohoto provedení je menší brzdová účinnost, a proto se používá převážně na zadních nápravách automobilů.

**Obr. 4-** Konstrukce bubnové brzdy [12]



1 - Štít brzdy; 2 – brzdový válec; 3 – brzdová čelist; 4 – vratná pružina; 5 – rozpěrná páka;  
6 – kotva; 7 – brzdové obložení; 8 – pružina; 9 – brzdový klíč

Konstrukce bubnové brdy je znázorněna na obrázku č. 4. Otáčející se kolo je spojeno šrouby s bubnem. Štít brzdy je pevně připevněn k nápravě vozidla, na něm jsou uloženy brzdové čelisti s brzdovým obložením. Při brzdění se čelisti přitlačují na brzdový buben, kde vzniká tření mezi obložením a vnitřkem bubnu a dochází tak k brzdnému účinku. Přítlačná síla vzniká tlakem brzdové kapaliny v potrubí, které ústí do brzdového válečku. V brzdovém válečku jsou umístěny nejčastěji dva písty, které vlivem tlaku v brzdovém potrubí působí silou na brzdové čelisti. Přítlačná síla může být vyvolána i mechanicky přes rozpěrnou páku (parkovací brzda). Po uvolnění tlaku kapaliny v potrubí vratné pružiny přitáhnou brzdové čelisti od brzdového bubnu, aby nedocházelo k přibrzdování a nechtěnému zahřívání [13] [14].

Hlavní výhodou bubnové brzdy je již zmíněná životnost. Uzavření třecích prvků v brzdovém bubnu zamezuje vnikání nečistot mezi třecí plochy, které je obrousují a snižují jejich životnost. Ovšem uložení v bubnu má i svoje nevýhody. Při dlouhém brzdění se

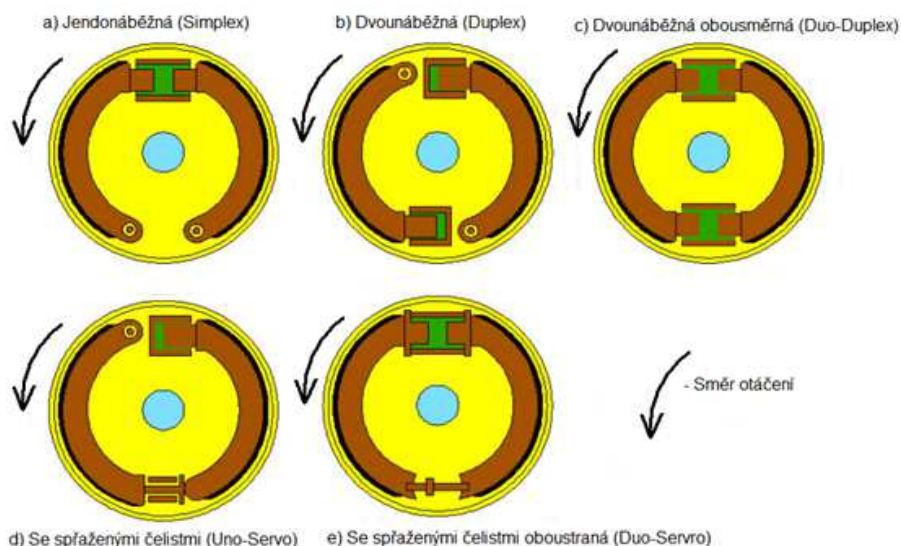
mohou brzdy přehřát a dojde k poklesu brzdě síly. Toto je způsobeno nedostatečným odvodem tepla z bubnu. Druhou podstatnou nevýhodou je složitost konstrukce. Servis a výměna opotřebovaných součástí je složitější a časově náročnější.

### 2.3.1 Typy bubnových brzd

S postupným vývojem se rozlišuje pět základních konstrukcí bubnových brzd, které se mezi sebou liší uspořádáním zdroje přitlačné síly a uložením čelistí. Mezi hlavní konstrukce patří:

- jednonáběžná – Simplex,
- dvounáběžná – Duplex,
- dvounáběžná oboustranná – Duo-duplex,
- spřažené čelisti – servo,
- obousměrná se spřaženými čelistmi – Duoservo [14].

**Obr. 5 - Jednotlivé typy bubnových brzd [14]**



### **Jednonáběžná - Simplex**

Základní konstrukce uspořádání bubnové brzdy obsahuje dvojici bubnových čelistí náběžnou a úběžnou. Síla na čelisti je vyvolána brzdovým válečkem se dvěma písty. Ty přes brzdový klíč přitlačují brzdové čelisti k bubnu. Každá čelist je umístěna na otočném čepu.

### **Dvounáběžná – Duplex**

U této konstrukce má každá čelist svůj brzdový klíč a brzdový váleček, nejčastěji s jedním pístem. Druhá část brzdové čelisti je uložena na čepu, nebo opřena o brzdový váleček druhé čelisti. Toto uložení způsobuje, že každá brzdová čelist je náběžná. Brzdová účinnost je tak větší při jízdě vpřed.

### **Dvounáběžná oboustranná – Duo-duplex**

Hlavním rozdílem oproti brzdě dvounáběžně, spočívá v brzdovém válečku, který má dva písty. Brzdové čelisti jsou přitlačovány v horní i spodní poloze, to má za následek, že brzdové čelisti jsou náběžné jak při jízdě vpřed tak i pro jízdu vzad.

### **Spřažené čelisti – servo**

Ve variantě servo je jedna brzdová čelist uložena na čepu, druhá brzdová čelist je připojena k brzdovému válci a mezi sebou jsou spřaženy. Při brzdění jsou obě čelisti jako náběžné pro jízdu vpřed, při jízdě vzad jsou jako úběžné.

### **Obousměrná se spřaženými čelistmi – Duoservo**

Konstrukce Duoservo využívá samo posilovacího účinku obou brzdových čelistí. Ty jsou spojeny pohyblivou opěrkou. Síla je rozváděna dvoupístovým brzdícím válcem. Ve směru vpřed a vzad se chovají brzdové čelisti jako náběžné [14].

## **2.4 Kotoučová brzda**

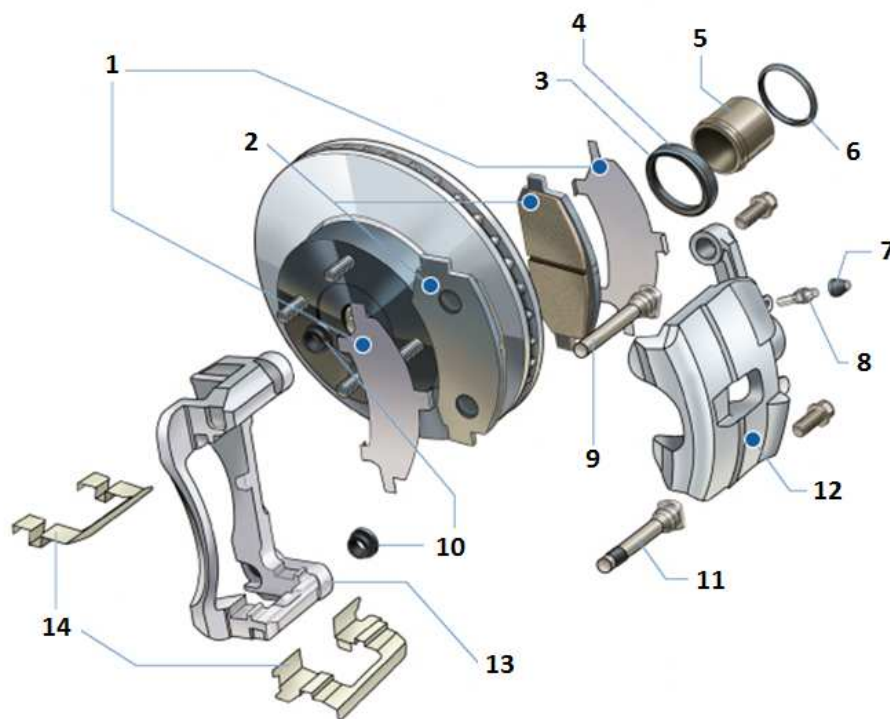
Kotoučová brzda ve svém vývoji urazila velký kus cesty (prošla podstatnými změnami), od prvních prototypů z konce 19 století, kde původním třecím materiálem byla

měď, až po současné keramické materiály [15]. Převážná většina vozidel používá brzdový systém složený z kotoučových brzd.

Kotoučové brzdy na všech čtyřech kolech se běžně vyskytují u nejrůznějších typů vozidel - od rodinných sedanů, kamionů, až po vysoce výkonná sportovní vozidla.

U kotoučové brzdy existují dvě základní provedení, se třmenem pevným nebo se třmenem plovoucím. V případě pevného třmenu přitlačnou sílu vykonávají pístky, které se nacházejí z obou stran brzdového kotouče. U plovoucího třmenu jsou pístky pouze z jedné strany kotouče, přičemž z druhé strany vyvíjí sílu na brzdový kotouč třmen. Podrobnější popis principu funkce je popsán v kapitole 2.4.1 a 2.4.2.

**Obr. 6 - Kotoučová brzda [12]**



1 - Podložka; 2 - brzdová destička; 3 - pístní kroužek; 4 - vedení pístu; 5 - píst; 6 - těsnění pístu; 7 - odvzdušňovací ventil; 8 - odvzdušňovací šroub; 9 - čep; 10 - vedení čepu; 11 - pojistný čep; 12 - třmen; 13- třmen; 14 - vedení destiček

Obecně se kotoučová brzda skládá z brzdového kotouče, třmenu s pístky a náboje kola. Třmen je součástí kotoučové brzdy a je pevně nebo posuvně spojen s nápravou

vozidla a jsou v něm umístěny brzdové pístky. Při stlačení brzdového pedálu se jeden nebo více pístků vysouvají směrem k brzdovému kotouči a přitlačují na něj brzdové destičky, čímž dochází k brzdění. Po uvolnění brzdového pedálu poklesne tlak v potrubí a pístky se vrací do výchozí polohy. K vrácení do výchozí polohy částečně napomáhá těsnění pístků, které se při brzdění natahuje a po odlehčení má snahu se vrátit do původní polohy. Proto u kotoučových brzd není potřeba vratné pružiny, jako v případě bubnové brzdy.

#### **2.4.1 Kotoučová brzda s pevným třmenem**

Tento typ brzdy má pevný třmen, který je umístěn na brzdovém kotouči. Ve třmenu jsou z obou stran kotouče pístky. Podle varianty mohou být brzdy dvou pístkové i čtyř pístkové. Hlavní pohyb vykonávají pístky a přitlačují brzdovou destičku ke kotouči [14].

Kotoučová brzda s pevným třmenem má výhodu v tom, že má uložené po obou stranách pístky přesně proti sobě. Tímto je vyloučeno vznikání možných reakčních sil z jedné strany na druhou.

#### **2.4.2 Kotoučová brzda s plovoucím třmenem**

Standardní kotoučová brzda s plovoucím třmenem funguje tak, že jeden nebo více brzdových pístků je uloženo ve třmenu pouze z jedné strany brzdového kotouče. Třmen není uložen pevně, ale umožňuje posuvný pohyb pomocí vodících čepů. Tlak v potrubí způsobí vysunutí pístku a přitlačení brzdové destičky na jednu stranu kotouče. To způsobí reakci a třmen s brzdovou destičkou se přisune z druhé strany kotouče [14].

#### **2.4.3 Brzdové kotouče**

Základní dělení kotoučů vychází z jejich konstrukce a to na kotouče z plného materiálu a na duté. Konstrukce dutého kotouče je tvořena vzduchovými kanály, které při rotaci vytváří ventilační efekt. Ten napomáhá odvodu tepla vznikajícího při brzdění. Přední brzdy mají větší efektivnost při brzdění, a proto se zde používají duté brzdové kotouče. Naopak na zadní nápravě, kde účinnost není tak velká jako vpředu, jsou kotouče zpravidla menší a z plného materiálu. Existují úpravy, které napomáhají odvodu tepla a čištění. Mezi ně patří vrtání otvorů do kotouče, drážkování či jejich kombinace [13].

**Obr. 7 - Jednotlivé druhy brzdových kotoučů [16]**



- **Vrtaný kotouč** - vrtáním otvorů do kotouče je zvětšen povrch pro lepší odvod tepla, dalším účelem otvorů je odvod nečistot z prostoru mezi brzdovou destičkou a kotoučem. Ačkoliv mají vrtané kotouče lépe odvádět teplo, při překročení mezní teploty mají tendenci se přehřívat a vlivem teploty deformovat, což může vést až k prasknutí [16].
- **Drážkovaný kotouč** - drážkování má podobný vliv na kotouč jako u vrtaných. Drážky jsou umístěny od středu kotouče směrem ven pod úhlem. Vlivem rotace zajišťují drážky lepší odvod nečistot a tepla. Tento typ kotouče má tendenci k větší hlučnosti při brzdění [16].
- **Kombinovaný kotouč** – použitím vrtaných otvorů a drážek je docíleno kotouče kombinujícího výhody obou předešlých typů [16].

#### **2.4.4 Materiály brzdových kotoučů**

Materiálem brzdových kotoučů je nejčastěji litina - ať už se jedná o slitiny oceli, šedé litiny nebo temperované litiny. Obecně litiny mají velkou hustotu a kvůli rozměrům kotouče i velké setrvačné síly. Právě tyto setrvačné síly způsobují vyšší spotřebu paliva. Náklady na výrobu jsou však oproti jiným materiálům malé a proto se litina převážně používá pro výrobu kotoučů [13].

Hliník a jeho slitiny mají dobré vlastnosti pro odvod tepla, ale zároveň jsou náchylnější na maximální teplotu, protože hliník se taví při menších teplotách než ocel



nebo slitina. Proto se hliník kombinuje s jinými druhy materiálů, například hliníkové kompozitní materiály jsou založené na hliníkové slitině s keramickými částicemi. Tyto materiály mají menší hustotu než běžně používané slitiny, a proto je u nich očekávána redukce hmotnosti až o 50-60 %.

Slitiny titanu a kompozitní materiály mohou snižovat hmotnost až o 37 % s porovnáním s běžnou litinou. Dále nabízejí i lepší tepelnou vodivost a lépe odolávají korozi.

#### **2.4.5 Brzdové obložení**

Brzdové obložení je nedílnou součástí brzd. Je to část, na kterou je vyvíjen tlak od brzdového válce, a vznikající tření mezi brzdovým kotoučem či bubnem umožňuje zpomalení a zastavení kola, a tím i celého vozidla. Brzdové obložení má z konstrukčního hlediska jednoduchý účel, avšak chemické složení a výroba je poměrně složitá. Vzhledem k rychlostem, jaké dnes dosahují sportovní vozy, nebo jaké zatížení mají nákladní automobily, je brzdové obložení vystaveno velkému zatížení, vždy když dojde ke zpomalení nebo zastavení vozidla.

Mezi hlavními požadavky na brzdové obložení patří:

- účinnost,
- stabilita za určitých podmínek,
- mechanika a tepelná odolnost,
- vysoká životnost,
- hluk a emise,
- nízká tepelná vodivost.

Z hlediska materiálového se rozlišuje několik druhů brzdového obložení, organické (bez azbestové), kovové a keramické. Každý z těchto materiálů je použit pro různé druhy vozidel.

#### **2.4.6 Organické destičky**

Brzdové obložení bylo vyráběno s přísadou azbestu. Jelikož je obložení vystaveno velkému tlaku a teple, byl azbest vhodným materiálem pro jeho výrobu, avšak dnes je kvůli škodlivosti azbest nahrazen. Organické destičky se nyní vyrábí z materiálů jako je sklo, pryž, pryskyřice, které vydrží velké tepelné namáhání. Nevýhodou organických materiálů je jejich měkkost a rychlejší opotřebení. Proto se používají u většiny malých automobilů. Ty nejsou zatěžovány velkou hmotností, a nepřepokládá se u nich dynamický styl jízdy jako u závodních vozů. Naopak výhodou je jejich cenová dostupnost - výroba je oproti jiným typům levnější [32].

#### **2.4.7 Kovové destičky**

Důvodem, proč jsou v dnešní době kovové destičky tak rozšířené, je jejich cenová dostupnost a dobrá účinnost. Mají oproti organickým destičkám delší životnost. Obsahují přísady kovů jako například měď, ocel, grafit. Ty se smíchají a vytvoří brzdové obložení. Poskytují větší brzdovou účinnost. Jelikož jsou destičky tvrdší, může to vést k většímu opotřebení brzdových kotoučů. Kovové destičky dosahují nejlepších výkonů až po jejich zahřátí, proto, když se vozidlo poprvé rozjede v chladných dnech, může trvat delší dobu, než se destičky zahřejí. Nejvíce se tento typ destiček používá pro nákladní automobily, kde je potřeba velká brzdová účinnost na jejich zastavení [31].

#### **2.4.8 Keramické destičky**

Použití keramických destiček zajišťuje velký brzdový výkon. Opotřebení je velmi malé v závislosti na čase brzdění a jsou velice lehké. Vyrábějí se z keramických vláken a plnidel. Velice dobře odolávají teplotám, což jim dává velký výkon i při opakovaném rychlém zastavení. Při brzdění produkují méně prachu než ostatní typy brzdových destiček, prach není lepivý a neulpívá na kolech vozu. Všechny dobré vlastnosti jsou ale vykoupeny velkou pořizovací cenou, proto nejsou určené pro běžný typ vozidel, ale u sportovních vozů jsou často využívány, jelikož je zapotřebí dosahovat velkých brzdových výkonů.

## 2.5 Regenerativní brzdění

U běžných třecích brzd se kinetická energie vozidla mění na tepelnou vlivem tření mezi třecími komponenty brzdy. Regenerativní brzdění umožňuje kinetickou energii jedoucího vozidla přeměnit na elektrickou a uchovat ji v bateriích na následné využití k jiným účelům, například pro rozjezd vozidla. Pro tyto účely se nejvíce používají kotoučové nebo bubnové brzdy.

Systém regenerativního brzdění probíhá při zpomalování vozidla. V momentu, kdy vůz začne zpomalovat, posílí se výkon alternátoru, ten začne přeměňovat více kinetické energie vozu na elektrickou energii.

Dalším způsobem regenerativního způsobu brzdění je pomocí přepnutí elektromotoru do reverzního chodu. Systém pracuje tak, že pokud je sešlápnut brzdový pedál, přepne se chod motoru. Motor pak pracuje jako generátor elektrické energie, která se ukládá do baterie vozu nebo do kondenzátorů.

Regenerativní brzdění není možné použít na voze samostatně, vždy musí být vozidlo vybaveno ještě třecími brzdami. Smyslem tohoto systému je úspora paliva a zmenšení emisí. Moderní systém brzdění na voze dokáže snížit spotřebu paliva o 10 – 25% [17].

## 2.6 Elektronické doplňky brzd

Všechna moderní auta jsou vybavena celou řadou elektronických systémů. Úkolem systémů je zvyšovat aktivní bezpečnost vozidla.

### 2.6.1 ABS

Anti-lock Brake System známý pod zkratkou ABS je protiblokovací zařízení brzd. V současnosti je toto zařízení nejrozšířenější prvek aktivní ochrany vozidel. Funkcí ABS je přerušování zablokování kol vozidla a tím zabránění ztráty přilnavosti kola s vozovkou. První konstrukce byla použita v armádním letectví v roce 1929. Základním požadavkem byla větší bezpečnost a zlepšení brzdného účinku. Při dosednutí letadla docházelo k defektům pneumatik. K rozšíření ABS do automobilového průmyslu došlo až v 70 letech 20. století. S podobou, jak je systém znám dnes, tedy se sloučením hydraulické a elektrické

části, přišla společnost Bosch pod názvem 2E. V následujících letech docházelo ke zmenšování rozměrů, snižování hmotnosti a celkového počtu dílů, ze kterých se ABS skládá. Nejnovější ABS bylo společností Bosch uvedeno na trh v roce 2003a nese označení ABS 8.0. V roce 2004 sdružení ACEA rozhodla o používání ABS ve všech vozidlech určených pro země EU [18].

**Obr. 8 – ABS [18]**



Princip funkce ABS, jak už bylo zmíněno, spočívá v přerušování brzdné síly. V praxi to má za následek, že na kluzkých površích, nebo při nouzovém brzdění, kola automobilu neztrácí kontakt s vozovkou, což umožňuje řidiči vozidlo stále ovládat, než se úplně zastaví, nebo dokud nedojde k přerušování brzdění.

Konstrukce ABS se skládá z těchto hlavních součástí:

- **čidlo otáček** – na každém kole je umístěno jedno čidlo pro vyhodnocování rychlosti otáčení jednotlivých kol,
- **ventily** – umožňují přerušování brzdění, otvírají a zavírají tlak kapaliny. Literatura uvádí, že je možné přerušit brzdny účinek až šestnáctkrát za vteřinu, a tím zajistit otáčení kol,
- **čerpadlo** – zajišťuje tlak brzdové kapaliny,
- **řídící jednotka** – přijímá signály z čidel otáček kol, které vyhodnocuje na základě algoritmů.

## 2.6.2 ASR

Asistent regulace prokluzu ASR (Anti Skid Regulation) pomáhá opravit chybu řidiče v nepříznivých podmínkách. Systém se aktivuje při zrychlení a udržuje stabilitu vozidla a jeho ovladatelnost při snížené adhezi. ASR svým zásahem snižuje točivý moment motoru, který je přenášen na hnací kola. Ke své funkci používá systém otáčky z čidel pro ABS. U vozidel s jednou hnanou nápravou porovnává otáčky kol hnaných s koly hnacími. Pokud je automobil vybaven pohonem všech čtyř kol, systém sleduje nejpomalejší kolo a porovnává ho s ostatními.

### ASR – přibrzd'ování hnacích kol

Přibrzd'ováním hnacích kol je dosažen kratší čas reakce systému na aktuální situaci, než u regulace pomocí řízeného výkonu motoru. Systém umožňuje kontrolovat pouze jedno hnací kolo nebo obě najednou. Nevýhodou toho systému je možnost přehřátí brzd - z tohoto důvodu je činnost systému časově omezená [19].

### ASR – regulace výkonu

Nevýhodou této regulace je pomalá odezva na danou situaci. Regulace je prováděna omezením výkonu motoru a časová prodleva je proto delší, než u regulace pomocí brzdového systému. Omezení výkonu se u zážehového motoru provádí nastavením polohy škrticí klapky, omezením množství vstřikovaného paliva nebo zapálením směsi. Vznětové motory se regulují elektronicky pomocí elektronického akceleračního pedálu nebo ovládáním vstřikovacího čerpadla [19].

## 2.6.3 BAS

Brzdový asistent známý pod zkratkou BAS (Brake Assistent System) porovnává intenzitu sešlápnutí brzdového pedálu a rychlost vozu. Z těchto dvou veličin vyhodnocuje, kdy dochází k nouzovému brzdění, a následně zvýší tlak v brzdové soustavě. V porovnání s vozidlem, které nemá systém BAS, při stejném sešlápnutí brzdového pedálu, má automobil s BAS větší brzdnou sílu. Výhodou je zkrácení brzdné dráhy až o dvacet procent. Podle konstrukce lze rozlišit tři typy: mechanický, elektronický a hydraulický. Rozdíl je ve způsobu snímání intenzity sešlápnutí brzdového pedálu [30].

## 2.6.4 EBD

Další systém napomáhající zlepšení jízdních vlastností vozidla při brzdění je EBD (Electronic Brake Force Distribution), neboli elektronické rozdělování brzdové síly. Systém rozděluje tlak ve vedení mezi přední a zadní nápravou vozidla. Při brzdění nastává takzvaný klopný efekt, hmotnost (těžiště) vozu se přesouvá směrem k přední nápravě. Přední náprava je zatížena větší silou a i přilnavost pneumatik je větší, zatímco na zadní nápravě dochází k odlehčení. Při intenzivním brzdění by mohlo docházet k zastavení kol zadní nápravy a tím by se automobil dostal do smyku. EBD systém dokáže zjistit zatížení kol a příslušně upravit velikost brzdové síly předních a zadních brzd i na jednotlivých kolech. Výpočet síly se vyhodnocuje ze signálu čidel otáčení kol, které jsou již součástí ABS, a z aktuální rychlosti vozu. Úpravou brzdové síly se nejen zkracuje brzdná dráha vozidla, ale má pozitivní vliv i na zahřívání brzd přední nápravy [30].

## 2.7 Diagnostika brzd

Pokud se hovoří o diagnostice, většina lidí si představí diagnostický přístroj, jenž je po připojení do vozidla schopen sdělit obsluze, které systémy hlásí chybu a je proto nutné je zkontrolovat nebo opravit. Obecně se ale diagnostika zabývá analýzou skutečného stavu zařízení.

Z technického hlediska mají brzdové systémy velký vliv na bezpečnost vozidla. Je proto zapotřebí je pravidelně diagnostikovat a podrobovat zkouškám pro ověření funkčnosti, a to po celou dobu jejich životnosti. V dnešní době, kdy jsou neustále vyvíjeny nové materiály a technologie, není problém, aby brzdy splňovaly požadavky, které jsou na ně kladeny po celou dobu jejich užívání. V mnoha případech za selhání systému může lidský faktor - zanedbáním údržby a pravidelného servisu. Proto je snaha vyvinout systémy co nejjednodušší pro obsluhu tak, aby co nejvíce činností vyhodnocoval řídicí systém sám [20].

Pro hodnocení brzdového účinku soustav se používají tyto metody:

- měření brzdové dráhy v reálných podmínkách (na vozovce),
- měření brzdové dráhy na válcové zkušebně,
- měření brzdové síly na válcové zkušebně,

- měření brzdné síly na plošinové zkušebně,
- měření brzdného zpomalení decelerometrem.

Uvedené měřicí metody jsou obecně známé, avšak spolu s vývojem brzdných systémů vzrůstá i trend testovat brzdou soustavu dynamickou metodou [20].

### **2.7.1 Dynamická metoda zkoušení brzd**

Dynamické metody zkoušení mají co nejvíce simulovat reálné podmínky prostředí. Rychlosti zkoušení se pohybují až do 200 km/h. Zkouška se z pravidla provádí z maximální rychlosti až do úplného zastavení. V průběhu celého brzdění je zaznamenávána brzdná dráha a zpomalení.

Testy probíhají na brzdových zkušebnách, ideálně s dostatečně velkým výkonem elektromotoru, u kterého lze simulovat dlouhý sjezd.

### **2.7.2 Statická metoda zkoušení brzd**

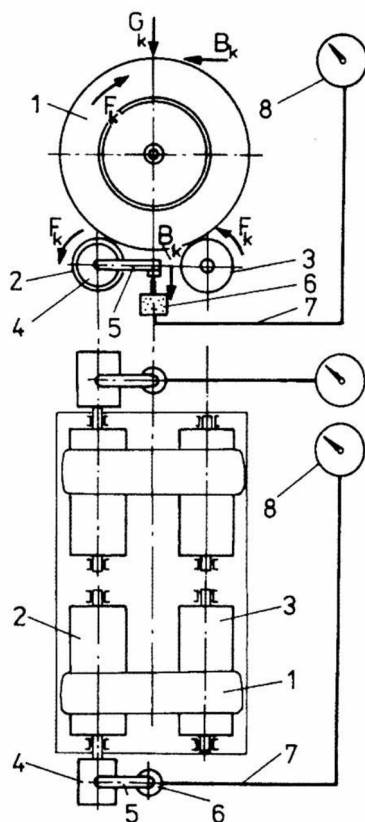
Statická metoda se používá na stanicích technických kontrol, kdy se využívají menší rychlosti pro ověření funkčnosti brzd. Kontrolují se tím parametry mající vliv na brzdny účinek, například čas náběhu brzdové síly. Zkoušky se neprovádějí až do úplného zastavení, brzdy se většinou testují při stálé rychlosti [21].

## **2.8 Válcová zkušebna**

Válcová zkušebna je v současnosti nejspíše nejrozšířenějším typem zkušebny pro kontrolu brzdového systému vozidel na STK. Jakým způsobem se zkoušky provádějí, je popsáno v kapitolách 2.7.1 a 2.7.2. Měření se provádí tak, že se vozidlem najede na dvojici válců, které se roztočí. Měří se brzdná síla na obvodu kola.

Z konstrukčního hlediska se válcové zkušebny rozdělují na dvě skupiny, pomaloběžné a rychloběžné. Jak již název napovídá, jedná se o rychlosti, při nichž se zkoušky provádějí. U pomaloběžných je rychlost do 10 km/h, na rychloběžných zkušebnách lze testovat až do rychlosti 100km/h.

**Obr. 9 - Schéma válcové zkušebny [22]**



1 – vozidlové kolo; 2 – podpěrný válec; 3 – měřicí válec; 4 – stator; 5 – rameno;  
6 – snímač; 7 – potrubí nebo kabel; 8 – indikační přístroj

### 2.8.1 Pomaloběžná válcová zkušebna

Pomaloběžná zkušebna je určená pro vyhodnocování brzděné síly na obvodu kola. Rychlosti zkoušení se pohybují obvykle do 10 km/h.

Konstrukce zkušebny obsahuje dvě dvojice válců na pravé a levé straně (zkušebny), které jsou umístěny pod úrovní podlahy. Dvojice válců nejsou mezi sebou propojeny, aby bylo možné měřit každé kolo na nápravě zvlášť. Každá dvojice válců je mezi sebou spojena mechanickým převodem, velice často řetězem. Výstupní hřídel jednoho z dvojice válce je spojen s převodovkou. Ta není pevně spojena s konstrukcí zkušebny a může se volně otáčet kolem osy válce. Na převodovce je umístěno momentové rameno, na jehož konci je tenzometrický snímač. Ten vysílá signál o zatížení, z něhož se přepočítává brzdný



moment. Převodová skříň je spojena výstupním hřídelem s elektromotorem, který pohání válcovou zkušebnu [22].

Měření probíhá po najetí vozidla na zkušebních válcích. Přední a zadní brzdy kol se měří postupně. Měří se buď s posilovačem brzd, tedy se zapnutým motorem, anebo bez posilovače, s motorem vypnutým. Válce zkušebny se roztočí na zkušební rychlost a počká se, než se ustálí otáčky. Poté se zahájí brzdění; rychlost zůstává stále stejná a vzniká brzdový moment. Tento moment způsobí natočení převodové skříně. Rameno, které je na ní umístěné, začne tláčit na tenzometrický snímač, z něhož je odečtena brzdná síla [22].

Existují zcela odlišný způsob měření brzdné síly, a to pomocí wattmetru. Na zkušebně není umístěno rameno s tenzometrem jako u předešlého způsobu, ale vychází se z parametru elektrického příkonu motoru. Brzděním se zvyšuje příkon elektromotoru a ten je úměrný brzdné síle [22].

### **2.8.2 Rychloběžná válcová zkušebna**

Principiálně je rychloběžná válcová zkušebna stejná jako pomaloběžná popsána v kapitole 2.8.1. Zkušebny se používají pro rychlosti okolo 100km/h, testování na těchto zkušebnách má simulovat zatížení brzdové soustavy, které se co nejvíce podobá reálnému zatížení v provozu. Jednou z výhod je i možnost ověřit funkčnost elektronických brzdových asistentů například ABS. Při testování na pomaloběžných zkušebnách se tyto asistenti z pravidla odpojují z činnosti, pokud nejsou zkušebny čtyřválcové [23].

Z konstrukčního hlediska existují tři typy těchto zkušeben:

- Zkušebna, kde je použit dostatečně výkonný elektromotor, který zatěžuje brzdový systém automobilu. Zkouška pak probíhá stejně jako na pomaloběžné válcové zkušebně, jen s vyšší rychlostí otáčení válců.
- U druhého typu je k roztáčení opět použit elektromotor, ten však nedosahuje takového výkonu jako u předchozího typu. K válcům je připojen ještě setrvačnick, který je pomocí motoru roztočen. Jakmile jsou dosaženy zkušební otáčky, motor se odpojí a setrvačnick vytváří zátěž pro zkoušení brzd. Testování se provádí až do zastavení válců. Tento typ válcové stanice se nazývá setrvačnicková.
- Zkušebna, která je kombinací dvou předchozích.

Pro měření je nutné vozidlo po přistavení na zkušebnu zajistit, a to z důvodu velkých zkušebních rychlostí, aby se nemohlo stát, že vůz sjede z válců. Jakmile je dosaženo příslušných otáček válců, je sešlápnut brzdový pedál. Aby byla zajištěna vždy stejná síla působící na brzdový pedál, je za tímto účelem použit pedometr. Pro měření se snímají otáčky válců při celém průběhu brzdění. Otáčky spolu s ovládací silou jsou podkladem pro vyhodnocení brzdného účinku [23].

## **2.9 Plošinová zkušebna brzd**

Plošinová brzdová zkušebna je využívána pro dynamické zkoušky brzdového systému. Brzdová stolice se skládá z pohyblivých desek, které jsou rovnoběžné a pohybují se stejným směrem jako testované vozidlo. Podle konstrukce se rozlišují dva typy zkušeben. Zkušebna se dvěma deskami, anebo se čtyřmi deskami, kde je pro každé kolo samostatná deska. Desky jsou uloženy na tenzometrických snímačích. Při dynamickém měření se vozidlo rozjede na rychlost odpovídající 10-15 km/h, najede na desky a po té začne brzdit. Brzdný účinek způsobí sklouznutí jednotlivých desek. Pro větší přesnost měření je důležité, aby se využila celá dráha zkušeny. Z naměřených hodnot z tenzometrů se následně vypočítá brzdný účinek měřeného automobilu. Pokud je brzdová zkušebna čtyřplošinová, měří se všechna kola najednou, u dvouplošinové zkušebny se zkoušejí brzdy na přední a zadní nápravě zvlášť [22].

Nerovnoměrné brzdění pravého a levého kola lze určit porovnáním síly z tenzometrů na pravé a levé straně [23].

**Obr. 10 – Dvou-desková plošinová brzdová zkušebna [24]**



V praxi se převážně používají zkušebny válcové a používání deskových zkušeben je méně obvyklé, deskové zkušebny ale přesto mají své výhody. Lze na nich zkoušet vozidla s pohonem všech kol a měření se vyznačuje velkou přesností. Doba trvání samotné zkoušky je velice krátká. Z konstrukčního hlediska je zde méně pohybujících se částí oproti válcovým zkušebnám. Mezi nevýhody patří testování pouze zkušenou obsluhou, neboť je nutné dodržet předepsanou rychlost vozidla a správnost načasování okamžiku začátku brzdění. Dnes se tyto zkušebny ještě používají na Novém Zélandu a v Austrálii [25].

## **2.10 Legislativa a provádění zkoušek**

Vyhláška č. 341/2014 Sb. uvádí schvalování vozidel na pozemních komunikacích. Část čtvrtá této vyhlášky je zaměřená na zkušební stanice a technické zkušebny. Jsou zde popsány požadavky na přístroje a technické zařízení.

Nařízení o zkouškách brzd a brzdných systémů je dáno předpisem Evropské hospodářské komise (EHK OSN) č. 13, pro kategorie vozidel M, N a O.

### 2.10.1 EHK 13 OSN

Podle přílohy 4 EHK č. 13 je dána brzdná účinnost systému středním plným brzdým zpomalením nebo brzdnou dráhou. Samotný účinek brzdového systému [21]

Střední plné brzdné zpomalené  $d_m$ :

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)} [m/s^2] \quad (1)$$

$v_o$  – počáteční rychlost vozidla [km/h]

$v_b$  – rychlost vozidla při 0,8  $v_o$  [km/h]

$v_e$  – rychlost vozidla při 0,1  $v_o$  [km/h]

$s_b$  – dráha, kterou vozidlo ujede mezi  $v_o$  a  $v_b$  [m]

$s_e$  – dráha, kterou vozidlo ujede mezi  $v_o$  a  $v_e$  [m]

#### Zkouška typu 0

Zkouška se provádí se studenými brzdami, při plném naložení vozidla, tak aby bylo možné maximální zatížení nápravy. Zkouška se následně opakuje s prázdným vozidlem pouze s obsluhou na místě řidiče. Dále se zde zohledňuje brzdění s připojeným a odpojeným motorem. Kromě toho se zkoušky provádějí při různých rychlostech; nejnižší rychlost se rovná 30 % z maximální rychlosti vozidla. Horní hranice rychlosti, při kterých se zkoušky provádějí, je 80 % z maximální rychlosti [23] [21].

#### Zkouška typu I

Zkouškou se zjišťuje slábnutí brzdného účinku. Provádí se řada brzdění ze stanovené rychlosti a následného uvolnění brzd. Zkoušenému vozidlo je předepsána určitá hmotnost nákladu, kterým musí být vozidlo zatíženo [23] [21].

#### Zkouška typu II

Provádí se za účelem zjištění, jak se vozidlo chová při dlouhém brzdění při jízdě z kopce. Testuje se naložené vozidlo jedoucí střední rychlostí 30 km/h. Dráha, na které je

vozidlo zkoušeno, má délku 6 km se sklonem 6 °. Vozidlo má zařazený převodový stupeň nebo musí mít aktivní odlehčovací brzdu [23] [21].

### 2.10.2 Systém provozního brzdění

Provozní brzdění se zkouší podle parametrů uvedených v tabulce č. 1. Testování probíhá dle zkoušek typu 0, I, a II [23] [21].

Tab. 1 - Provozní brzdění [26]

Kategorie vozidel podle EHK – R13 (druh, maximální hmotnost)		Osobní automobily			Nákladní automobily		
		Osobní aut.	Autobusy		N1 m ≤ 3,5t	N2 3,5t ≤ m ≤ 12t	N3 m ≥ 12t
		M1 m ≤ 3,5t	M2 m ≤ 5t	M3 m ≥ 5t			
Provozní brzdění	Počáteční rychlost $v_0$	80 km.h <sup>-1</sup>	60 km.h <sup>-1</sup>		70 km.h <sup>-1</sup>	50 km.h <sup>-1</sup>	40 km.h <sup>-1</sup>
	Max. brzdná dráha $s_{\text{c}}$	50,7 m	36,7 m		53,1 m	29,2 m	19,9 m
	Max. nožní síla $F_a$	500 N	700 N		700 N		
	Max. prodleva $t_p$	0,36 s	0,54 s		0,54 s		
	Zpomalení $a$	5,8 m.s <sup>-2</sup> (K <sub>2</sub> = 150)	5 m.s <sup>-2</sup> (K <sub>2</sub> = 130)		4,4 m.s <sup>-2</sup> (K <sub>2</sub> = 115)		
Nouzové brzdění	Max. brzdná dráha $s_{\text{c}}$	93,4 m	64,4 m		95,7 m	51 m	33,8 m
	Max. ruční síla $F_r$	400 N	600 N		600 N		

### 2.10.3 Systém nouzového brzdění

Provádí se dle zkoušky typu 0, simuluje se zde porucha brzdného systému. Podmínkou splnění je dosažení stanoveného středního plného brzdného zpomalení a brzdné dráhy [23] [21].

#### **2.10.4 Systém parkovacího brzdění**

Základním parametrem zkoušky parkovacího systému brzdění je udržení vozidla stojícího na svahu o sklonu 18 %. Dále se provádí zkouška typu 0 s naloženým vozidlem [23] [21].

### **3. Cíl práce**

Globálním cílem diplomové práce je přispět ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu a to tím, že se práce zaměřuje na posouzení účinku brzdné soustavy. Tohoto globálního cíle bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- posoudit vliv sklonu svahu při měření na prototypu mobilní válcové zkušebny (stanovit a porovnat zpomalení jednotlivých kol vozidla),
- ověření opakovatelnosti měření na prototypu mobilní válcové zkušebny.

## 4. Metodika

Měření probíhalo v prostorách technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze.

K realizaci simulace svahu byly zvoleny euro palety jakožto podkladový materiál pod nápravy vozidla. Výška jedné europalety je cca 150 mm. Z této hodnoty a z rozvoru auta, který je 2638 mm, se stanovil sklon vozovky podle vzorce (2).

Výpočet sklonu vozovky:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{h}{l} \cdot \frac{1}{100} \quad [\%] \quad (2)$$

$h$  – výška palety

$l$  – rozvor automobilu

Sklon pro simulaci sklonu svahu podle vzorce 2 činí 5,7 % v přepočtu na stupně sklon vychází na cca 3,3 °.

**Obr. 11 - Měření brzdné síly[autor]**





Pro samotné měření bylo potřeba ustavit automobil do požadované polohy. Nejdříve se simulovaly podmínky, kdy vozidlo stálo směrem z kopce. Pod zadní nápravu byl umístěn hydraulický zvedák tak, aby bylo možné zvednout obě zadní kola na nápravě najednou. Pod kola byly umístěny palety. Následně bylo zvednuto pravé přední kolo a pod kolo vložena válcová zkušebna. Po zapojení všech přístrojů byla vždy vyzkoušena funkčnost zkušebny. Frekvence měniče byla nastavena na 10 Hz, tím se ověřilo, že vozidlo je stabilní na válcové zkušebně. Vlastní měření probíhalo při nastavení frekvenčního měniče na 50 Hz, otáčky elektromotoru odpovídaly  $1440 \text{ min}^{-1}$ , rychlost vozu byla 10 km/h. Při vlastním měření, byl třikrát po sobě sešlápnut brzdový pedál. Po každém sešlápnutí pedálu se musela nechat dostatečná prodleva pro roztočení kola. Postupně se měření opakovalo pro všechna kola. Po odměření vozidla v dané poloze se odstranily palety zpod zadních kol a opět proběhlo měření, tentokrát se všemi koly ve stejné výšce. Pro účely stanovení opakovatelnosti měření bylo v této poloze navíc provedeno deset měření na zadním levém kole. Poté byly podloženy paletami kola přední nápravy simulující zkoušení do kopce. Pod každé kolo byla opět umístěna válcová zkušebna a provedeno měření.

Čidlo otáček zaznamenávalo počet pulsů, pořadí a odpovídající čas mezi nimi. Z těchto hodnot se výpočtem dle vztahů (3), (4) a (5) stanovil čas, rychlost, zpomalení a také brzdná síla.

#### **4.1 Mobilní válcová zkušebna**

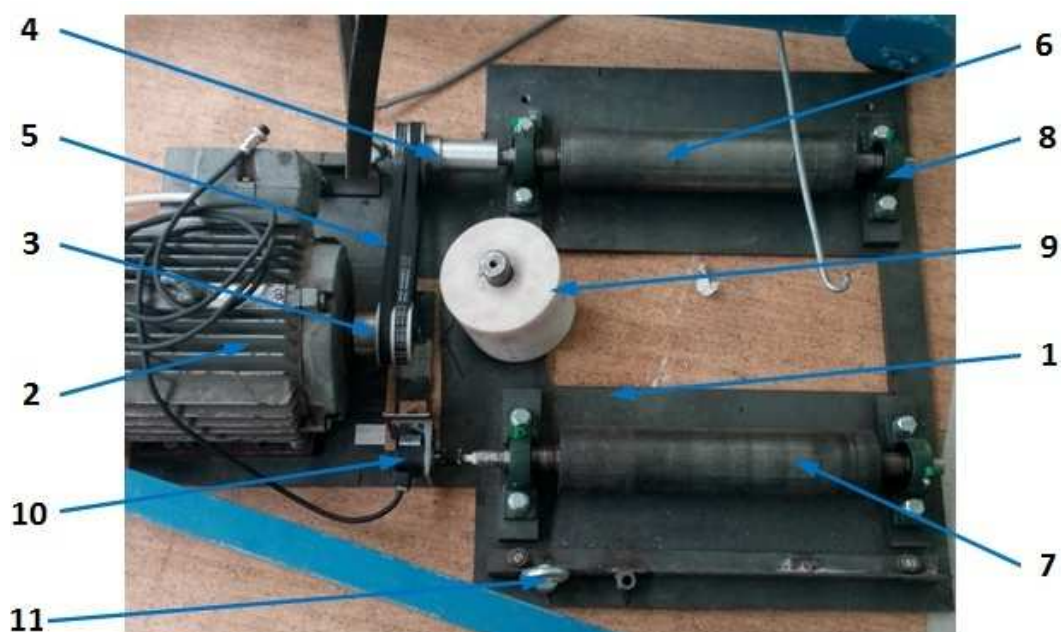
Kapitola je věnována popisu a konstrukci mobilní válcové zkušebny, na které bylo prováděno měření. Zkušební zařízení se nachází v prostorách technické fakulty, pod záštitou katedry jakosti a spolehlivosti strojů. Zkušební zařízení je koncipováno pro hodnocení brzdových soustav automobilů v reálném provozu na pozemních komunikacích a nikoli jen v servisech a stanicích technické kontroly. Nyní se jedná o prototyp válcové zkušebny, na němž jsou realizována měření pro ověření funkce založené na dynamické metodě zkoušení.

Konstrukce zkušebny umožňuje měření vždy jen na jednom kole vozidla. Pro kompletní diagnostiku, je nutné proměřit všechna kola vozidla a porovnat výsledky

brzdných účinků na nápravě. Měření zatím lze provádět jen v prostorách dílny a s přívodem elektrického proudu.

Jak je patrné z obrázku č. 12, konstrukce zkušebny není ideální. Především se jedná o redukci hmotnosti tak, aby bylo možné se zkušebnou lépe manipulovat bez použití zvedáků. Další zásadní konstrukční změnou bude samotné ustavení zkušebny na zkoušené kolo. Zkušebna by se měla nasouvat kolmo na měřené kolo a po ustavení do měřicí polohy by se kolo mělo přizvednout do minimální výšky nad vozovku.

**Obr. 12 - Konstrukce prototypu mobilní válcové zkušebny[Autor]**



1 – základní deska; 2 – elektromotor; 3 – řemenice motoru; 4 – řemenice válce; 5 – dvojice řemenů; 6 – poháněný válec; 7 – volný válec; 8 – ložisko; 9 – silonový válec; 10 – čidlo otáček; 11 – manipulační oko

Tělo, neboli základová deska zkušebny, na kterém jsou ostatní komponenty uchyceny, tvoří vypálený plech na laseru o tloušťce 10 mm. Na desce je uchycen elektromotor pomocí čtveřice šroubů. Přes řemenici je z elektromotoru převáděn krouticí moment dvojicí klínových řemenů na řemenici poháněného válce. Poměr řemenice elektromotoru a válce je 1:1,05. Dále jsou na zkušebně přes vymezovací podložky umístěné ložiskové domečky. V ložiskových válcích jsou podélné drážky sloužící

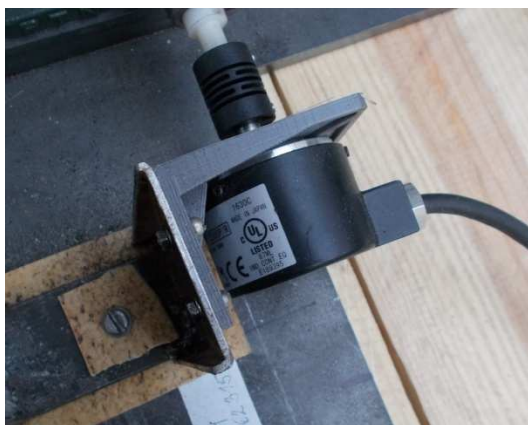
k uchycení k základní desce a zároveň je tím umožněno dodatečné napínání řemenů. V ložiscích jsou ustaveny válce. Ty jsou navrženy s ohledem na kompaktnost a minimální rozměry zkušebny tak, aby pokryly šířku pneumatiky a měřené kolo bylo v minimální výšce nad podlahou. Průměr válců byl použit o 76 mm. Bezpečnostním prvkem je silonový válec umístěný před motorem, který slouží k ochraně automobilu a válcové zkušebny před možným sjetím měřeného kola z válců. Po obvodu zkušebny jsou umístěna manipulační oka pro zvedání a přesouvání zkušebny. Měření otáček zajišťuje čidlo upevněné na válci, který není poháněn elektromotorem.

Pohon zkušebny zajišťuje elektromotor, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Tab. 2-** *Parametry elektromotoru*

Výkon motoru	4 kW
Napětí	380 / 220 V
Otáčky při 50 Hz	1440 min <sup>-1</sup>

**Obr. 13 -** *Čidlo otáček[Autor]*



Snímání otáček je prováděno inkrementálním čidlem, které je zobrazeno na obrázku č. 13. Parametry jsou uvedeny v tabulce č. 3.

**Tab. 3 - Parametry čidla otáček**

Počet impulsů na jednu otáčku	2500
Pracovní napětí	4,75 až 5,25 V
Spouštěcí točivý moment	0,03 Nm
Maximální namáhání	radiální – 50 N axiální – 30 N
Maximální otáčky	trvalé – 3000 ot.min <sup>-1</sup> špičkové – 5000 ot.min <sup>-1</sup>

## 4.2 Měřicí jednotka

Do měřicí jednotky přicházejí data z čidla otáček umístěného na zkušebním zařízení. Naměřená data jsou posílána do počítače opatřeného programem pro válcové zkušebny. Měřicí jednotka dokáže přesně zaznamenávat data z několika čidel současně. Je možno připojit až čtyři čidla otáček a čtyři snímače krouticího momentu.

Pro účel měření bylo zapojeno pouze jedno čidlo otáček umístěné na válcové zkušebně. Výstupní data byla vedena přes datový kabel do počítače.

**Obr. 14 - Měřicí jednotka [autor]**



### 4.3 Frekvenční měnič TECO 7300 CV

Pro regulaci elektromotoru byl použit frekvenční měnič TECO 7300 CV. Měnič má v sobě zabudovaný programovatelný logický automat (PLC). S automatem lze realizovat autonomní systémy bez nutnosti použití jiného PLC nebo řídicí jednotky. Základní parametry měniče jsou uvedeny v tabulce č. 4.

**Tab. 4 - Parametry frekvenčního měniče**

Typ měniče	0010
Výkon	10 [HP]
Jmenovitý výkon motoru	7,5 [kW]
Jmenovitý proud	17,5 [A]
Jmenovitý výstup	13,3 [KVA]
Vstupní napětí	3 fáze, 380 - 400 V +10 %,-15 % 50/60 Hz
Maximální výstupní napětí	3 fáze, 380 - 400 [V]
Vstupní proud (maximální)	20,5 [A]
Hmotnost	6,6 [kg]
Povolený výpadek napájení (max.)	2 [s]

**Obr. 15 - Frekvenční měnič [autor]**



#### **4.4 Vozidlo použité pro měření**

Měření probíhalo na zkušebním vozidle Škoda Karoq, hlavní parametry vozu jsou uvedené v tabulce č. 5.

**Tab. 5 - Parametry měřeného vozidla [27]**

Vozidlo	Škoda Karoq
Motor	1,5 TSI
Zdvihový objem	1495 cm <sup>3</sup>
Výkon	110 kW
Točivý moment	250 Nm
Hnaná náprava	přední
Převodovka	Manuální 6 st.
Délka	4382 mm
Šířka	1841 mm
Výška	1603 mm
Rozvor	2638 mm
Rozchod přední	1576 mm
Rozchod zadní	2638 mm
Provozní hmotnost	1303 kg
Užitečná hmotnost	612kg
Celková hmotnost	1915 kg

#### 4.5 Záznamové zařízení

K záznamu naměřených veličin byl použit software pro diagnostiku na válcových zkušebnách. Program umožňuje záznam měření výkonu, brzd a emisí. (obrázek č. 16).

**Obr. 16 - Záznamové zařízení**



## 5. Výsledky měření

V tabulce č. 6 je zobrazen záznam výsledků ze záznamového zařízení. Zdroj dat je ukládán ve formátu textu (-txt). Naměřená data byla převedena a následně zpracována v programu Microsoft Excel.

**Tab. 6** – Tabulka ukázky hodnot pro výpočet

Kanál	Čas impulsu	Číslo impulsu	Otáčky válce [min <sup>-1</sup> ]	Zpomalení [rad/s <sup>2</sup> ]	Zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]
1	3141223166	593864	245,45	-2337,44	
1	3141290666	593877	216,22	-2326,14	
1	3141356366	593888	186,27	-2481,01	
1	3141419510	593897	155,16	-2415,09	
1	3141487839	593905	125,63	-2448,01	
1	3141553236	593911	92,64	-2522,93	
1	3141630321	593916	56,98	-2148,94	
1	3141721728	593919	23,49	-911,95	
1	3183692761	594243	9,62		167,57
1	3183757425	594248	9,80		155,06
1	3183821053	594253	10,02		172,49
1	3183895343	594259	10,27		189,14
1	3183955637	594264	10,53		152,01
1	3184026594	594270	10,67		137,48
1	3184085188	594275	10,89		213,80
1	3184153551	594281	11,21		219,56

Popis dat v tabulce č. 6:

**Kanál** – určuje, ze kterých válců jsou měřena data, zda z pravé nebo levé strany. Jelikož na válcové zkušebně lze měřit pouze jedno kolo bude kanál vždy nabývat hodnoty 1.

**Čas impulsu** - hodnota, která se musí vynásobit konstantou 0,00000002, aby se čas převedl na sekundy.

**Číslo impulsu** – číslo dílku, který byl zaznamenán.



**Otáčky válce** – otáčky válce podle vztahu (3)

$$n_v = \frac{(I_{i+1} - I_{i-1})}{2500 \cdot 0,00000002 \cdot (t_{i+1} - t_{i-1})} \cdot 60 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

$n_v$  – otáčky [min<sup>-1</sup>]

$I_i$  – číslo impulsu v pořadí  $i$  [-]

$t_i$  – čas impulsu v pořadí  $i$  [-]

**Zrychlení** – zrychlení je dáno vzorcem (4)

$$a_z = \frac{(n_{v+1} - n_{v-1})}{60 \cdot 0,00000002 \cdot (t_{i+1} - t_{i-1})} \cdot \pi d \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]} \quad (4)$$

$a_z$  – zrychlení [m·s<sup>-2</sup>]

$n_v$  – otáčky v intervalu  $i$  [min<sup>-1</sup>]

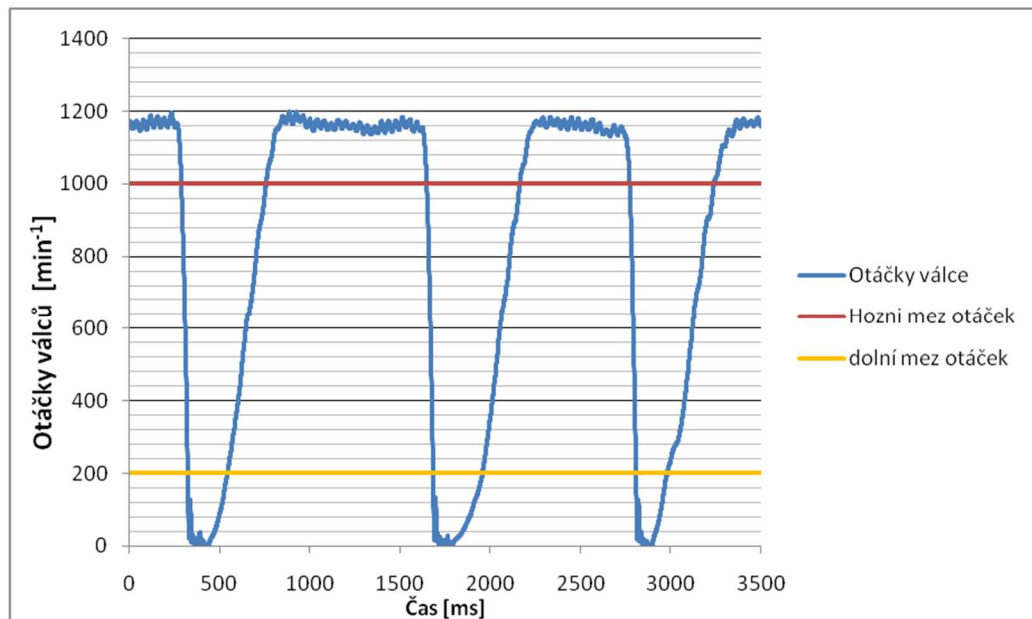
$t_i$  – čas impulsu v pořadí  $i$  [-]

$d$  – průměr válce [m]

## 5.1 Zpracování naměřených hodnot

Pro hodnocení vlivu nerovnosti přední a zadní nápravy je nutnou stanovit hodnoty brzdných síl. Ty se budou vypočítávat ze vztahu (5). Pro výpočet zrychlení je uvažován rozsah otáček od 200 min<sup>-1</sup> až do 1000 min<sup>-1</sup> z každého sešlápnutí brzdového pedálu. Rozsah otáček je volen tak, aby výpočet nebyl ovlivňován náběhem a doběhem brzdění. Na obrázku č. 17 je vidět průběh otáček v závislosti na čase s vymezením horní a dolní meze otáček.

Obr. 17 - Graf závislosti otáček na čase



Brzdná síla je dána vztahem (5)

$$F_b = a_z \cdot m_s \text{ [N]} \quad (5)$$

$F_b$  – brzdná síla [N]

$a_z$  – zpomalení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$m_s$  – hmotnost pohybujících se částí redukována na obvod válců [kg]

Hmotnost pohybujících se částí změřená na válcové zkušebně byla převzata z předchozího měření. Vstupní a výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 7. Měření provedl Ing. Daniel Mader.

**Tab. 7 - Hodnoty setrvačnosti**

Pravé přední kolo	
Setrvačnost [kg.m <sup>2</sup> ]	0,07
Hmotnost na obvodu kola [kg]	48,3
Levé přední kolo	
Setrvačnost [kg.m <sup>2</sup> ]	0,06
Hmotnost na obvodu kola [kg]	44,8
Pravé zadní kolo	
Setrvačnost [kg.m <sup>2</sup> ]	0,07
Hmotnost na obvodu kola [kg]	49,0
Levé zadní kolo	
Setrvačnost [kg.m <sup>2</sup> ]	0,08
Hmotnost na obvodu kola [kg]	53,4

### 5.1.1 Měření brzdné síly na rovině

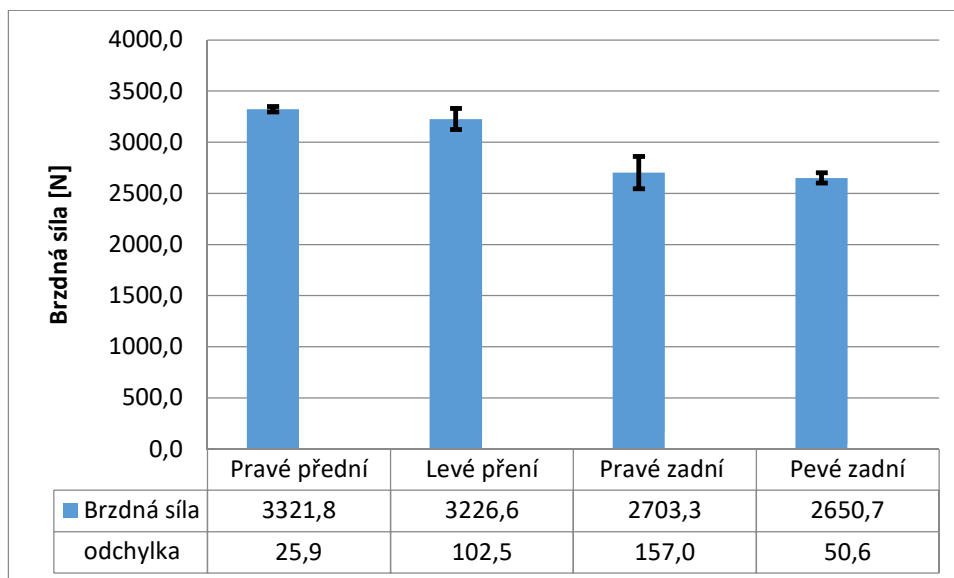
Vyhodnocení brzdného účinku na rovném podkladu slouží jako kontrolní. S výsledky vypočítaných sil se budou porovnávat hodnoty z měření při vyvýšené přední a následně zadní nápravě vozidla. Brzdná síla byla vypočtena z hodnot zpomalení válců při brzdění a hodnot zrychlení při rozběhu válců. Data v tabulce č. 8 byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel. Výpočet brzdné síly vychází ze vztahu (5). V tabulce je uvedena hodnota směrodatné odchylky pro jednotlivé brzdné síly. Směrodatná odchylka byla počítána funkcí SMODCH.VÝBĚR.

**Tab. 8 - Hodnoty 1. měření**

Pravé přední kolo měření na rovině								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1540,5	346,2	-58,5	13,2	71,7	3288,5	3321,8	25,9
2	-1543,4	364,5	-58,7	13,9	72,5	3325,4		
3	-1537,1	385,9	-58,4	14,7	73,1	3351,6		
Levé přední kolo měření na rovině								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1493,2	294,0	-56,7	11,2	67,9	3115,0	3226,6	102,5
2	-1512,8	324,7	-57,5	12,3	69,8	3202,5		
3	-1572,8	356,4	-59,8	13,5	73,3	3362,5		
Pravé zadní kolo měření na rovině								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1129,9	395,5	-42,6	13,8	56,4	2586,7	2703,3	157,0
2	-1123,0	430,9	-49,1	14,7	63,8	2925,2		
3	-1057,6	425,6	-41,1	15,5	56,6	2598,0		
Levé zadní kolo měření na rovině								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1120,6	363,5	-42,9	15,0	58,0	2658,6	2650,7	50,6
2	-1292,5	385,9	-42,7	16,4	59,0	2708,4		
3	-1081,5	409,0	-40,2	16,2	56,4	2585,1		

Po zpracování dat z jednotlivých měření dané polohy vozidla je vidět dobrá souměrnost brzdných sil na nápravě. Lze tedy uvažovat, že brzdový systém automobilu je v pořádku a tedy i pro ostatní způsoby měření by brzdné síly na přední i zadní nápravě měly vycházet bez velkých rozdílů. Hodnoty z tabulky č. 8 jsou zobrazeny graficky na obrázku č. 18. Rozdíl brzdných sil pravého a levého kola na přední nápravě je 95,2 N, u zadní nápravy rozdíl činí 52,6 N.

**Obr. 18 - Výsledné porovnání sil 1. měření**



### 5.1.2 Měření brzdné síly do kopce

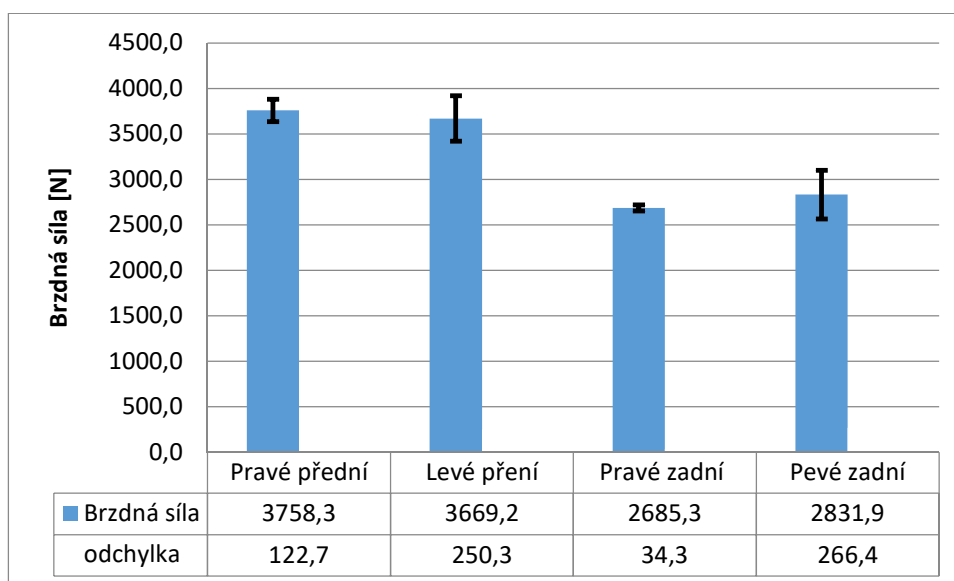
Toto měření vychází z předpokladu, kdy bude vozidlo zastaveno při cestě do kopce. Situace byla realizována podložním předních kol do výšky 150 mm. Měření a vyhodnocení výsledku probíhalo obdobně, jako při měření, kdy byla kola ve stejné výšce. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 9.

**Tab. 9 - Hodnoty 2. měření**

Pravé přední kolo měření do kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1765,1	358,5	67,1	-13,6	80,7	3701,3	3758,3	122,7
2	-1757,6	333,6	66,8	-12,7	79,5	3644,8		
3	-1900,3	353,9	72,2	-13,4	85,7	3928,7		
Levé přední kolo měření do kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-2096,0	212,2	79,6	-8,1	87,7	4023,0	3669,2	250,3
2	-1801,8	206,0	68,5	-7,8	76,3	3499,4		
3	-1812,9	186,7	68,9	-7,1	76,0	3485,1		
Pravé zadní kolo měření do kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1256,2	257,6	47,7	-9,8	57,5	2638,5	2685,3	34,3
2	-1286,0	274,6	48,9	-10,4	59,3	2719,9		
3	-1287,4	260,2	48,9	-9,9	58,8	2697,4		
Levé zadní kolo měření do kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1452,2	352,0	56,1	-13,4	69,5	3186,3	2831,9	266,4
2	-1182,1	404,7	44,9	-15,4	60,3	2765,6		
3	-1043,2	416,3	39,6	-15,8	55,5	2543,8		

Jsou-li zhodnocena vypočtená data ze simulace měření, kdy by vozidlo zastavilo směrem do kopce, je patrné, že rozdíl mezi koly na nápravách jsou opět malé. Při porovnání přední nápravy bylo dosaženo rozdílu 89,1 N. Rozdíl na zadní nápravě je o něco více viditelný, hodnota brzdné síly na levém kole je 2831,9 N a na pravé 2685,3 N. Jsou-li odečteny obě hodnoty, je dosaženo rozdílu 146,6 N. Grafické znázornění je uvedeno na obrázku č. 19.

**Obr. 19 - Výsledné porovnání sil 2. měření**



### 5.1.3 Měření brzdné síly z kopce

Simulace, kdy vozidlo zastaví směrem z kopce, byla provedena s podloženými zadními koly vozidla opět do výšky 150 mm. Měření opět probíhalo postupně na všech kolech vozidla. Zpracování a vyhodnocení výsledků je zobrazeno v tabulce č. 10.

**Tab. 10 - Hodnoty 2. měření**

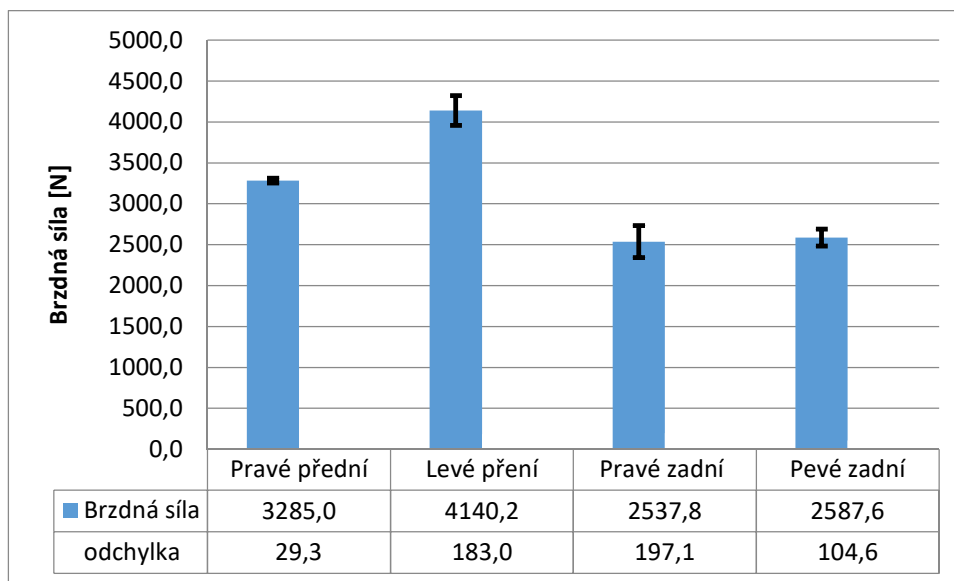
Pravé přední kolo měření z kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1780,0	297,3	60,1	-11,0	71,1	3263,0	3285,0	29,3
2	-1799,7	309,9	61,1	-11,5	72,5	3326,4		
3	-1836,1	246,4	62,0	-9,2	71,2	3265,5		
Levé přední kolo měření z kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-2237,6	270,0	85,0	-10,3	95,3	4370,6	4140,2	183,0
2	-2107,9	260,0	80,1	-9,9	90,0	4127,1		
3	-1982,6	268,1	75,3	-10,2	85,5	3922,8		
Pravé zadní kolo měření z kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1202,6	391,2	45,7	-14,9	60,6	2777,9	2537,8	197,1
2	-907,1	409,8	34,5	-15,6	50,0	2295,2		
3	-1043,5	414,1	39,7	-15,7	55,4	2540,4		
Levé zadní kolo měření z kopce								
měření	zpomalení [rad/s]	zrychlení [rad/s <sup>2</sup> ]	zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Výpočtové zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Brzdná síla [N]	Výsledná síla [N]	Směrodatná Odchylka [N]
1	-1135,0	379,1	43,1	-14,4	57,5	2638,9	2587,6	104,6
2	-1063,9	337,1	40,4	-12,8	53,2	2441,8		
3	-1182,3	356,6	44,9	-13,5	58,5	2682,1		

Posouzením hodnot brzdných sil je na první pohled zřejmé, že u levého předního kola došlo k výrazné odlišnosti hodnot. Brzdná síla byla vypočtena 4140,2 N. Je-li porovnána síla s hodnotou u pravého kola bylo dosaženo rozdílu 855,3 N. Výsledky předchozích dvou měření ukazují, že síly na nápravě se od sebe liší s malou odchylkou. Dá se z toho tedy usuzovat, že automobil je v pořádku a chyba musela nastat při měření. Tento fakt potvrzuje i to, že z časové posloupnosti bylo měření v této poloze prováděno jako první ze všech třech. Tedy by se měl vliv chyby promítnout i do ostatních dvou měření. Velký rozptyl hodnot mohl být způsoben při sešlapování brzdového pedálu, jelikož



nebyl použit pedometr a bylo na operátorovi, jakou intenzitou bude na pedál působit. Pro ověření této skutečnosti by muselo proběhnout opravné měření. Rozdíl sil na zadní nápravě je 49,8 N. Jednotlivé síly jsou graficky vyneseny na obrázku č. 11.

**Tab. 11 - Výsledné porovnání sil 3. měření**



## 5.2 Hodnocení vlivu polohy na brzdou sílu

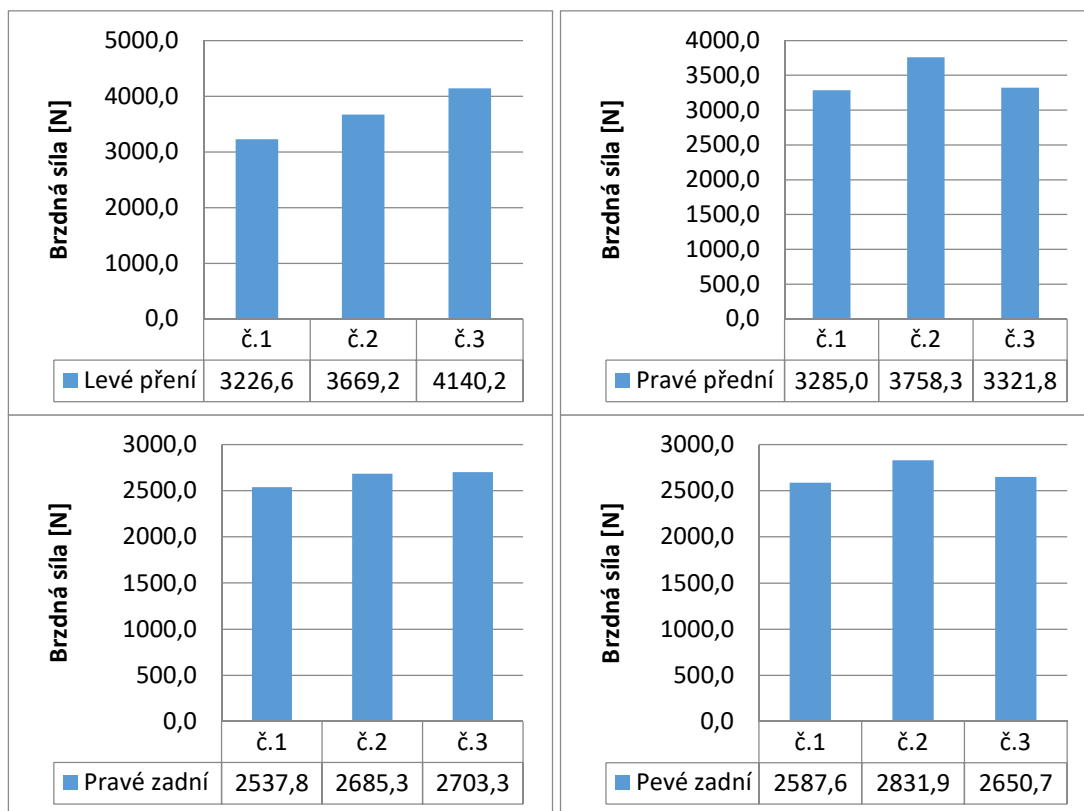
V tabulce č. 12 jsou zobrazena souhrnná data ze všech třech měření, kdy první dále označováno jako č. 1, bylo provedeno bez podložení náprav, č. 2 s podloženou přední nápravou a č. 3 bylo měřeno s vyvýšenou zadní nápravou.

**Tab. 12 – Celkové hodnocení brzdných sil jednotlivých kol**

	Brzdná síla [N]			
	kolo			
	Právě přední	Levé pření	Právě zadní	Právě zadní
Rovina	3285,0	3226,6	2537,8	2587,6
Do kopce	3758,3	3669,2	2685,3	2831,9
Z kopce	3321,8	4140,2	2703,3	2650,7
Průměr	3455,0	3678,7	2642,1	2690,1
Rozdíl	473,3	913,5	165,5	244,3
Rozdíl v %	13,7%	24,8%	6,3%	9,1%

Původní předpoklad byl, že vlivem sklonu vozidla dojde k posunutí těžiště vozu. Změnou těžiště by došlo k odlehčení resp. k navýšení zatížení jedné z náprav, což by mělo za následek změny ovlivnění brzdné síly. Na obrázku č. 20 jsou graficky porovnány rozdíly mezi jednotlivými koly v závislosti na měřené poloze. Lze konstatovat nárůst brzdné síly vlivem zatížení, největší rozdíl je pozorovaný na levém předním kole, kde rozdíl mezi maximální a minimální silou vychází 913,5 N, v přepočtu jde o 24,8 %. K tomuto velkému rozdílu, jak již bylo zmíněno, mohla přispět chyba měření. Dalším možným vysvětlením by mohl být prokluz řemenu. Ten je napínán pouze pohybem ložisek válce nebo elektromotorem. Tomu nasvědčuje i fakt že na válcových zkušebnách se používají řetězy, protože řemeny mohou prokluzovat. Poslední možností čím by mohl být rozdíl vysvětlen, je že při kontrolním měření na rovině byl ve vozidle jiný operátor než při ostatních měření. Na ostatních kolech se rozdíl pochyboval v rozmezí 6 - 14 %, což lze považovat u mobilní zkušebny jako zanedbatelné, zvláště pak, když byl volen sklon svahu jako extrémně velký.

**Obr. 20 - Celkové grafické porovnání brzdny sil**



Na základě tabulky č. 12 a obrázku č. 20 a s faktem, že měření č. 3 na levém kole neproběhlo zcela správně, lze vyjádřit závěr, že ovlivnění vlivem nerovnosti přední a zadní nápravy je do 15 %. Pro účel použití válcové zkušebny při silniční kontrole, kde hlavním účelem by mělo být odhalit zcela nevyhovující brzdny systém vozidla, by mohla být zkušebna vyhovující. Tomu závěru by mohl napomáhat i fakt, že zkouška funkčnosti brzdnyho systému nebude probíhat na svahu se sklonem téměř 6%, který byl stanoven pro účel této práce.

### **5.3 Opakovatelnost měření**

Pro stanovení opakovatelnosti byla naměřena sada dvanácti hodnot úhlového zrychlení odpovídající sešlápnutí brzdového pedálu. Z těchto hodnot zrychlení byla počítána brzdny síla, která je předmětem opakovatelnosti. Pro účely stanovení opakovatelnosti bylo vybráno pravé zadní kolo vozidla. Měření pak probíhalo obdobně jako při hodnocení vlivu sklonu vozidla.

Pro hodnocení opakovatelnosti byla zvolena metoda statistické analýzy, která se zakládá na splnění následujících předpokladů. Pořadí hodnoty na sobě nesmí být závislé. Druhou podmínkou je, že musí naměřené hodnoty pocházet z normálového rozdělení. A poslední podmínkou je dostatečné množství dat. Tyto podmínky jsou dány programem Statistica 12, který byl vybrán pro hodnocení opakovatelnosti vypočtených hodnot.

V tabulce č. 13 jsou uvedené hodny pro statistickou analýzu v pořadí, v jakém byla data naměřena. Sloupce odpovídají číslu měření a v řádcích jsou vypočtené hodnoty brzdny síly. K posouzení bylo nutné spočítat průměrnou hodnotu a směrodatnou odchylku, tyto hodnoty byly vypočteny pomocí programu Microsoft Excel.

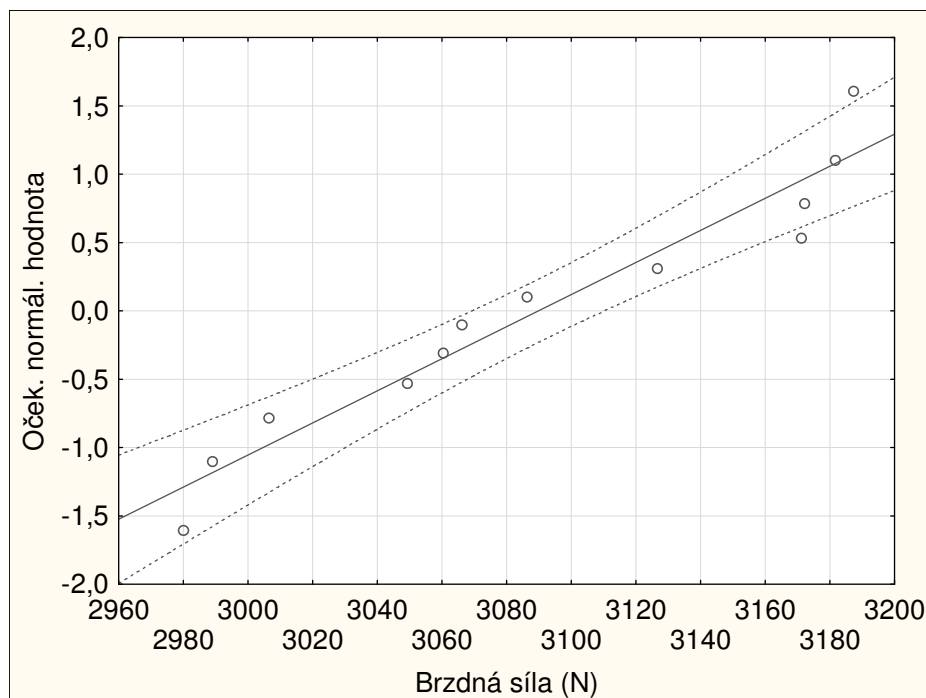
**Tab. 13 - Vypočtené hodnoty brzdných sil**

	Číslo měření					
	1	2	3	4	5	6
Brzdná síla [N]	2980,00	2989,05	3181,73	3066,22	3187,31	3060,47
	Číslo měření					
	7	8	9	10	11	12
Brzdná síla [N]	3126,64	3171,24	3006,46	3086,28	3049,31	3172,18

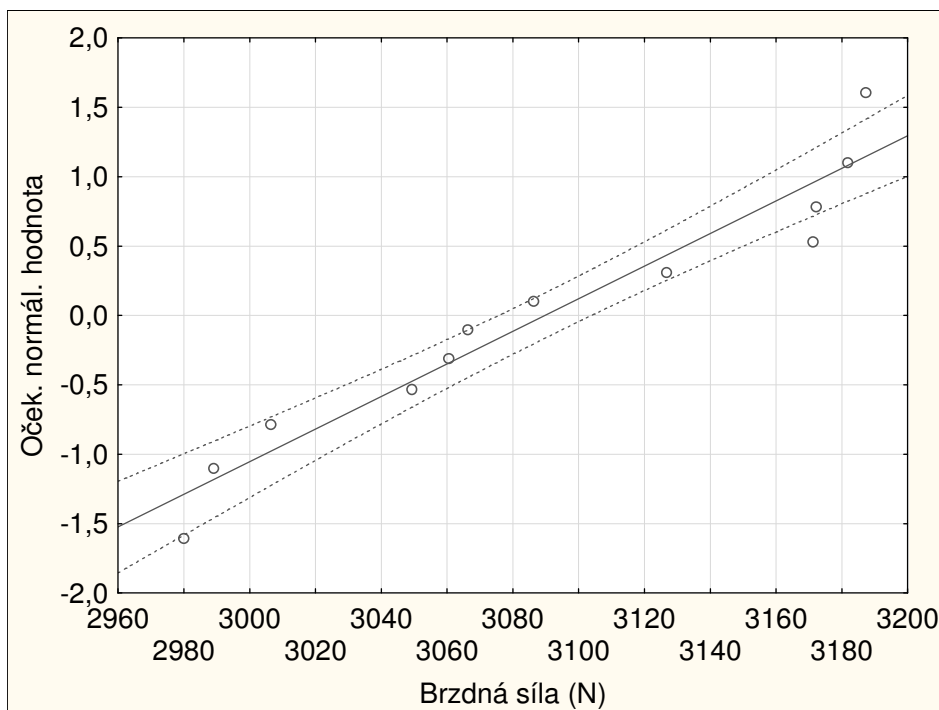
Průměrná síla [N]	3089,74
Směrodatná odchylka [N]	76,84

Z programu Statistica 12 jsou získané hodnoty normálového rozdělení, předpokládá se zde, že data normálového rozdělení budou mít přímkovou závislost. Na obrázku č. 21 je zobrazen graf pro normálové rozložení z brzdné síly s regresivními pásy na hladině 0,95. Obrázek č. 22 zobrazuje stejného hodnoty brzdné síly s pásy regrese na hladině 0,99

**Obr. 21 - Normálové rozdělení na hladině 0,95**

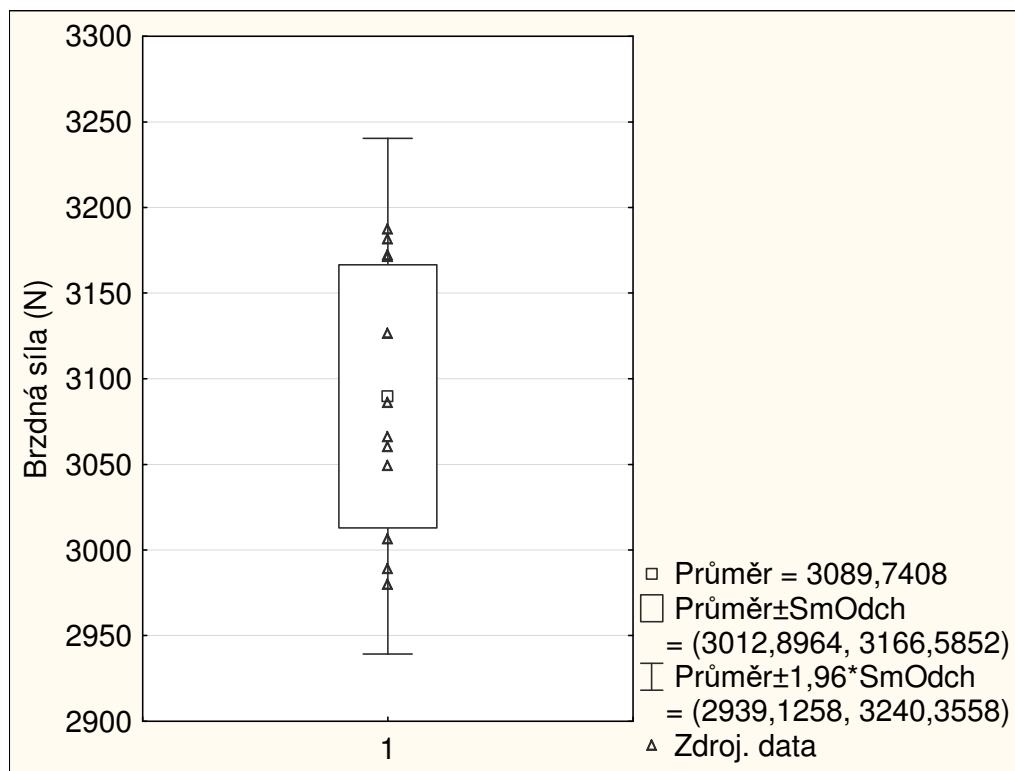


**Obr. 22** - Normálové rozdělení na hladině 0,99



Jsou li zhodnocena data normálového rozdělení z obrázků č. 21 a č. 22, lze pozorovat, že hodnoty tvoří přímkovou závislost. Téměř všechny hodnoty se nacházejí v intervalu stanovenými regresivními pásy anebo v těsné blízkosti jednotlivých hranic. Lze tedy konstatovat, že data tvoří normálové rozdělení.

**Obr. 23** - krabicový graf normálového rozdělení



#### 5.4 Hodnocení opakovatelnosti měření

Opakovatelnost je přesnost stanovená za nejlepších možných podmínek a měří velikost náhodné chyby zahrnutou ve výsledcích metody. Statisticky představuje přesnost rozptylu výsledků kolem průměru, bez ohledu na to, jak správně průměr reprezentuje správnou hodnotu měřené veličiny. Vypočítaná průměrná hodnota brzdě síly ze všech dvanácti měření podle programu Statistica 12 vychází 3089,74 N, se směrodatnou odchylkou 76,84 N. Hodnoty normálového rozptylu jsou skoro všechny v oblasti či blízko hranic regresivních křivek, tím by mohla být prokázána značná míra opakovatelnosti. To lze sledovat i na krabicovém grafu obrázku č. 23, jednotlivá data se nacházejí okolo průměrně hodnoty.

Pro potvrzení zda se hodnoty vypočítaných brzděných sil nacházejí okolo průměrné hodnoty, byl použit statistický jednovýběrový T-test. Prakticky to znamená, že T-testem se ověří, zda opakované měření se v průměru neodchyluje od stanovené konstantní hodnoty.

V tomto případě byla konstantní hodnota zvolena jako střední hodnota z vypočtených hodnot brzdě síly, která je rovna 3076,25 N. V testu se ověřuje hypotéza, že výběrový soubor dat pochází se souboru, který má stejnou střední hodnotu. Tedy testuje se nulová hypotéza:

$$H_0: \mu = \mu_0 - \text{brzdě síla je shodná se střední hodnotou}$$

$$\mu_0 = 3076,25 \text{ N}$$

Hladina významnosti byla zvolená 0,05. Výpočet byl proveden v programu Statistica 12, výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 14.

**Tab. 14 - výsledky T testu**

Mean	Std.Dv.	N	Std.Err.	Reference Constant	t-value	df	p
3089,417	76,75043	12	22,15594	3076,000	0,605556	11	0,557097

Pro statistiku  $t$  se vycházelo z tabulky studentova rozdělení. [28]. Pro dvanáct měření a hladinu významnosti je hodnota statistiky:

$$t_{0,05(11)} = 2,201$$

Výsledným hodnocení je porovnání hodnoty statistiky studentova  $t$  rozdělení s absolutní hodnotou statistiky v tabulce č. 14 získanou výpočtem.

$$|t| < t_{0,05(11)}$$

$$0,605 < 2,201$$

Porovnání hodnot statistik  $t$  je na první pohled zřejmé, že vypočtená hodnota statistiky je větší než studentovo rozdělení. Z tohoto porovnání vyplývá nevýznamný statistický rozdíl. Lze tedy konstatovat, že hodnoty jednotlivých brzdě síl ze souboru měření, jsou v blízkosti střední hodnoty. Z tohoto tvrzení lze vyvodit závěr, že je prokázána opakovatelnost měření na mobilní válcové zkušebně.

## 6. Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na posouzení funkčnosti mobilní brzdové válcové zkušebny. Tímto posouzením je myšleno ověření způsobilosti použití zkušebny, kdy bylo simulováno, vliv sklonu vozovky na brzdový účinek vozu. První část této práce je věnována současným rozborem brzdových systémů vozidel. Od základního rozdělení brzdových soustav, přes nejčastěji používané druhy brzd, materiály třecích součástí a elektronických systémů. Dále je rozváděna problematika diagnostiky brzdového ustrojí typu jednotlivých zkušeben. V závěru první části je uvedena legislativa ke zkoušení brzd.

Ve druhé části je popsána simulace, kdy je vozidlo zastaveno v kopci a je na něm prováděna zkouška brzdového systému. Před samotnou simulací bylo nutné stanovit sklon vozovky. Pro tento experiment byly použity palety s výškou 150 mm. Sklon vozovky tak odpovídá 5,7 %. Byly simulovány dva případy, první kdy vozidlo zastaví směrem z kopce, druhý, kdy vozidlo zastaví do kopce. Třetí a zároveň kontrolní měření probíhalo na rovině.

Dynamická metoda byla provedena na všech kolech vozu a při všech třech případech simulace. Výsledkem je porovnáním brzdných sil jednotlivých kol při všech třech typech měření. Z celkového srovnání vychází rozdíl na jednotlivých kolech v rozmezí 6-14%. Konkrétní hodnoty mezi jednotlivými koly jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Z výsledku měření je potvrzeno, že sklon 5,7 % ať už v případě z kopce nebo do kopce nemá zásadní vliv na brzdnou sílu.

Ve druhé části měření byla posuzována opakovatelnost prováděné zkoušky. Pro účel hodnocení byla naměřena sada dvanácti hodnot brzdného zpomalení a z nich vypočteny hodnoty brzdných sil. Pro hodnocení byla stanovena průměrná hodnota brzdné síly 3089,74 N. Opakovatelnost je dána normálovým rozdělením, kdy jednotlivé hodnoty se nacházejí na hladinách regrese 0,95 a 0,99 nebo v její blízkosti. Tento fakt je i potvrzen jednovýběrovým T-testem.

Tato práce by měla přispět k bezpečnosti silničního provozu. Zkoušky provedené na mobilní brzdové zkušebně mají sloužit k ověření její funkčnosti.



## 7. Citovaná literatura

- [1] - **JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J.**, *Automobily*. Brno : Avid, 2007.
- [2] - **VLK, F.**, *Podvozky motorových vozidel* 2. vyd. Brno : František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9.
- [3] - **FLEIŠMAN, L.**, Střední průmyslová škola Ostrava. *spszengrova.cz*. [Online] 29. 07 2012. [Citace: 05. 01 2020.] Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/PRA/Mont%C3%A1%C5%BEe%20-%20Brzdy-UT.pdf>.
- [4] - **JAN, Z., a ŽDÁNSKÝ, B.**, *Automobily 1 - podvozy* 2. vydání. Brno : Avid, 2001.
- [5] - **BOSH**. *motofocus.cz*. [Online] 22. 06 2015. [Citace: 05. 01 2020.] Dostupné z: <https://motofocus.cz/technika/6020,bosch-posilovac-brzd-je-vyznamnym-pomocnikem>.
- [6] - **Automobilová technika**. *https://aa.bosch.cz/*. [Online] [Citace: 12. 10 2019.] Dostupné z: <https://aa.bosch.cz/download/Brzdove-systemy/produktove-informace.pdf>.
- [7] - **AutoZnalosti**. *http://www.autoznalosti.cz. AutoZnalosti*. [Online] 12. 12 2011. [Citace: 12. 10 2019.] Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/39-brzdyii.html>.
- [8] - **BROŽ, J., TRNKA, L.**, *Znalec.tym*. [Online] [Citace: 12. 10 2019.] Dostupné z: <http://www.znalec.tym.cz/brzdy%201.pdf>.
- [9] - **BROŽ, J., TRNKA, L.**, *Praktická dílna: Brzdové systémy*. 2007 č.11/2007, *autoexpert* 2007, 2007.
- [10] - **POSPÍŠIL, J.**, *Brzdové kapaliny*. 2019 č. 7,8, *Autoexpert*. 2009.
- [11] - **Autokšeft**. *Brzdová kapalina*. [Online] [Citace: 02. 03 2020.] Dostupné z: <https://www.autokseft.cz/Info/Brzdova-kapalina-73>.

- [12] - **ARKEBORO**. Brakes for Automobiles. *Arkebono-brakes.com*. [Online] [Citace: 03. 02 2020.] Dostupné z: [https://www.akebono-brake.com/english/product\\_technology/product/automotive/](https://www.akebono-brake.com/english/product_technology/product/automotive/).
- [13] - **PUHN, F.**, *BRAKE HANDBOOK*. Tucson : HPBook, 1985. ISBN 0-89586-232-8.
- [14] - **JAN, Z., a kolektiv**. *Autodíly díl 1. - Podvozek a převodové ústrojí*. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, 2003. ISBN 80-720-426-29.
- [15] - **Auto.cz**. [Online] 2014. [Citace: 07. 11 2019.] Dostupné z: <http://www.auto.cz/kotoucové-brzdy-motor-vas-nezastavi-81290>.
- [16] - **BREMBO.**, How disc face types (slot / groove types) affect brake performance. [Online] 29. 06 2016. [Citace: 13. 10 2019.] Dostupné z: <https://www.brembo.com/en/company/news/brembo-brake-discs-type-performance>.
- [17] - **E-konstruktor**. *Jaký je rozdíl mezi třecími a regenerativními brzdami u aut*. [Online] 24. 04 2016. [Citace: 27. 02 2020.] Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-trecimi-a-regenerativnimi-brzdami-u-aut>.
- [18] - **ABS, Systémy**. [Online] 2010. [Citace: 13. 02 2020.] Dostupné z: <https://www.automoto special.cz/technika/bosch/historie-abs-2010-/>>.
- [19] - **VLK, F.** *Elektronické systémy motorových vozidel*. Brno : František Vlk nakladatelství a vydavatelství, 2002. ISBN 80-238-7282-6.
- [20] - **POŠTA, J., PEJŠA, L.**, Diagnostika účinku vozidlových brzd na rychloběžných válciích. [Online] Technická fakulta ČZU v Praze. [Citace: 15. 12 2019.] Dostupné z: [http://josef.posta.sweb.cz/publik/Pub\\_141.htm](http://josef.posta.sweb.cz/publik/Pub_141.htm).
- [21] - **Esipa.**, (EHK OSN) č. 13. *Esipa Sbírka zákonů a dalších právních předpisů*. [Online] 18. 02 2016. [Citace: 2020. 03 05.] Dostupné z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42016X0218\(01\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42016X0218(01)).
- [22] - **VLK, F.**, *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno : František Vlk , 2001. ISBN 80-238-6573-0.

- [23] - **VLK, F.**, *Diagnostika motorových vozidel*. Brno : František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7064-X.
- [24] - **VAMAG**. VAMAG Tecniche Di Collaudo. [Online] [Citace: 12. 03 2020.] Dostupné z: <http://www.vamag.com/en/pagina/173-brake-tester>.
- [25] - **LEVENTA**. A comparison of brake testers. *LEVENTA Superior Workshop Solutions*. [Online] 11. 10 2019. [Citace: 05. 01 2020.] Dostupné z: <https://news.levanta.com.au/a-comparison-on-brake-testers>.
- [26] - **VLK, F.** Dynamika motorových vozidel 1.vydání. Brno : autor neznámý, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [27] - **ŠKODA AUTO**. *skoda-auto.cz*. [Online] ŠKODA AUTO. [Citace: 29. 02 2020.] Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/karoq/karoq/karoq-rozmary>.
- [28] - **SVATOŠOVÁ, L.** *Příklady ze statistiky*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009. ISBN 978-80-231-1467-2.
- [29] - **VACEK, Z.** *Velké dějiny maličkosti*. Praha 2007 : Axel Springer Praha a.s., 2007. ISBN 0039 - 7016.
- [30] – **SAJDL, J.**, autolexicon *www.autolexicon.net*. . [Online] 12. 12 2011. [Citace: 12. 10 2019.] Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdovy-asistent/>.
- [31] – **JADHAV. S.P. SAWANT. S.H.**, Materials Today: Proceedings. [Online] 06 2019. [Citace: 02. 10 2019.] Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S2214785319320772>.
- [32] – **HENDRE K.N., BACHCHHAV B.D.**, Screening of Organic Brake Pad Materials Using MADM Technique. [Online] 10. 06 2019. [Citace: 03. 04 2020.] Dostupné z: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8196-6\\_40#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8196-6_40#citeas) ISBN 978-981-13-8196-6

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1 - <i>Hydraulická brzdová soustava</i> .....	3
Obr. 2 - <i>Brzdový posilovač</i> .....	4
Obr. 3 - <i>Dvouokruhový brzdový válec</i> .....	6
Obr. 4- <i>Konstrukce bubnové brzdy</i> .....	9
Obr. 5 - <i>Jednotlivé typy bubnových brzd</i> .....	10
Obr. 6 - <i>Kotoučová brzda</i> .....	12
Obr. 7 - <i>Jednotlivé druhy brzdových kotoučů</i> .....	14
Obr. 8 – <i>ABS</i> .....	18
Obr. 9 - <i>Schéma válcové zkušebny</i> .....	22
Obr. 10 – <i>Dvou-desková plošinová brzdová zkušebna</i> .....	25
Obr. 11 - <i>Měření brzdné síly</i> .....	30
Obr. 12 - <i>Konstrukce prototypu mobilní válcové zkušebny</i> .....	32
Obr. 13 - <i>Čidlo otáček</i> .....	33
Obr. 14 - <i>Měřicí jednotka</i> .....	35
Obr. 15 - <i>Frekvenční měnič</i> .....	36
Obr. 16 - <i>Záznamové zařízení</i> .....	37
Obr. 17 - <i>Graf závislosti otáček na čase</i> .....	40
Obr. 18 - <i>Výsledné porovnání sil 1. měření</i> .....	43
Obr. 19 - <i>Výsledné porovnání sil 2. měření</i> .....	45
Obr. 20 - <i>Celkové grafické porovnání brzdny sil</i> .....	48
Obr. 21 - <i>Normálové rozdělení na hladině 0,95</i> .....	50
Obr. 22 - <i>Normálové rozdělení na hladině 0,99</i> .....	51
Obr. 23 - <i>krabicový graf normálového rozdělení</i> .....	52

## 9. Seznam tabulek

Tab. 1 - <i>Provozní brzdění</i> .....	27
Tab. 2- <i>Parametry elektromotoru</i> .....	33
Tab. 3 - <i>Parametry čidla otáček</i> .....	34
Tab. 4 - <i>Parametry frekvenčního měniče</i> .....	35
Tab. 5 - <i>Parametry měřeného vozidla</i> .....	37
Tab. 6 – <i>Tabulka ukázky hodnot pro výpočet</i> .....	38
Tab. 7 - <i>Hodnoty setrvačnosti</i> .....	41
Tab. 8 - <i>Hodnoty 1. měření</i> .....	42
Tab. 9 - <i>Hodnoty 2. měření</i> .....	44
Tab. 10 - <i>Hodnoty 2. měření</i> .....	46
Tab. 11 - <i>Výsledné porovnání sil 3. měření</i> .....	47
Tab. 12– <i>Celkové hodnocení brzdných sil jednotlivých kol</i> .....	47
Tab. 13 - <i>Vypočtené hodnoty brzdných sil</i> .....	50
Tab. 14 - <i>výsledky T testu</i> .....	53

## 10. Seznam použitých zkratek a jednotek

$d_m$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]	..... Střední plné brzdné zpomalené
$v_o$ [ $\text{km/h}$ ]	..... Počáteční rychlost vozidla
$v_b$ [ $\text{km/h}$ ]	..... Rychlost vozidla při 0,8 $v_o$
$v_e$ [ $\text{km/h}$ ]	..... Rychlost vozidla při 0,1 $v_o$
$s_b$ [ $\text{m}$ ]	..... Dráha, kterou vozidlo ujede mezi $v_o$ a $v_b$
$s_e$ [ $\text{m}$ ]	..... Dráha, kterou vozidlo ujede mezi $v_o$ a $v_e$
$h$ [ $\text{m}$ ]	..... Výška palety
$l$ [ $\text{m}$ ]	..... Rozvor automobilu
$n_v$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	..... Otáčky
$I_i$ [-]	..... Číslo impulsu v pořadí $i$
$t_i$ [-]	..... Čas impulsu v pořadí $i$
$a_z$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]	..... Zrychlení
$n_v$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	..... Otáčky v intervalu $i$
$t_i$ [-]	..... Čas impulsu v pořadí $i$
$d$ [ $\text{m}$ ]	..... Průměr válce
$F_b$ [ $\text{N}$ ]	..... Brzdná síla
$a_z$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]	..... Zpomalení
$m_s$ [ $\text{kg}$ ]	..... Hmotnost pohybujících se částí redukována na obvod válců
$t$ [-]	..... Statistika