



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND
VEHICLE ASSESSMENT

ANALÝZA VZNIKU BLOKOVACÍCH STOP V ZÁVISLOSTI NA ZPOMALENÍ VOZIDLA

BRAKING MARKS CREATION ANALYSIS IN DEPENDENCE OF VEHICLE DECELERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Lukáš Svoboda
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21
Ústav:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

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

Analýza vzniku blokovacích stop v závislosti na zpomalení vozidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat analýzou vlivu intenzity brzdění na vznik blokovacích stop na různých površích vozovek za přesně popsanych podmínek.

Cíle diplomové práce:

Práce je zaměřena na měření s cílem analyzovat závislost zanechání blokovacích stop na intenzitě zpomalení různých vozidel, druhů povrchů vozovek a pneumatik. Navrhnout omezovač intenzity brzdění (stlačení brzdového pedálu) tak, aby mohlo být zjištěno, při jakém zpomalení vznikají za přesně popsanych podmínek na vozovce blokovací stopy. Z provedených měření zpracovat konkrétní závěry, tyto analyzovat a zobecnit vliv intenzity brzdění vozidla na zanechání blokovacích stop.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, Brno 1999
- [2] STEFAN, H.: PC-Crash simulační program pro analýzu nehod, Dr. Steffan Datentechnik, Linc, Austria 2010, včetně katalogu EES AZT 2004
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ: Automobily 1 až 6. Avid, spol. s r.o. Brno 2007, 2008
- [4] VLK, F.: Teorie a konstrukce motocyklů 1, 2. Vlastním nákladem. Brno 2004
- [5] VLK, F.: Stavba motorových vozidel. Vlastním nákladem, Brno 2003
- [6] VLK, F.: Automobilová technická příručka. Vlastním nákladem, Brno 2003
- [7] VÉMOLA, A., TOKAŘ, S.: Teorie vozidel, Brno 2017

[8] VÉMOLA, A.: Diagnostika automobilů I, II, Littera, Brno 2006

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
vedoucí odboru

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Práce se dělí na teoretickou a praktickou část. V první, teoretické části práce uvede čtenáře do dané problematiky a seznámí ho se základy fyziky působící v přímočarém neboli translačním pohybu vozidla a během jeho brzdění, jako je rozdělení pojmů adheze a tření, skluz, prokluz, jízdní odpory, výpočtové vztahy a jiné. Po kapitole mechaniky vozidla následují dvě pro tuto problematiku klíčové kapitoly, a těmi je kapitola o pneumatice, jejím složení a vlastnostech, a kapitola o ABS a jiných podstatných podpůrných brzdných systémech.

Praktická část se zabývá měřením zpomalení, pozorování tvorby kluzné stopy na vozovce a následným vyhodnocením dat ve formě výpočtů a grafů.

Abstract

The work is divided into two parts – theoretical and practical. The first, theoretical part is focused on introduction with the problematics, describing the concept of translation motion and brake physics, defining terms adhesion and friction, skid, driving resistances, calculation formulas etc. After the mechanics chapter follows the chapter about tire and its composition and properties, and a brake system chapter, describing Anti-lock brake system (ABS) and some other important brake-support systems.

Second part of this thesis is focused on practical side, which contains acceleration measuring and skid marks creation, followed by evaluation of measured data in form of calculations and graphs.

Klíčová slova

Tření, adheze, skluz, jízdní odpory, translační pohyb, brzdné systémy, ABS, pneumatika, brzdná síla.

Key words

Friction, adhesion, skid, driving resistances, translation motion, brake systems, ABS, tire (tyre), brake force.

Bibliografická citace

SVOBODA, Lukáš. *Analýza vzniku blokových stop v závislosti na zpomalení vozidla*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127891>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Aleš Vémola.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza vzniku blokovací stopy v závislosti na zpomalení vozidla jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11a následujících autorského zákona č.121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Aleši Vémolovi a Ph.D. Martinu Bilíkovi za poskytnutí cenných rad, vedení diplomové práce a za spolupráci během měření.

V Brně dne

.....

Podpis autora

OBSAH

OBSAH.....	5
1 ÚVOD.....	8
2 SOUČASNÝ STAV.....	9
2.1 Základy mechaniky brzdění pro translační pohyb.....	11
2.1.1 Tření.....	11
2.1.2 Klopný moment.....	13
2.1.3 Skluz.....	14
2.1.4 Součinitel adheze.....	14
2.1.5 Stabilita při brzdění v přímočarém pohybu.....	17
2.1.6 Translační pohyb – základní veličiny a vztahy ^[2]	20
2.2 Plášť Pneumatiky.....	21
2.2.1 Složení pláště pneumatiky.....	21
2.2.2 Konstrukce pláště pneumatiky.....	24
2.3 ABS – Anti-lock Brake System.....	29
2.3.2 Funkce ABS.....	32
2.3.3 Typy ABS.....	33
3 MĚŘENÍ.....	35
3.1 Popis Místa měření.....	35
3.2 Základní Použitá technika.....	37
3.2.1 Škoda Superb.....	38
3.2.2 Pneumatiky.....	39
3.2.3 XL Meter TM	39
3.3 Zpracování plánu měření.....	40
3.4 postup měření.....	41
4 NAMĚŘENÁ DATA.....	44
4.1 Použitý software.....	44
4.1.1 XL Vision TM	44
4.1.2 Fluke Connect.....	44
4.2 Postup zpracování dat.....	46
4.2.1 Export dat z XL Vision TM	46

4.2.2	<i>Algoritmus výpočtu</i>	47
4.2.3	<i>Název měřicího pokusu</i>	49
4.2.4	<i>Chybná data</i>	49
4.2.5	<i>Obecný popis průběhu zrychlení v závislosti na čase</i>	50
4.3	Vyhodnocení pokusů měření	51
4.3.1	<i>Pokus 1bez_1</i>	52
4.3.2	<i>Pokus 1bez_4</i>	54
4.3.3	<i>Pokus 1bez_5</i>	56
4.3.4	<i>Pokus 1bez_6</i>	58
4.3.5	<i>Pokus 1bez_7</i>	60
4.3.6	<i>Pokus 1abs_2</i>	62
4.3.7	<i>Pokus 1abs_3</i>	64
4.3.8	<i>Pokus 1abs_4</i>	66
4.3.9	<i>Pokus 1abs_5</i>	68
4.3.10	<i>Pokus 2bez_1</i>	70
4.3.11	<i>Pokus 2bez_2</i>	72
4.3.12	<i>Pokus 2bez_3</i>	74
4.3.13	<i>Pokus 2bez_5</i>	76
4.3.14	<i>Pokus 2bez_6</i>	78
4.3.15	<i>Pokus 2bez_7</i>	80
4.3.16	<i>Pokus 2bez_8</i>	82
4.3.17	<i>Pokus 2abs_1</i>	84
4.3.18	<i>Pokus 2abs_2</i>	86
4.3.19	<i>Pokus 2abs_4</i>	88
4.3.20	<i>Pokus 2abs_5</i>	90
4.3.21	<i>Pokus 2abs_6</i>	92
4.3.22	<i>Pokus 2abs_7</i>	94
4.3.23	<i>Pokus 2abs_8</i>	96
4.4	Shrnutí výsledků zjištěných hodnot	98
5	ZÁVĚR.....	99
6	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	101
7	SEZNAM GRAFŮ.....	103
8	SEZNAM TABULEK.....	104

9 POUŽITÉ ZDROJE.....	105
-----------------------	-----

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou blokovací stopy pneumatik na vozovce při přímočarém neboli translačním pohybu, a to v závislosti na zpomalení vozidla. Vozidlo je během jízdy stabilizováno pomocí adhezní síly, která vozidlu umožňuje udržovat daný směr jízdy a jízdní stabilitu vozidla. Během většiny změn vektoru rychlosti (změna směru, rychlosti), způsobené například brzděním, dochází ke značnému nárůstu reakční síly mezi pneumatikou a vozovkou. Pokud hodnota této reakční síly přesáhne hodnotu adhezní síly, dochází ke tření pneumatiky o vozovku způsobené prokluzem či smykem pneumatiky. Právě toto tření má za následek zanechání charakteristické smykové stopy na vozovce. V dnešní době je charakteristika této stopy poněkud složitější, a to z důvodu využití protiblokovacích systémů ABS. Je známo, že ABS zapříčiňuje přerušovanou brzdnou stopu, dnes se ale poměrně běžně setkáváme s novějším ABS, který reguluje brzdnou sílu stabilněji. Tím se brzdná stopa jeví jako nepřerušovaná, ale méně viditelná a identifikace této stopy se tak stává komplikovanější.

Hlavní součástí této diplomové práce je praktická část zaměřená na měření zpomalení a pozorování blokovací stopy a následné vyhodnocování naměřených dat pomocí počítačové techniky a fotodokumentace s cílem pozorovat chování vozidla během jeho prudkého brzdění, při kterém tvoří blokovací stopu.

2 SOUČASNÝ STAV

V aktivním brzděném ústrojí rozlišujeme ovládací a brzdou sílu. Ovládací silou se rozumí síla, kterou řidič působí na ovládací orgán brzděné soustavy (páka, pedál) a následně přenáší do ovládací soustavy. Brzdou silou se rozumí síla vyvinutá brzděným ústrojím vztažená na obvod brzděných kol. Běžně se uvádí brzděná síla celková, tedy součet všech brzděných sil na jednotlivých kolech.

První fází počátku brzdění je reakční doba, během které řidič reaguje na podnět k brzdění. Tato doba uplyne od doby zpozorování překážky až do vyvození síly na brzděný pedál. Reakční doba zahrnuje optickou, psychickou a svalovou reakci, doba prodlevy brzdění a následný náběh brzděného účinku. Celková doba reakce závisí na spoustě aspektech, jako např. věk, únava, psychické rozpoložení či jiné aktivity během řízení (např. telefonování, komunikace se spolujezdcem) a aktuální stav brzděné soustavy. Během prodlevy brzdění dochází k překonání vůle v brzděném ústrojí (ložiska, klouby) a k dolehnutí brzděného obložení na třecí plochu brzd. Náběhem brzděného účinku se rozumí čas, který uplyne od počátku projevu brzdění do okamžiku dosažení plné výše zpomalení. Celková reakční doba je u průměrného řidiče rovna přibližně jedné sekundě. Během této doby vozidlo urazí určitou dráhu ve výši své původní rychlosti. Následný průběh brzděného děje závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí a vozidla a na samotné okamžité ovládací síle, kterou řidič průběžně působí na brzděný pedál.

Podobným tématem se v minulosti zabýval Ing. Aleš Kaplánek, Ph.D., který na dané téma publikoval rovnou několik článků, například článek v časopise Soudní inženýrství 5/2001 a v Kriminologickém sborníku 4/2003, kde primárně popisuje typy stop na vozovce, způsob jejich vzniku jak se systémem ABS, tak bez něj a způsob pozorování stop. Článek dále zobrazuje fotodokumentaci brzděných stop na několika druzích povrchů, jako je cementobetonová vozovka, živičný povrch nebo žulová dlažba. Pro měření autor využil vyrobený mechanický přípravek pro omezení zdvihu brzděného pedálu, který byl navržen pro konkrétní vozidlo, se kterým měření prováděl. Jeho princip spočíval v postupném povolování brzděného pedálu s každým měřicím pokusem.

Podrobnější popis problematiky popisoval doktor Kaplánek v již zmiňovaném časopise Soudní inženýrství 5/2001 (str. 241–256). V tomto článku autor velmi podrobně

popisuje celý postup měření, včetně údajů z kontroly souměrnosti brzd na válcové zkušebně. Celkem provedl 35 měření, kde 13 z nich bylo v rychlosti 50 km/h a 22 měření v rychlosti 70 km/h. Výsledky měření sepsal do tabulek, kde uvedl plné zpomalení vozidla a stručně popsal chování vozidla a celé měření doplnil grafy průběhu brzdného zpomalení. V závěru došel k výsledkům na různých površích. Na drsném, uježděném a vlhkém asfaltu byly při brzdění z rychlosti 50 km/h stopy zaregistrovány při plném zpomalení v rozmezí 7 až 7,7 m/s², u stejného povrchu při rychlosti 70 km/h pak registroval stopy při plném brzdném zpomalení 7,2 m/s². Na drsném, uježděném, ale suchém asfaltu s počáteční rychlostí 70 km/h byly stopy zaregistrovány při plném zpomalení 7,7-7,8 m/s² s tím, že výrazné hodnoty se začaly ukazovat od zpomalení 8,5 m/s².

Brzdými zkouškami založenými na podobném principu prováděl měření Ing. Roman Mikulec ve své diplomové práci s cílem analyzovat součinitele podélného tření a adheze. V práci využil postup měření pomocí XL Meteru použitého pro měření v praktické části této práce, ale také pomocí přístroje Racelogic založeného na podobném principu a multifunkčního zařízení TRT, kde bylo využito páté kolo připevněné pod vozidlem. To je podle potřeby přitlačováno k vozovce zvolenou silou a pro potřeby měření přibrždováno až do hodnoty konstantního skluzu. Výstupy těchto zařízení Ing. Mikulec vzájemně porovnával a zjišťoval výslednou hodnotu adheze. Zařízení TRT bohužel ale není vhodné pro zjišťování vzniku blokovací stopy v závislosti na zpomalení, měření však probíhá podobně.

Samotnou problematiku identifikace stopy pneumatik řešil Ing. et Ing. Martin Bilík, Ph.D. ve své disertační práci, kde se zabýval primárně detekcí opticky nevýrazných stop pomocí termokamery a mobilní laboratoře rLIBS pracující na principu laseru a na základě zinku obsaženého v gumárenské směsi pneumatik, resp. v brzdné stopě. Mimo jiné v práci popisuje také samotnou degradaci stopy.

2.1 ZÁKLADY MECHANIKY BRZDĚNÍ PRO TRANSLAČNÍ POHYB

Přesné určení vektorů sil působících na vozidlo je klíčovým aspektem při rozboru dopravních nehod. Primárním východiskem pro řešení střetu, popisu nehodového děje či samotných zkoušek jsou základní pohybové (Newtonovy) zákony. Konkrétně se jedná o:

- **Zákon setrvačnosti** – „Pokud na těleso nepůsobí žádné vnější síly nebo výslednice sil je nulová, pak těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.“
- **Zákon síly** – „Jestliže na těleso působí síla, pak se těleso pohybuje zrychlením, které je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.“

$$F_s = m * a \quad (1)$$

- **Zákon akce a reakce** – „Jestliže na těleso působí současně více sil, rovnají se silové účinky působení jediné síly, tzv. výslednice sil, která je rovna vektorovému součtu těchto sil.“

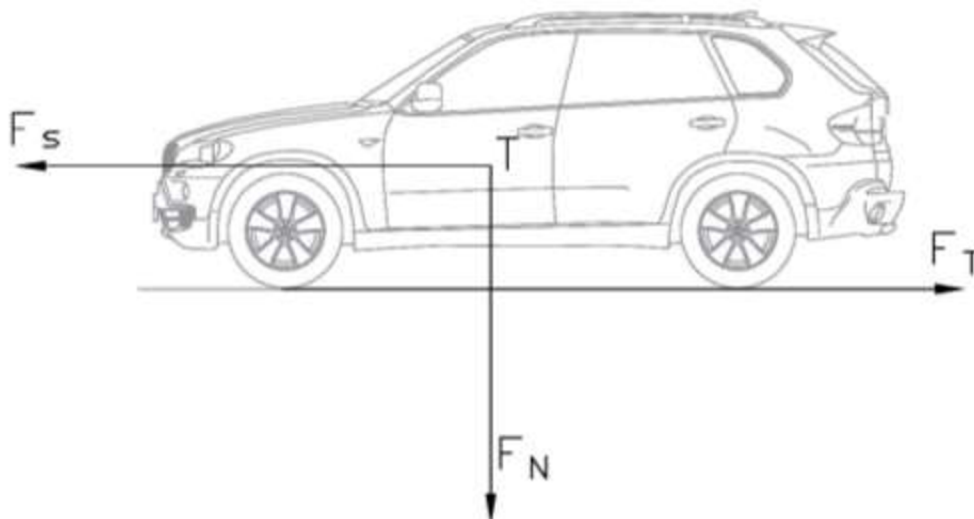
2.1.1 Tření

Hlavní a nejdůležitější veličinou brzdění je tření. Jedná se o sílu, která působí ve styku kola s vozovkou. Odvozuje se od Coulombova zákona o síle tření, ve kterém figuruje samotná síla tření F_T , která je v případě brzdění automobilu součtem všech třecích sil ve styku kola s vozovkou (zpravidla dle počtu pneumatik), dále síla normálová F_N , kterou se rozumí síla působící zpravidla v místě těžiště kolmo k vozovce či jiné podložce (na vodorovném povrchu je normálová síla rovna síle tíhové; $F_N = F_G$) a součinitel tření f , konstanta, jejíž hodnota je určena na základě materiálů, mezi kterými výše zmíněné tření vzniká. Pro styk vozovky s otáčejícím se kolem se místo součinitele tření f používá součinitel adheze neboli přilnavosti, který se značí řeckým písmenem μ .

V oboru dopravy se rozlišuje třecí a adhezní síla (popř. tření a adheze). Jak již bylo zmíněno výše, pojem adheze užíváme v souvislosti s otáčejícím se kolem. Pojem tření užíváme v případě blokace kol, např. vlivem nadměrně vysoké brzdící síly, a následným smykem.

$$F_T = F_N * f = F_N * \mu \quad (2)$$

$$F_N = m * g * \cos(\alpha) = F_G * \cos(\alpha) \quad (3)$$



Obr. 1 - Znárodnění základních sil (třecí F_T ; normálová F_N ; setrvačná F_s)

Za předpokladu brzdění v přímé jízdě je třecí síla v rovnováze se silou setrvačnou.^[2]

Na základě rovnováhy sil $F_T = F_s$ po dosazení platí, že:

$$m * g * \mu = m * a \quad (4)$$

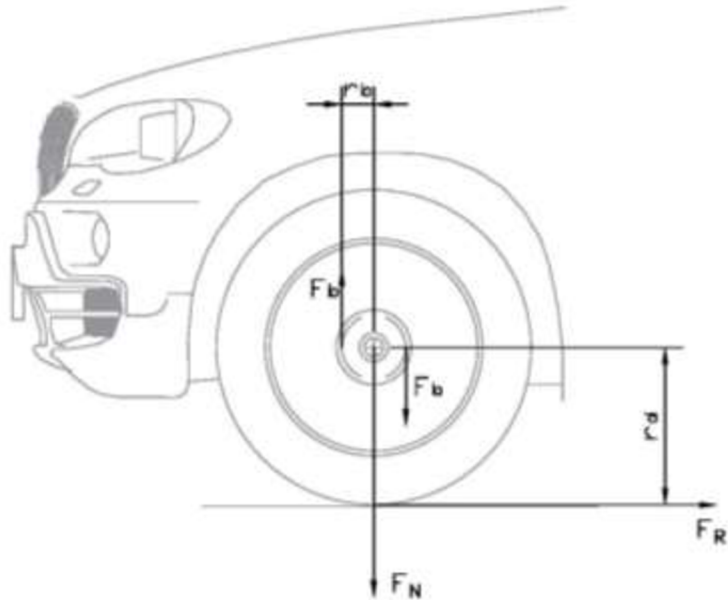
Z této rovnice rovnováhy třecí a setrvačné síly se vyjádřením zrychlení určí vzorec pro výpočet maximálního dosažitelného zrychlení na vodorovné vozovce.

$$a \leq g * \mu \quad (5)$$

Jak je z výše uvedeného vzorce patrné, maximální výše možného zrychlení (zpomalení) vozidla nezávisí bezprostředně na jeho hmotnosti. Toto platí za podmínky, že jsou zablokovaná všechna kola.

Závislost brzděné síly F_b a síly třecí F_T je definována následujícím vztahem, kde r_b značí vzdálenost působení brzděné síly od středu otáčení kola a r_d vzdálenost středu otáčení kola od místa působení třecí síly, tedy od vozovky. V případě zanedbání deformace pneumatiky vlivem zatížení lze r_d označit jako poloměr kola.

$$F_T * r_d = \sum F_b * r_b \quad (6)$$



Obr. 2 - Znáznornění brzdne síly

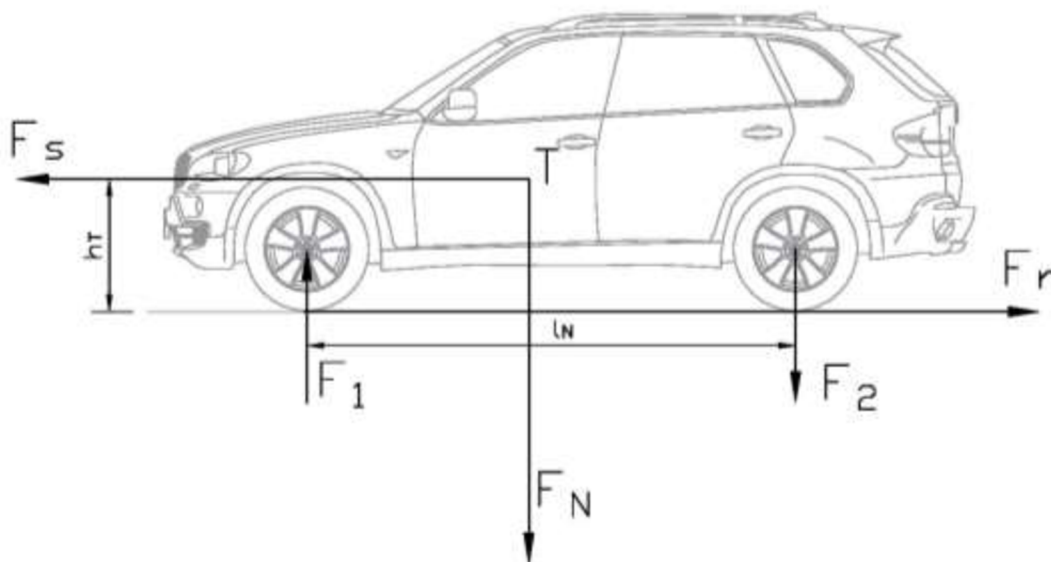
2.1.2 Klopny moment

Během brzdění působí na vozidlo dvě hlavní síly, každá z nich v jiném působišti. Síla brzdná neboli třecí/adhezní, působící mezi vozovkou a pneumatikou ve směru proti vozidlu, a síla setrvačná, která směruje z těžiště vozidla ve směru jízdy. Působením těchto sil v rozdílné výšce vzniká moment, který způsobuje dopředné klopení vozidla během brzdění, čímž dochází k odlehčení zadní nápravy a přitížení nápravy přední. Označme reakci na přední nápravu jako F_1 , na zadní pak F_2 . Vztah pro jejich výpočet je následující:

$$F_1 = -F_2 = \frac{F_s * h_T}{l_N} \quad (7)$$

Veličinou h_T se rozumí výška těžiště, l_N značí rozvor náprav.

Právě klopný moment má za následek rozložení většiny brzdného účinku na přední nápravu, a to přibližně 80 % celkového brzdného účinku automobilu. Zbýlých 20 % je rozloženo na nápravu zadní.



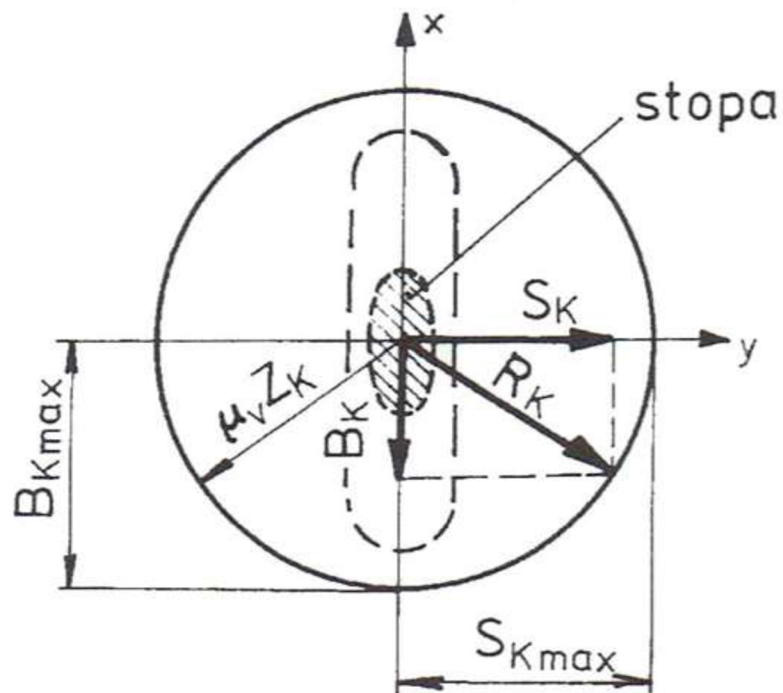
Obr. 3 - Znárodnění veličin pro klopný moment

2.1.3 Skluz

Ke skluzu dochází při brzdění, kdy dochází k pomalejšímu otáčení kola, než by odpovídalo rychlosti jízdy. Skluzem se rozumí poměr vzdálenosti odvalené na obvodu pneumatiky vůči ujeté vzdálenosti (popř. poměr obvodové rychlosti kola a rychlosti vozidla) a značí se v procentech [%].

2.1.4 Součinitel adheze

Součinitel adheze je koeficient značený řeckým písmenem μ , vyjadřující schopnost přenosu tečných sil mezi různými druhy povrchů, aniž by došlo ke smýkání. V případě přenosu výkonu automobilu na vozovku jde v podélném směru působení o sílu vznikající při brzdění či zrychlení, v příčném směru se pak jedná o síly působící na boční vedení. Velikost součinitele adheze popisuje Kammova adhezní kružnice (obr. 4). Kružnice znázorňuje součinitele adheze pro boční a podélné síly, kde pro stabilní jízdu výslednice vektorů odstředivé a podélné (brzdné / tažné) síly nesmí přesáhnout hranici kružnice. Po překročení hodnoty danou adhezní elipsou, dochází k blokaci kol a následnému smyku.



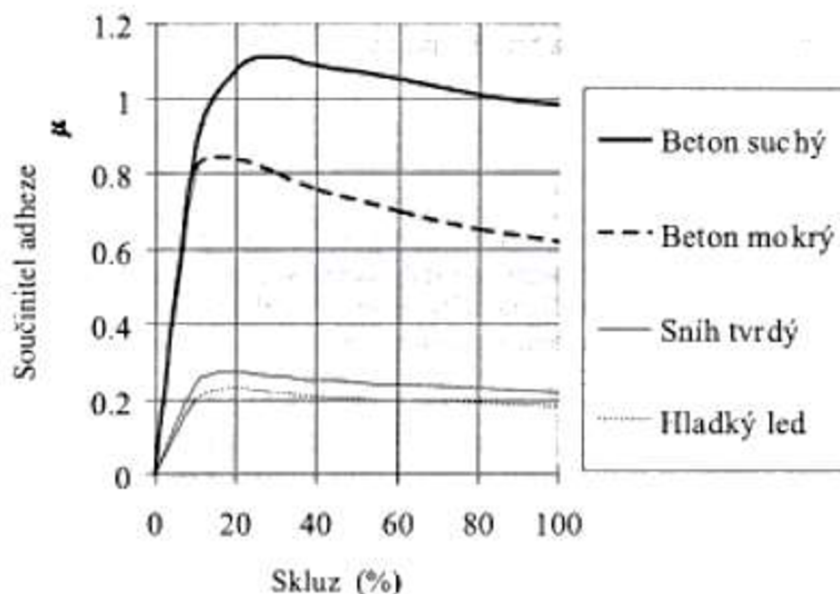
Obr. 4 Kammova adhezní kružnice [13]

Obr. 4 znázorňuje výše zmíněnou Kammovu kružnici, kde B_K je brzdná síla kola, S_K vystupuje jako boční vodící síla kola a Z_K jako radiální reakce. R_K je pak výsledná hodnota reakční síly, jež nesmí překročit hodnotu danou velikostí kružnice.

Pro výslednou reakční sílu platí:

$$R_K = \sqrt{B_K^2 + S_K^2} \leq \mu_v Z_K \quad (8)$$

Okamžitá hodnota součinitele adheze závisí na stavu a kvalitě povrchu vozovky a pneumatiky, rychlosti jízdy (s rostoucí rychlostí jízdy součinitel adheze klesá, vozidlo se tak stává méně stabilním, zvyšuje se tendence smyku) a na velikosti skluzu. Následující graf znázorňuje závislost součinitele adheze na skluzu na různých druzích povrchů.



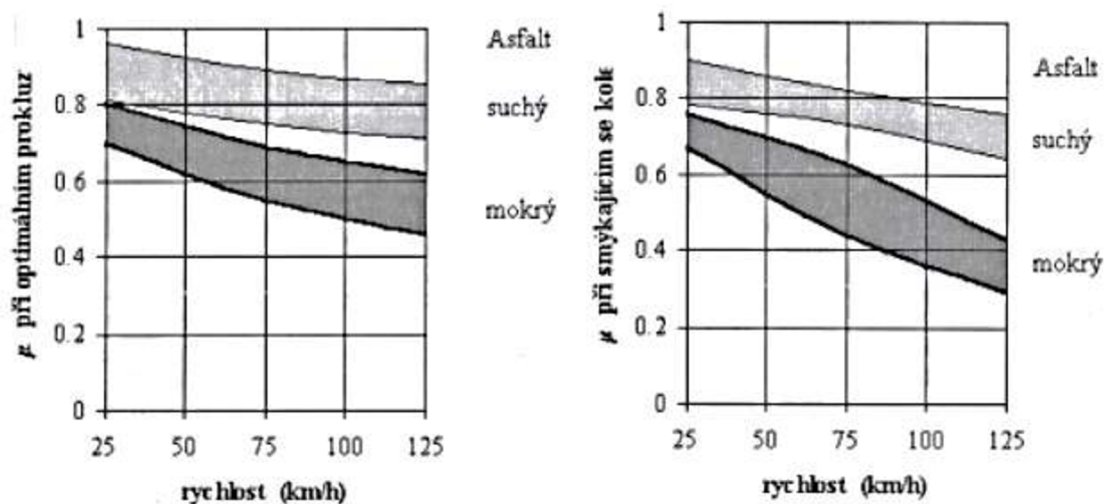
Graf č. 1 - Vliv skluzu kola na součinitel adheze [2]

Jak již bylo naznačeno v kapitole 2.1.1, o adhezi se jedná v případě, že se vozidlo pohybuje beze smyku. V případě blokace kol a následného smyku se jedná o tření.

Hodnota zpomalení je při blokaci kol nižší než při adhezním přenosu sil na vozovku, což dle vztahu $a \leq g * \mu$ (odvozeného v kapitole 2.1.1) dokazuje, že hodnota součinitele adheze je zpravidla vyšší než hodnota součinitele tření. To má za následek skutečnost, že při smyku kola je k ustálení nutný zásah regulace otáček daného kola a následného snížení třecí síly pod mez součinitele tření. Pro srovnání jsou v tabulce níže uvedeny součinitele tření pro styk pneumatiky s vybranými typy povrchů.

Tabulka 1 - součinitele tření pro daný typ povrchu dle [2]

Typ povrchu	Součinitel tření f	Součinitel adheze μ
Asfalt suchý	0,34 - 0,80	0,60 - 0,90
Asfalt mokrý	0,38 - 0,69	0,30 - 0,80
Beton suchý	0,61 - 0,74	0,80 - 1,00
Beton mokrý	0,44 - 0,69	0,60 - 0,90
Náledí	0,09 - 0,29	0,05 - 0,20



Graf č. 2 - Vliv rychlosti na μ . Optimální prokluz (1); smýkající se kolo (2) [2]

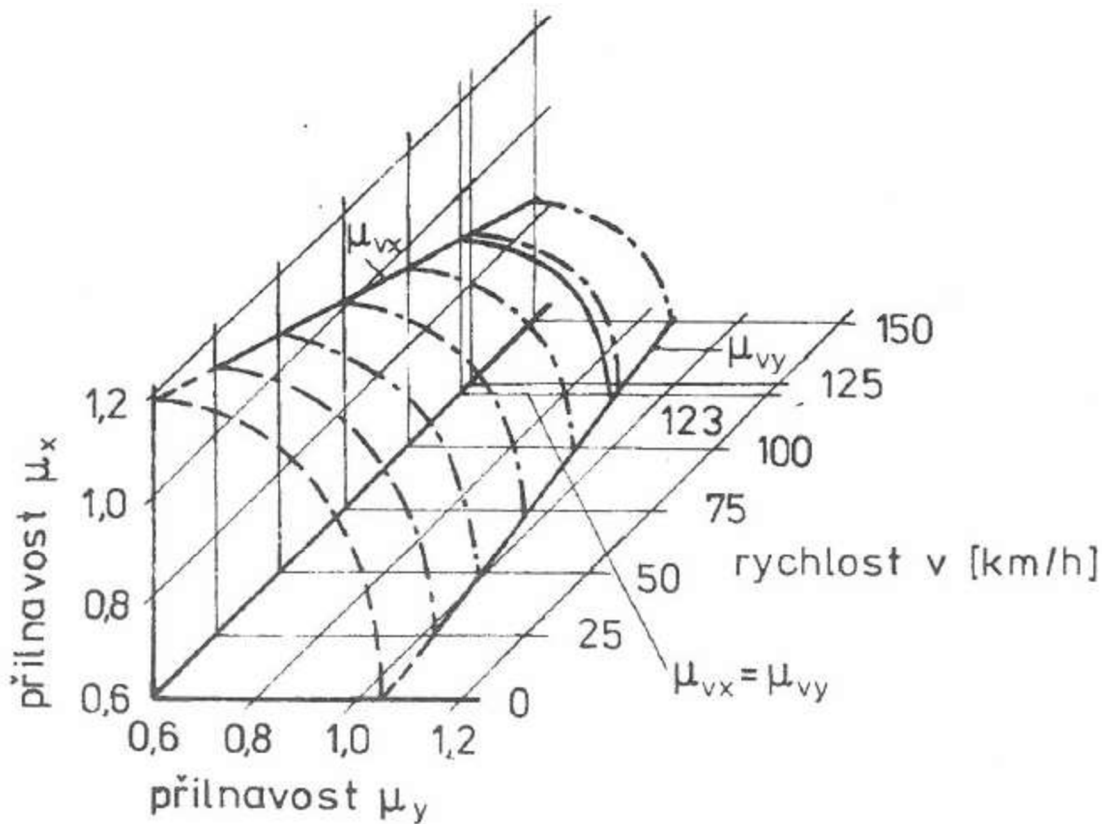
2.1.5 Stabilita při brzdění v přímočarém pohybu

Stabilita vozidla během brzdění závisí na rozdělení brzdné síly na nápravy, resp. na které nápravě dojde k blokaci. V případě kdy setrvačná síla vlivem vnější rušivé síly neleží ve směru podélné osy vozidla, vzniká složka rušivé síly, která je kolmá k podélné ose vozidla. Tato složka je udržována v rovnováze s bočními silami na kolech. V okamžiku blokace zadních kol nejsou zablokovaná kola schopna přenášet dostatečnou boční sílu a tuto sílu tak přenáší pouze kola přední nápravy. Tím vzniká silová dvojice boční a rušivé síly, která natáčí vozidlo kolem jeho svislé osy od směru setrvačné síly a dochází tak ke vzniku nestabilního děje.

V případě blokace kol přední nápravy působí boční síla pouze na zadní nápravě, čímž vzniká opačný moment, který zmenšuje úhel vybočení setrvačné síly od podélné osy vozidla a dochází k následnému natáčení vozidla proti směru setrvačné síly. Tím dochází k vyrovnání momentů a automobil s blokovánými předními koly se tak pohybuje v přibližně stejném směru, chová se tedy stabilně.

Směrovou stabilitu vozidla také popisuje mj. Kammova kružnice (obr. 4), která oproti adhezní elipse předpokládá stejnou přilnavost v bočním i podélném směru, což je dle posledních zjištění možné a tento předpoklad neznamena žádnou chybu. Stabilita vozidla rovněž závisí na rychlosti jízdy, s jejíž rostoucí hodnotou klesá hodnota přilnavosti v obou směrech. Tuto skutečnost popisuje následující tříosý graf, kde osy x a y popisují

adhezi (μ_x , μ_y), na ose z pak můžeme vidět rychlost v [km/h], s jejíž narůstající hodnotou můžeme pozorovat pokles adhezních schopností vozidla.

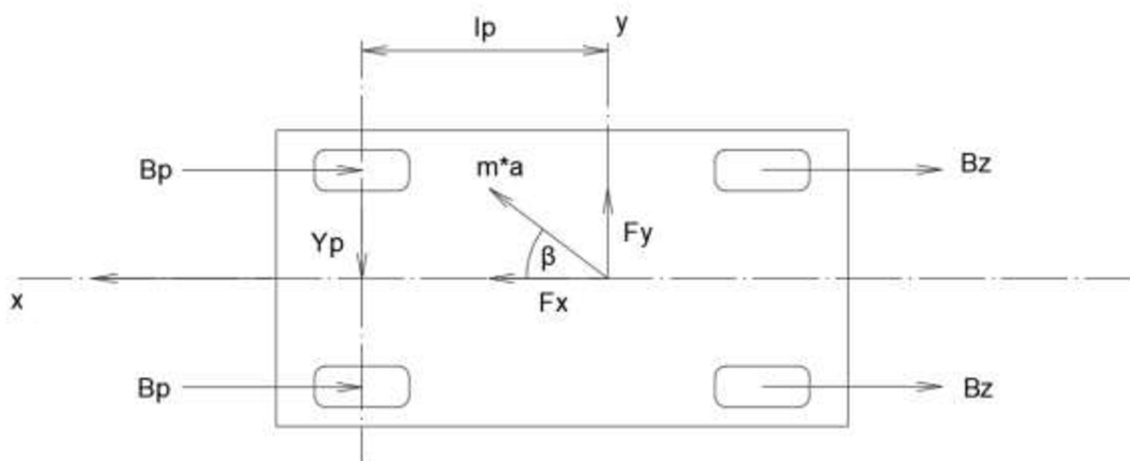


Graf č. 3 Tříosý průběh adheze v závislosti na rychlosti [2]

Stabilita během brzdění je ovlivněna rozložením veškerých sil působících na vozidlo a závisí na tom, u které nápravy dojde k zablokování kol. V případě, že setrvačná síla $m \cdot a$ neleží ve směru podélné osy (x) vozidla vlivem některé z vnějších rušivých sil, ale působí pod úhlem β k této ose, vzniká složka rušivé síly F_y , která je kolmá k podélné ose (obr. 5). Tato rušivá síla F_y je udržována v rovnováze s bočními silami na kolech. V případě blokace zadních kol nejsou pneumatiky zadní nápravy z důvodu smyku schopny přenášet boční sílu. Dochází tak k natočení vozidla vlivem působení vodící síly přední nápravy a zmiňované rušivé síly F_y .

$$Y_p \cdot l_p = F_y \cdot l_p \quad (9)$$

Tím při blokaci kol zadní nápravy dochází k tvorbě momentové síly, která zapříčiní vznik nestabilního děje natočením vozidla doleva.



Obr. 5 Rozložení sil působících na vozidlo během brzdění

V případě blokace kol přední nápravy jsou schopny přenášet boční sílu pouze kola zadní nápravy. Pak platí, že $Y_p = 0$, tedy že kola přední nápravy nejsou schopna přenosu boční síly. Vzniká tak opačný moment $Y_z \cdot l_z$, který zapříčiní přetočení vozidla do opačného směru, tedy doprava.

Pro zachování stability při přímočarém pohybu se výhodnější přebrzdění předních kol. Vozidlo je tak stabilnější v přímém směru a nedochází k tak výraznému přetáčení. Riziko přebrzdění přední nápravy nastává ale při průjezdu zatáčkou, kde dochází ke smyku a následnému pohybu vozidla ven ze zatáčky. Zde je výhodnější blokace zadních kol pro zachování možnosti řízení kol přední nápravy. V této situaci je ale nutné reagovat řízením vozidla přetočením volantu na druhou stranu.

2.1.6 Translační pohyb – základní veličiny a vztahy [2]

Hmotnost	m	kg		
----------	---	----	--	--

Čas	t	s	$t = \frac{s}{v}$	(10)
-----	---	---	-------------------	------

$$t = \frac{(v_2 - v_1)}{a} = \frac{2s}{(v_2 + v_1)} \quad (11)$$

$$t = \frac{v_2 - \sqrt{v_2^2 - 2as}}{a} = \frac{-v_1 + \sqrt{v_1^2 - 2as}}{a} \quad (12)$$

Dráha	s	m	$s = v \cdot t$	(13)
-------	---	---	-----------------	------

$$s = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2a} \quad (14)$$

$$s = t \cdot v_2 - \frac{at^2}{2} \quad (15)$$

$$s = \frac{(v_1 - v_2)}{2} \cdot t \quad (16)$$

Rychlost (na začátku/konci úseku)

v_2/v_1	m/s; km/h	$v = \frac{ds}{dt}$	(17)
-----------	-----------	---------------------	------

$$v_2 = v_1 + at = \frac{2s}{t} - v_1 \quad (18)$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2as} \quad (19)$$

$$v_1 = v_2 - at = \frac{2s}{t} - v_2 \quad (20)$$

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 - 2as} \quad (21)$$

Zrychlení	a	m/s ²	$a = \frac{dv}{dt}$	(22)
-----------	---	------------------	---------------------	------

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2s} \quad (23)$$

$$a = \frac{2s}{t^2} - \frac{2v_1}{t} = \frac{2v_2}{t} - \frac{2s}{t^2} \quad (24)$$

$$a = \frac{F}{m} \quad (25)$$

2.2 PLÁŠŤ PNEUMATIKY

Pneumatikou se rozumí součást kola automobilu, jejíž mimořádný význam spočívá v přenosu vodorovných sil mezi kolem a vozovkou a tím umožňuje stabilní jízdu. Konstrukce a složení pneumatiky souvisí s velikostí maximální přenositelné síly beze skluzu, tedy s velikostí adheze a tření, které přímo souvisí s maximálním zrychlením či zpomalením a vedením nežádoucích bočních sil, a to zejména při průjezdu zatáčkou či kritickém manévrování.

Kromě přenosu vodorovných, tečných sil je dalším úkolem pneumatiky absorpce vibrací. Tím je myšleno pohlcení části menších nárazů na nápravu způsobených jízdou po nerovném povrchu (dlažba, štěrky) a tím následně zajistit komfort cestujícím. Na funkci pohlcení nežádoucích sil se samozřejmě podílí celý podvozek automobilu. Většinu absorbuje právě pneumatika společně s odpružením nápravy, složeného z pružiny tlumené většinou hydraulickým tlumičem, napojené na rozvodovou hřídel pomocí kardanových kloubů a následně stabilizováno, např. torzním stabilizátorem. Toto odpružení má za následek rovněž pohlcení nežádoucích kmitů vozidla.

2.2.1 Složení pláště pneumatiky

V posledních letech se do pneumatik kromě základních materiálů, kterými jsou kaučuk, ocelová a textilní či polymerová vlákna, přidávají různé příměsi jako je síra (vulkanizační činidla), oxid křemičitý (plnidla), oxid zinečnatý (aktivátor urychlovačů), které mají extrémní vliv na kvalitu, životnost a jízdní vlastnosti pneumatik.

Kaučuk

Převažující a také nejdůležitější složkou pneumatiky je samozřejmě kaučuk, který zaujímá kolem 38 % celkového složení pneumatiky. Kaučukem se rozumí makromolekulární látka patřící mezi elastomery, jež jsou charakteristické vlastností vracení se do původního stavu po případné deformaci. Přírodní kaučuk je čím dál více nahrazován kaučukem syntetickým, vyrobeným z ropných polymerů. Během výrobního procesu se suroviny pro výrobu gumárenské směsi míchají za teploty nad 120 °C. Přírodní kaučuk, vyráběný z kaučukovníku brazilského, má oproti syntetickému některé vlastnosti stále lepší, a to zejména pružnost při nižších teplotách, avšak náklady na výrobu jsou

výrazně vyšší vzhledem k samotné pořizovací ceně přírodního kaučuku a jeho následným nákladům na přepravu.

Plnidla

Druhou převažující složkou pneumatik jsou plnidla – látky dodávající pryži pevnost a tvrdost a zvyšující odolnost proti opotřebení a teple. Jako plnidla se využívají zejména silika (upravený oxid křemičitý) a saze (mour) vyráběné z ropy (popř. černouhelného dehtu), které tvoří typickou černou barvu pneumatik. Látky z této kategorie tvoří přibližně 30 % složení pneumatiky. Některé výrobny zkouší nahrazovat saze za modifikovaný oxid křemičitý (SiO_2) a organické silany. Oxid křemičitý pak zlepšuje přilnavost zejména na mokřím povrchu za nižších teplot.

Vyztužující materiály

Jako vyztužující materiály v pneumatice nejčastěji narazíme na ocel, polyester, umělé hedvábí a nylon. Tyto materiály jsou využity pro různé součásti pneumatiky. V ocelovém nárazníku se setkáváme s pogumovanými ocelovými kordy s vysokou pevností, s další vrstvou obvodově vinutého polyamidového nárazníku vyrobeného z nylonu. Nylon se rovněž používá pro výztuhu patky zpevněné ocelovým patním lanem.

Změkčovadla

Další podstatnou složkou složení gumárenské směsi jsou změkčovadla, která se občas kategorizují do skupiny plnidel. Změkčovadla většinou zaujmají podobu různých minerálních olejů nebo pryskyřic, zvyšujících plasticitu (tvárnost) a následně usnadňujících mechanické zpracování gumy.

Vulkanizační činidla a urychlovače

Během výroby je nutné, aby pneumatika prošla procesem vulkanizace. Jedná se o fyzikálně chemickou reakci prováděnou pod vysokým tlakem, při které za působení práškové síry, olejů a sazí dochází k zesíťování (spojení polymerních řetězců v dlouhé makromolekuly) kaučuku, čímž se kaučuk mění na pryž s prostorovou strukturou. Během vulkanizace dochází k nahrazení dvojných vazeb v uhlíkovém řetězci polysulfidovými můstky tvořící příčné vazby v lineárním řetězci. Pro gumárenské účely se jako vulkanizační činidlo využívá především mletá krystalická síra, která odpovídá přibližně 4 % složení

pneumatiky. Vyšší obsah síry ve směsi má za následek tvrdší pryž, její množství se proto zvyšuje pro výrobu letních pneumatik.

K urychlení vulkanizačního procesu se používají urychlovače, snižující čas potřebný pro vulkanizaci z řádů hodin na minuty. Mimo urychlení také snižují teplotu potřebnou k přeměně a zpomalují stárnutí. Zpravidla obsahují v molekule dusík a síru. Následná účinnost těchto urychlovačů se dá maximalizovat využitím tzv. aktivátoru, kterým je oxid zinečnatý (ZnO), rovněž působící jako urychlovač vulkanizace. Zinek v pneumatice ve formě oxidu zinečnatého ZnO (popř. sulfidu zinečnatého ZnS) zaujímá přibližně 1 % celkového složení gumárenské směsi. Právě na základě zinku fungují některá zařízení pro detekci brzdové stopy (rLIBS), ve které je zinek obsažen, a to i v situacích, kdy stopa není opticky zřetelná.

Vulkanizací kaučuku se dosahuje podstatně lepších mechanických i fyzikálně chemických vlastností. Zvýší se tak pevnost v tahu, pevnost struktury a její odolnost vůči trhání, odolnost v oděru, pružnost, odolnost proti rozpouštědlům, tepelná odolnost a rovněž si zachovává ohebnost a tuhost v širokém teplotním rozsahu, což pryž dělá flexibilnější v různých povětrnostních podmínkách.

Zpevňovací materiály

Jako zpevňovací materiály se používají textilní či polymerová vlákna a ocelové dráty, využívané jako tzv. kord. Jedná se o několik vrstev v podobě pásu lanek či vláken zvyšujících pevnost a soudružnost pryže, tvořící tak kostru pneumatiky. Tato kostra pak chrání pneumatiku před mechanickým poškozením a zvyšuje její pevnost. Kostra tvoří 14 % pneumatiky a tvoří jí přibližně 1400 vláken, z nichž každé dokáže odolávat konstantnímu zatížení 150 newtonů [N], odpovídající přibližně 15 kg.

Ostatní látky

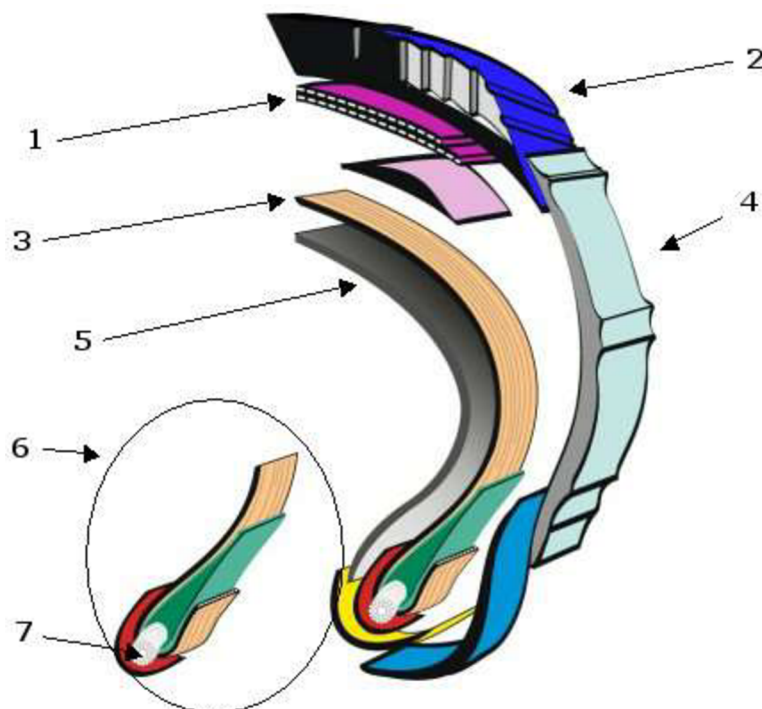
Zbylá 2 % zastupují ostatní chemické látky zvyšující např. odolnost, životnost či zlepšují jejich ekologické vlastnosti. Zvýšení životnosti se docílí například použitím antioxidantů a antiozonantů. Po vulkanizaci totiž v zesíťovaném polymeru zůstanou některé dvojnásobné vazby nepřeměněné a zůstávají tak vystaveny riziku napadení kyslíkem či agresivnějším ozonem. Tímto napadením vznikají nestabilní peroxidy a ozonidy, jejichž

štěpení narušuje strukturu pryže a způsobuje tak degradaci polymeru, jež zapříčiňuje stárnutí pneumatiky.

Každý výrobce pneumatik přizpůsobuje výrobu svým vlastním výzkumům, složení všech výše zmíněných látek a dalších aditiv se tak u různých výrobců liší. Složení rovněž záleží na účelu následného použití. Složení směsi se totiž používá jiné také pro výrobu běhounu a jiné pro výrobu bočnice pneumatiky, kde se například zvyšuje množství antioxidantů. Celá pneumatika tak může být vyrobena z 15 až dokonce 30 druhů různých směsí.

2.2.2 Konstrukce pláště pneumatiky

Vzhledem k výše zmíněnému složení samotného pláště pneumatiky se dají komponenty rozdělit dle materiálu na tři hlavní. Pryž, vlákna a ocelový kord. Každý z těchto komponentů má podíl na určitých součástech pláště, jejichž umístění je znázorněné na Obr. 6 níže. Na obrázku lze zpozorovat nárazník neboli korunní kordovou vrstvu (1); běhoun (2); kostru (3); bočnice (4); vnitřní gumovou vrstvu (5); patku (6) a patní lanko (7) uložené v jádru patky.



Obr. 6 – Konstrukční složení pláště pneumatiky [19]

Korunní kordová vrstva (nárazník)

Nárazník na pneumatice se nachází mezi kostrou pláště a běhounem. Primárním cílem nárazníku je stabilizace běhounu v obvodovém směru a ochrana pneumatiky proti proražení pláště. Nárazníkových vrstev je zpravidla používáno více najednou, u osobních automobilů nejčastěji dvě vrstvy. U pneumatiky pro nákladní automobily je využíváno vrstev více, nejčastěji dvě až tři nárazníkové vrstvy. Dříve se ke konstrukci nárazníku využívala textilní či polymerová vlákna, dnes se u radiálních pneumatik téměř výhradně využívá ocelový kord.



Obr. 7 - Korunní kordová vrstva, nárazník [19]

Běhoun

Běhoun je jednou z nejdůležitějších částí pneumatiky, jeho vlastnosti totiž přímo souvisí s výslednou adhezí k povrchu. Je opatřen vzorkem (dezénem), tvoří styk kola s vozovkou a má za úkol co nejefektivněji odvádět vodu na vozovce mimo trajektorii kola a zamezit tím případnému aquaplaningu (ztráta adheze v důsledku rychlé jízdy na vrstvě vody mezi pneumatikou a vozovkou). Tloušťka běhounu má vliv na nežádoucí zahřívání pneumatiky během jízdy, čímž dochází k následným energetickým ztrátám a rychlejšímu opotřebení. Tloušťka běhounu u osobního automobilu by proto měla být, pokud možno, co nejmenší tak, aby zároveň splňoval zákonem předepsanou hloubku drážky (1,6 mm u letních, 4 mm u zimních) s rezervou pro opotřebení během životnosti pneumatiky. Celková hloubka drážky u nové pneumatiky pak činí přibližně 7-8 mm u letní, 9-10 mm u

zimní pneumatiky. Zmenšením tloušťky běhounu se částečně zamezí jak energetické ztrátě, tak samotnému opotřebení pláště. U automobilů nákladních je konstrukce běhounu poněkud odlišná. Běhoun je totiž konstruován pro další prořezání dezénu.



Obr. 8 – Běhoun [19]

Kordová vrstva (kostra)

Kostrou se rozumí hlavní část pláště, kde kordové vložky tvoří „tělo“ pneumatiky. Uspořádání vláken kostry pláště pneumatiky určují typ pneumatiky a hrají zásadní roli ve výsledných vlastnostech.

Tyto druhy dělíme na radiální a diagonální (též zvané „bias“). Vývojem automobilismu se opustilo využití křížové tkaniny a její využití v diagonálním uspořádání na netkaná kordová vlákna s uspořádáním radiálním. Jak již název napovídá, u pneumatiky diagonální jsou vlákna kostry uložena diagonálně či úhlopříčně (šikmo) ve více vrstvách, které jsou vůči sobě kolmé. Dnes nejčastěji používaným typem pneumatiky je pneumatika radiální, kde jsou vlákna uspořádána kolmo vůči směru pohybu kola. V tomto rozpoložení má pneumatika lepší vlastnosti jak z hlediska životnosti, tak z hlediska jízdy (komfort, velmi dobrá trakce, nízký valivý odpor), zejména při průjezdu obloukem, kdy oproti diagonálnímu provedení běhoun doléhá na vozovku ve své celé šířce.

Někdy se můžeme setkat i s typem „bias-belted“, neboli diagonální pásovanou pneumatikou. Jedná se o diagonální typ doplněný pásem kordů neboli nárazníkem, který se u běžné diagonální pneumatiky nepoužívá z důvodu zpevnění křížením vláken.



Obr. 9 - Kostra pneumatiky [19]

Bočnice

Jedná se o boční součást pláště mezi patkou a běhounem, která má za úkol chránit kostru pneumatiky z boku před mechanickým poškozením vnějšími vlivy a rovněž zajišťuje boční stabilitu. Pryž, ze které je bočnice vyrobena, obsahuje nejvíce antioxidantních činidel na celé pneumatice, a to z důvodu neustálého vystavení povětrnostním vlivům. Nejčastěji se vyrábí z přírodního kaučuku pro zvýšení odolnosti proti mnohonásobnému ohybu. Na bočnici najdeme veškerá označení a kódy pneumatiky, jako je datum výroby (měsíc/rok), rozměry, index nosnosti, umístění indikátorů opotřebení pneumatiky (resp. dezénu) a jiné.



Obr. 10 - Bočnice pneumatiky [19]

Vnitřní gumová vrstva

Pro plášť pneumatiky je důležitá vzduchotěsnost, a to zejména u pneumatik bezdušových, které spoléhají na vzduchotěsnost pláště a těsné dolehnutí patky na ráfek kola. K tomuto účelu slouží právě vnitřní gumová vrstva, vyrobená z pryže obvykle tvořené butylem a syntetickou nebo polyizoprenovou pryží.



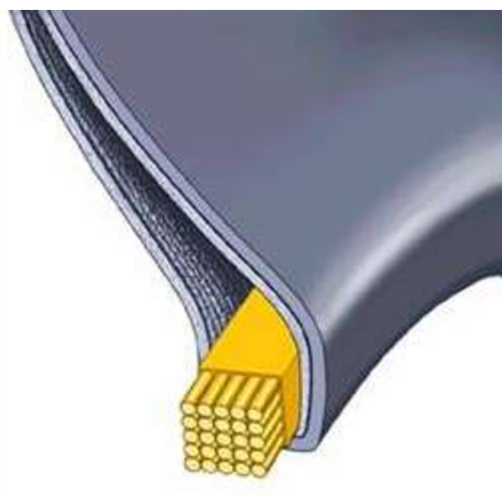
Obr. 11 - Vnitřní gumová vrstva [19]

Patka, patní lanko

Patkou se rozumí zesílená část pláště, která doléhá na ocelový ráfek kola a u bezdušových pneumatik tak tvoří těsnění. V patce jsou běžně zakotveny kordové vložky. V jádru patky můžeme najít vysokopevnostní ocelové lanko, díky kterému je zaručené správné dosednutí pneumatiky na ráfek a následná těsnost spoje a správný přenos podélných sil.



Obr. 12 - Patka pneumatiky [19]



Obr. 13 - Ocelové patní lanko [19]

2.3 ABS – ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM

Pro analýzu blokovací stopy je kapitola ABS velmi podstatná. Teorie, jež se za ABS skrývá, je poměrně jednoduchá. Kolo, které se v místě kontaktu s vozovkou smýká, má nižší trakci (schopnost pneumatiky udržet vodorovnou sílu) oproti kolu nesmýkanému. To je dobře vidět například při blokaci kol na ledu, kde kola při otáčení mají trakci téměř nulovou. To je způsobeno právě kluzem, resp. překročením adhezní síly. Zpomalením smýkaného kola se sníží hodnota prokluzu a tím i schopnost trakce kola. Úkolem tohoto systému je udržovat rychlost otáčení kol těsně pod mezí adheze. Zamezením prokluzu pneumatiky se udrží schopnost trakce a tím i ovladatelnost vozidla. Během brzdění je tak možné zatáčet, což výrazně zvyšuje bezpečnost při manévrování před překážkou. ABS může i zkrátit brzdovou dráhu, není to však pravidlem. Cílem tohoto systému je primárně zaručit maximální možnou ovladatelnost během procesu brzdění.

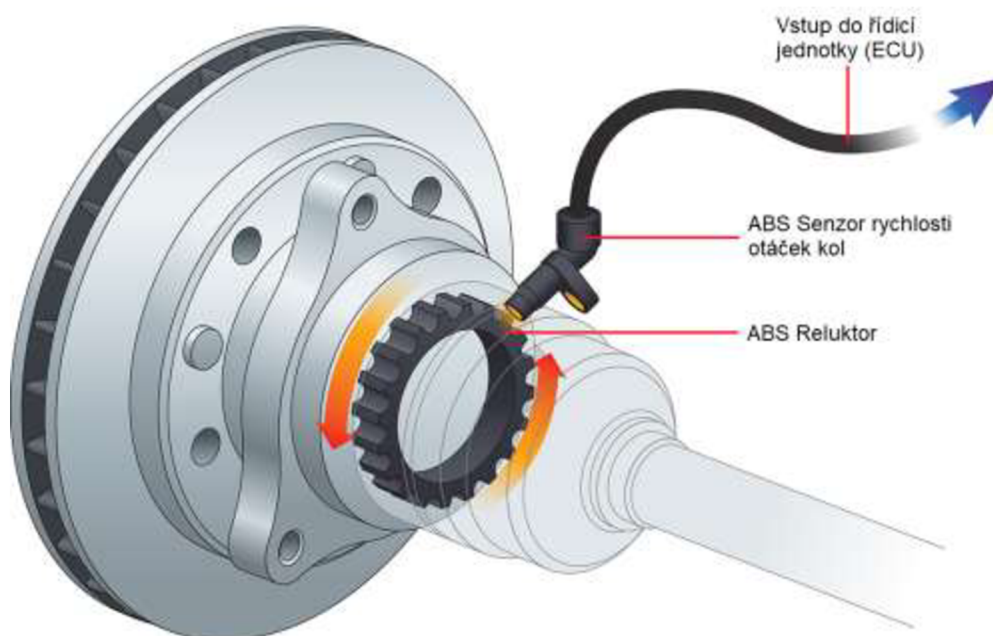
ABS obsahuje 4 základní komponenty. Těmi jsou:

- Rychlostní senzory (senzor otáček kol) – využívá se induktivních snímačů
- Řídicí jednotka
- Kompresor nebo čerpadlo
- Řídicí ventily

Rychlostní senzory

Vyhodnocování každého systému vždy záleží na vstupních datech. Zde jako vstupní data slouží rychlost otáčení kol. Tu měří právě rychlostní senzory, které jsou umístěny na náboji každého kola. Ve výjimečných případech mají tyto senzory umístění v diferenciálu.

Senzor funguje na principu elektromagnetické indukce, kde pomocí reluktoru¹ snímá polohu otočení kola. Naměřená data jsou následně převedena do řídicí jednotky, která je následně vyhodnocuje.



Obr. 14 – Rychlostní senzor a umístění na kole [23]

¹ **Reluktor** – Také „impulsní kroužek“ - Speciální kolo připevněné k rotační součásti (např. hřídel), s vyfrézovanými otvory, které jsou od sebe vzdálené v pravidelných intervalech. Pouze jedna mezera je větší, pro vygenerování synchronizačního impulsu. Tato součást neslouží k přenosu sil, ale ke generaci elektromagnetických impulsů na čidlo, resp. senzoru.

Řídicí ventily

V brzdovém potrubí každé brzdy se nachází řídicí ventil ovládaný řídicí jednotkou. V běžných systémech má ventil tři polohy:

- V první poloze je ventil otevřený. V tomto stavu je tlak z hlavního brzdového válce přenášen přímo na brzdový mechanismus, nedochází tak k žádnému omezování brzdné síly.
- V druhé poloze ventil blokuje brzdové potrubí a izoluje tak brzdový mechanismus od hlavního brzdového válce. Tím se zamezí vzrůstu brzdného tlaku a následným povolením brzd.
- V poslední, třetí poloze, ventil propouští část brzdného tlaku a částečně tak reguluje brzdou sílu.



Obr. 15 - Elektromagnetický řídicí ventil [24]

Uzávěr ventilu je ovládán signály z řídicí jednotky. Funguje na principu elektromagnetu, kde se pomocí elektrického proudu aktivuje cívka, která následně vytvoří elektromagnetické pole a sepne tak elektromagnet do potřebné polohy.

Čerpadlo, kompresor

Tím, že jsou ventily schopny upustit tlak z brzd, musí existovat i způsob, jak tento uniklý tlak navrátit. K tomu slouží právě čerpadlo či kompresor, v závislosti na typu ovládání brzdného ústrojí (hydraulické / pneumatické).

Řídicí jednotka ECU

Řídicí jednotkou (ECU, z angl. Electronic Control Unit) se rozumí počítač, který je umístěný ve vozidle s účelem vyhodnocovat data ze senzorů a na jejich základě ovládat různé bezpečnostní systémy. V případě ABS je jejím cílem hlídat rychlost otáček kol vozidla, následně tato data vyhodnocovat a na základě vyhodnocení dávat signály k ovládání ventilů, čímž následně dochází k redukci brzdné síly a povolení kol. Řídicí jednotka pracuje nezávisle na ovládací síle, kterou působí řidič na pedál.

2.3.2 Funkce ABS

Variací a ovládacích algoritmů pro ABS existuje spousta. Následující odstavec níže popisuje funkci jednoho z jednodušších systémů ABS.

Rychlost otáčení na kolech je snímána a neustále sledována řídicí jednotkou, která pozoruje změny rychlostí otáčených kol a porovnává je s ostatními. Těsně před tím, než se kolo zablokuje, projde procesem prudké decelerace (zpomalení). Takto prudké zpomalení není pro zpomalující vozidlo fyzikálně možné, což řídicí jednotka zaregistruje a následně sníží tlak v brzdovém potrubí tak, aby se rychlost otáčení konkrétního kola opět zvýšila. Ve chvíli, kdy řídicí jednotka rozpozná zrychlení kola, začne tlak opět zvyšovat do chvíle, dokud kolo nezačne opět zpomalovat. Tento proces provádí řídicí jednotka dostatečně rychle na to, aby se otáčení kola zdálo prakticky plynulé. Tímto způsobem řídicí jednotka udržuje rychlost otáčení kola těsně pod mezí adhezní síly. Tím zaručuje stabilitu řízení a může tak zkrátit brzdou dráhu na suchém povrchu. Na povrchu zledovatěném je ale brzdná dráha delší než bez využití tohoto systému, avšak důležitější podstata, kterou je právě schopnost trakce, zůstává lepší, než bez ABS. Na mokřém povrchu se rozdíly v brzdných drahách vyrovnávají.

Během průběhu činnosti ABS je v brzdém pedálu cítit charakteristické šubání způsobené otevíráním a zavíráním ventilů, což zapříčiňuje vypouštění a zvyšování tlaku v brzdovém potrubí a následným omezením brzdné síly.

Víte, že...?

...ABS dokáže provést proces zpomalení a zrychlení kola až 15x za sekundu. Čím je frekvence vyšší, tím je brzdění plynulejší a s ním i smyková stopa, která je tak se snižujícím se skluzem i méně výrazná.



Obr. 16 - Charakteristická brzdná stopa s ABS [25]

2.3.3 Typy ABS

Brzdné systémy ABS se dělí dle počtu senzorů a ventilů. Dříve se k aktivaci systému využíval princip hydromechaniky, kde ventily v brzdovém ústrojí byly ovládány pomocí tlaku z čerpadla. Hydromechanika je už v tomto směru pouze historií, dnes se využívají elektromechanické systémy fungující na principu elektromagnetu. To má spoustu výhod, jako je například rychlejší reakce, nižší poruchovost, údržba či oprava a jiné.

Níže jsou uvedeny základní, dnes nejpoužívanější typy tohoto brzdného systému.

4-kanálový / 4-senzorový

Jedná se o typ ABS, kde na každém kole je umístěn senzor a na každé brzdě je nainstalována soustava ventilů pro regulaci tlaku. Tento typ je nejlepší možností pro osobní automobily, jelikož může zasahovat do brzdné soustavy každého kola zvlášť a na základě jejich otáček porovnávat a následně regulovat rychlost jednoho nebo více kol.

3-kanálový / 3-senzorový

Jedná se o způsob uložení senzorů a ventilů, které umožňuje regulovat rychlost obou předních kol zvlášť, ale u zadních kol reguluje rychlost celé nápravy. Dva senzory jsou totiž na každém předním kole a poslední, třetí senzor, je umístěn v diferenciálu zadní nápravy. Zde, u zadní nápravy, ventily regulují brzdný tlak na obou kolech zároveň. Využívá se u lehkých nákladních automobilů.

1-kanálový / 1-senzorový

Jedná se o nejjednodušší typ, který se využívá primárně u zadní nápravy nákladních automobilů. Obsahuje pouze jeden senzor, umístěný v diferenciálu zadní nápravy s ventilem regulujícím brzdný tlak na obou kolech této nápravy.

3 MĚŘENÍ

Pro praktickou část byl zvolen způsob měření pomocí XL Meteru na rovném asfaltovém povrchu. Během měření bylo využito další techniky, jako je kamera Garmin 100 Hz, fotoaparát, barevný sprej pro zvýraznění brzdné stopy, termokamera, měřicí kolečko, manometr.

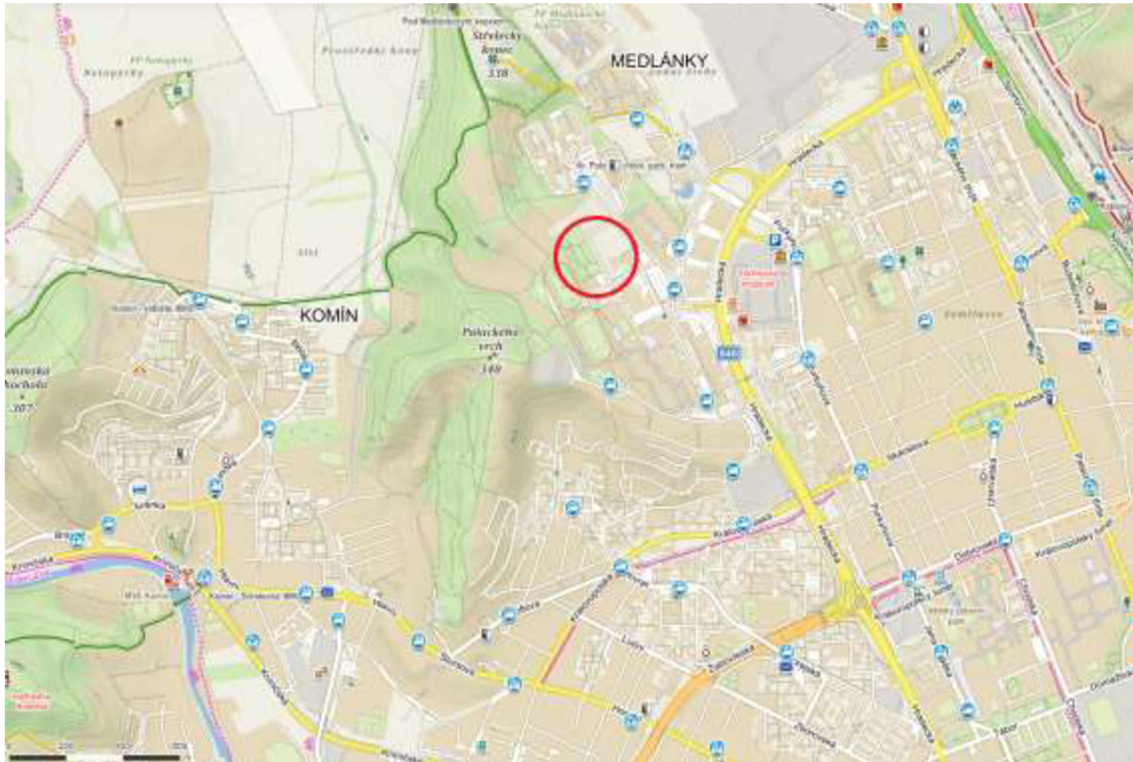
3.1 POPIS MÍSTA MĚŘENÍ

Samotné měření proběhlo v Brně pod stadionem VUT CESA, nad ulicí Kolejní. Jedná se o obslužnou komunikaci napojenou na ulici Technická a Kolejní. Povrch byl suchý, tvořen jemným až středně hrubým asfaltovým betonem. Teplota povrchu vozovky se pohybovala během obou měřících dní v rozmezí 32-58 °C, teplota ovzduší v rozmezí 18-26°C. Obloha byla slunečná, místy oblačná.

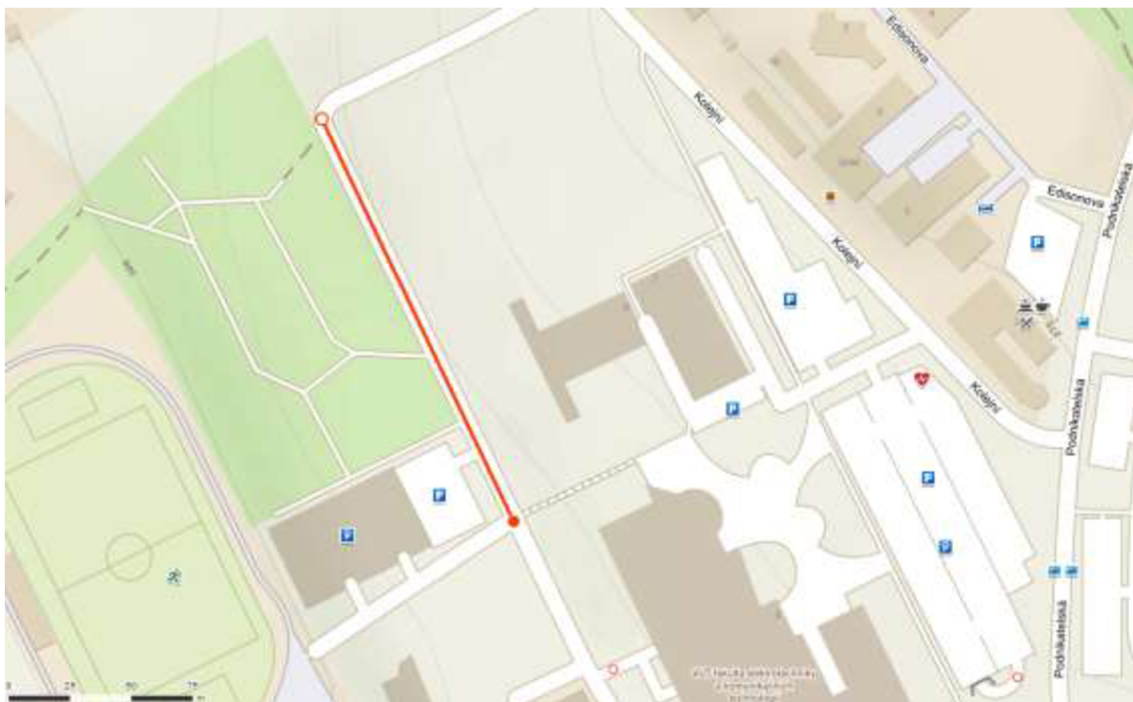


Obr. 17 Detail povrchu vozovky

Mapa na obrázku č. 17 a 18 znázorňuje zmiňovanou vozovku, na které měření probíhalo.



Obr. 18 Mapa místa měření; zdroj: mapy.cz



Obr. 19 Mapa místa měření, detail; zdroj: mapy.cz

Spádové uspořádání

Úsek komunikace využitý pro měření byl 180 metrů dlouhý s celkovým podélným převýšením o velikosti 3 metry. První část úseku o délce 50 metrů byla v rovině bez převýšení, za kterou dochází k mírnému poklesu do nejnižšího bodu na trase (290 m n.m. Bpv²) ve vzdálenosti 60 metrů od začátku úseku. Z tohoto bodu následně dochází k postupnému zvyšování výškové nivelety až do konce úseku, kde na 177. metru je hodnota nadmořské výšky rovna 293 m n.m. (Bpv).



Obr. 19 - Podélný profil komunikace měření, 180 metrů; zdroj: mapy.cz, upraveno

Na úseku 0–50 m se jedná prakticky o nulový sklon, zatímco na úseku 50–177 m, kde probíhala převažující většina zkoušek brzdění, se jedná o celkový sklon 2,4 % (1,4°).

3.2 ZÁKLADNÍ POUŽITÁ TECHNIKA

- Vůz Škoda Superb
- XL Meter
- 2 sady pneumatik
- Měřicí kolečko (trasoměr)
- Kamera Garmin 100 Hz
- Kamera pro boční záběr (určení dopředného náklonu vozidla)
- Váhy
- Termokamera (pro měření teploty vozovky)

² Bpv – Balt po vyrovnání, výškový systém (měřený dle hladiny Baltského moře)

- Manometr
- Fotoaparát (fotodokumentace stopy)
- Barevný sprej

3.2.1 Škoda Superb

K měření byl využit již zmíněný osobní automobil Škoda Superb Kombi se zdvihovým objemem motoru 1968 cm³ celkem na dvou sadách pneumatik (kap. 3.2.2). Vozidlo bylo na obou sadách pneumatik váženo bez řidiče.

Celková délka	4856 [mm]
Celková šířka	1864 [mm]
Celková výška	1496 [mm]
Rozvor	2836 [mm]
Provozní hmotnost dle TP	1520 [kg]

Naměřená hm. - letní pneu

LP	448,0 [kg]
PP	454,5 [kg]
LZ	364,0 [kg]
PZ	346,5 [kg]
Celková:	1613,0 [kg]

Naměřená hm. - zimní pneu

LP	442,5 [kg]
PP	452,0 [kg]
LZ	364,5 [kg]
PZ	340,0 [kg]
Celková:	1599,0 [kg]

3.2.2 Pneumatiky

Pro měření byly dostupné dvě sady pneumatik, a to sada zimních a sada letních. Před měřením byly obě sady pneumatik dle výrobcem doporučených hodnot nahuštěny na tlak 2,2 baru.

Nejprve byla provedena brzdná zkouška s letními pneumatikami Pirelli Cinturato P7 235/45 R18 94W, viz tab. 2. S deaktivovaným ABS pneumatiky zanechávaly poměrně málo viditelnou stopu. Po aktivaci ABS stopa byla okem prakticky nezpozorovatelná a měření bylo z tohoto důvodu ukončeno dříve.

Tabulka 2: Parametry pneumatiky Pirelli Cinturato P7

Šířka [mm]	Profil [mm]	Průměr ráfku [mm]	Nosnost [kg]	Rychlost [km/h]	Typ konstrukce	Období
235	105,75	45,72	750	270	Radiální	Letní

Další brzděné zkoušky proběhly na zimních pneumatikách Continental WinterContact TS 830 P 215/60 R16 99H, viz tab. 3. Tyto pneumatiky zanechávaly v porovnání s původními letními viditelnější stopu, a to i při aktivovaném ABS.

Tabulka 3 : Parametry pneumatik Continental WinterContact TS

Šířka [mm]	Profil [mm]	Průměr ráfku [mm]	Nosnost [kg]	Rychlost [km/h]	Typ konstrukce	Období
215	129	40,64	775	210	Radiální	Zimní

3.2.3 XL Meter™

XL Meter™ je přístroj s LCD displejem sloužící pro měření zrychlení či zpomalení, obsahující software umožňující vyhodnocení brzděné dráhy, velikosti zpomalení provozní brzdy či velikosti akcelerace. Tento přístroj je připevněn pomocí vakuové přísavky na čelní sklo a po následné kalibraci os X a Y připraven k měření (kalibrace zobrazena na obr.20). Přístroj má tři ovládací tlačítka, černé, červené a zelené. Černé tlačítko slouží k zapnutí či vypnutí, červené pro spuštění sběru dat (začátek měření) a zelené tlačítko pro přepínání

měření. Přístroj je schopný zaznamenat 8 pokusů měření, poté je nutné data exportovat do počítače či notebooku.



Obr. 20 XL Meter s umístěním na čelním skle

3.3 ZPRACOVÁNÍ PLÁNU MĚŘENÍ

Před samotným měřením bylo nejprve nutno sepsat libreto k měření, sestrojít časový plán a připravit tabulky pro zapisování naměřených hodnot. Libreto popisuje cíl měření, shrnutí potřebných pomůcek a techniky a po krocích popisuje postup a určuje konec měření. Dále libreto obsahuje přibližný časový plán, který sloužil jako odhad rozpoložení dne. Finální postup se od plánu časově lišil (např. z důvodu dřívějšího ukončení měření z důvodu vizuální absence blokovací stopy vozidla po aktivaci ABS, rychlejší aktivace/deaktivace ABS, či rychlejšímu postupu tvorby fotodokumentace).

Tabulky pro zapisování hodnot z měření obsahovaly údaje o vozidle, jako je např. značka, typ, počet ujetých km a hmotnost na přední a zadní nápravu, dále údaje o pneumatikách, kterými jsou výrobce, typ, rozměr, tlak a hloubka dezénu. Na druhé polovině tohoto listu byla tabulka pro zapisování hodnot z měření brzdění. Pro každý

pokus se měřila teplota vozovky, teplota vzduchu, čas pokusu, rychlost a délka stopy, popřípadě vedlejší poznámky k danému pokusu (např. viditelnost pouze jedné ze stop).

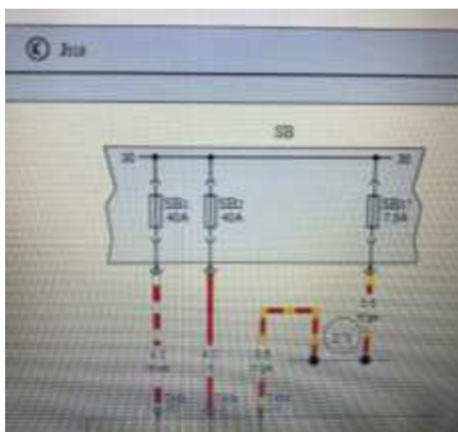
Libreto s časovým plánem i tabulky pro měření nalezneme v přílohách této práce.

3.4 POSTUP MĚŘENÍ

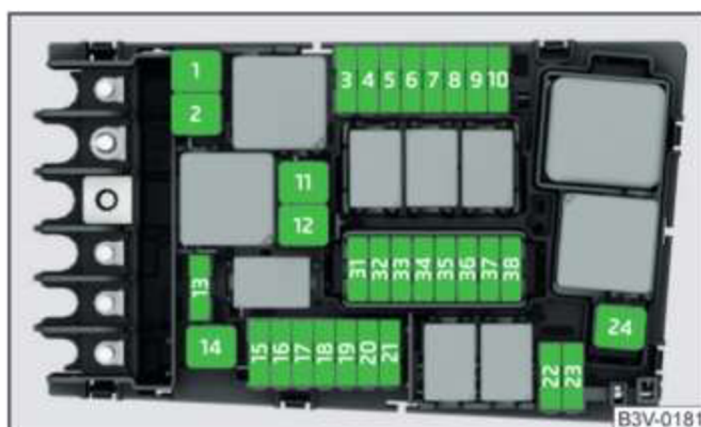
Měření začalo přípravou pomůcek a vozidla samotného na VUT ÚSI. Byl zkontrolován a upraven tlak pneumatik na požadovanou hodnotu předepsanou výrobcem pro přepravu jedné osoby (řidiče) bez nákladu, a to 2,2 baru a byla provedena zkouška deaktivace ABS.

Deaktivace ABS

Deaktivace ABS proběhla formou vyjmutím pojistek dle níže zobrazeného schématu, tedy odpojením pojistek č. 1 a 2. Odpojení pojistky č. 17 nebylo nutné.



Obr. 21 : Schéma odpojení ABS;



Obr. 22: Schéma pojistek vozu Škoda Superb; Zdroj: Návod k obsluze Škoda Superb 3



Obr. 23 : Pojistková skříň Škoda Superb, deaktivované ABS

Pro opětovnou aktivaci ABS byly při vypnutém zapalování motoru vráceny pojistky č.1 a 2 zpět. Po přípravě vozidla a pomůcek proběhl přesun na místo měření (viz 3.1), kde se připravila zbývající technika – připevnění kamery Garmin na přední pneumatiku pomocí vakuové přísavky, umístění kamery z profilu trasy, umístění XL Meteru z vnitřní části čelního skla a následná kalibrace zařízení. Poté mohlo započít samotné měření.

Po zapnutí měření na XL Meteru bylo vozidlo rozjeto na vhodnou rychlost (50–80 km/h), následně byla postupně zvyšována brzdná síla až do zastavení vozu. Cílem bylo sledovat začátek blokovací stopy, označit stopu na vozovce barevným sprejem, provést fotodokumentaci stopy a pomocí měřicího kolečka změřit délku stopy. Zaznamenána byla vždy délka stopy delší, popř. se poznamenala absence jedné ze stop.

Fotodokumentace

Po každém pokusu byl pomocí barevného spreje označen začátek a konec stopy a zaznamenáno číslo pokusu, a to 1-8 pro letní pneumatiky, 1b-8b pro pneumatiky zimní. Pro měření s ABS a bez ABS byla využita odlišná barva spreje. Následně proběhla tvorba fotodokumentace, kde se u každého měřeného pokusu zaznamenal snímek začátku a

konce každé stopy, a to z výše očí (cca 170 cm) a z výše kolem (cca 40 cm). U delších stop byly snímky pořízeny dále každých 5 metrů.

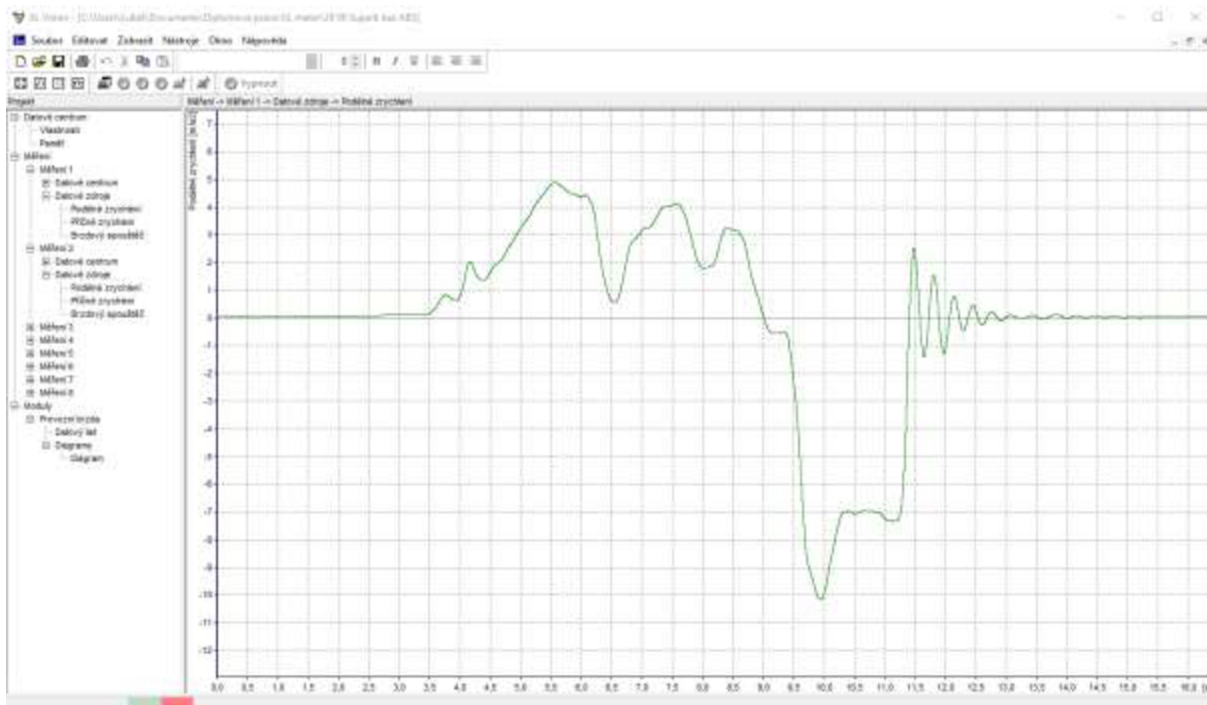
Pro širší variaci měření byl zvolen postup na 4 části, a to s aktivovaným a deaktivovaným ABS, na dvou různých druzích pneumatik, a to zimních a letních. Měření bylo rozděleno do dvou dnů. První den proběhla zkouška pneumatik letních, nejprve s deaktivovaným ABS, následně se po osmi pokusech (kapacita XL Meteru) exportovala data do notebooku, ABS opět aktivovalo vrácením pojistkové skříně do původního stavu a měření se opakovalo. Poté bylo vozidlo převezeno zpět na ÚSI, kde byla změřena hmotnost vozidla na stávajících pneumatikách, proběhla jejich výměna za zimní. V tomto stavu bylo vozidlo opět zváženo a připraveno tak na druhý den měření. Druhý den se měření opakovalo stejným způsobem na pneumatikách zimních.

4 NAMĚŘENÁ DATA

4.1 POUŽITÝ SOFTWARE

4.1.1 XL Vision™

Naměřená data pomocí XL Meteru™ je vzhledem k jejich výstupnímu formátu souborového typu XL Vision Project (.xdh) nutno zpracovat pomocí softwaru XL Vision™. Tento program umožňuje zobrazení výstupů z XL Meteru ve formě grafu (zejména podélné a příčné zrychlení) a případný import do textového souboru (.txt), který následně slouží pro import do tabulkového editoru MS Excel.



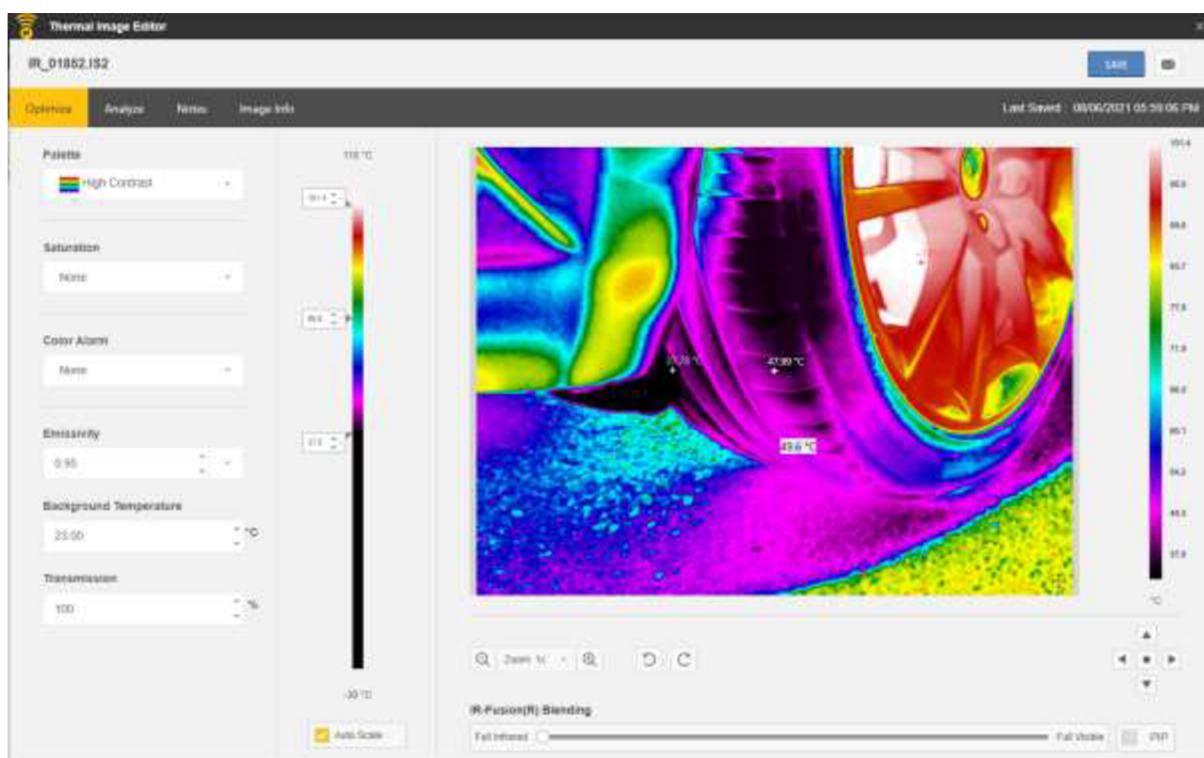
Obr. 24 Náhled na program XL Vision™, graf podélného zrychlení a zpomalení v čase

4.1.2 Fluke Connect

Součástí měření byla s cílem zjistit teplotu vozovky i práce s termokamerou Fluke TiX520. Jedná se o profesionální termokameru s dotykovým LCD displejem, s rozlišením infračervené kamery 320x240 (možnost přepnutí na režim SuperResolution se čtyřnásobkem pixelů) a teplotním rozsahem -20 °C až 850 °C. Zařízení dále obsahuje laserový dálkoměr schopný výpočtu vzdálenosti až do 30 metrů.

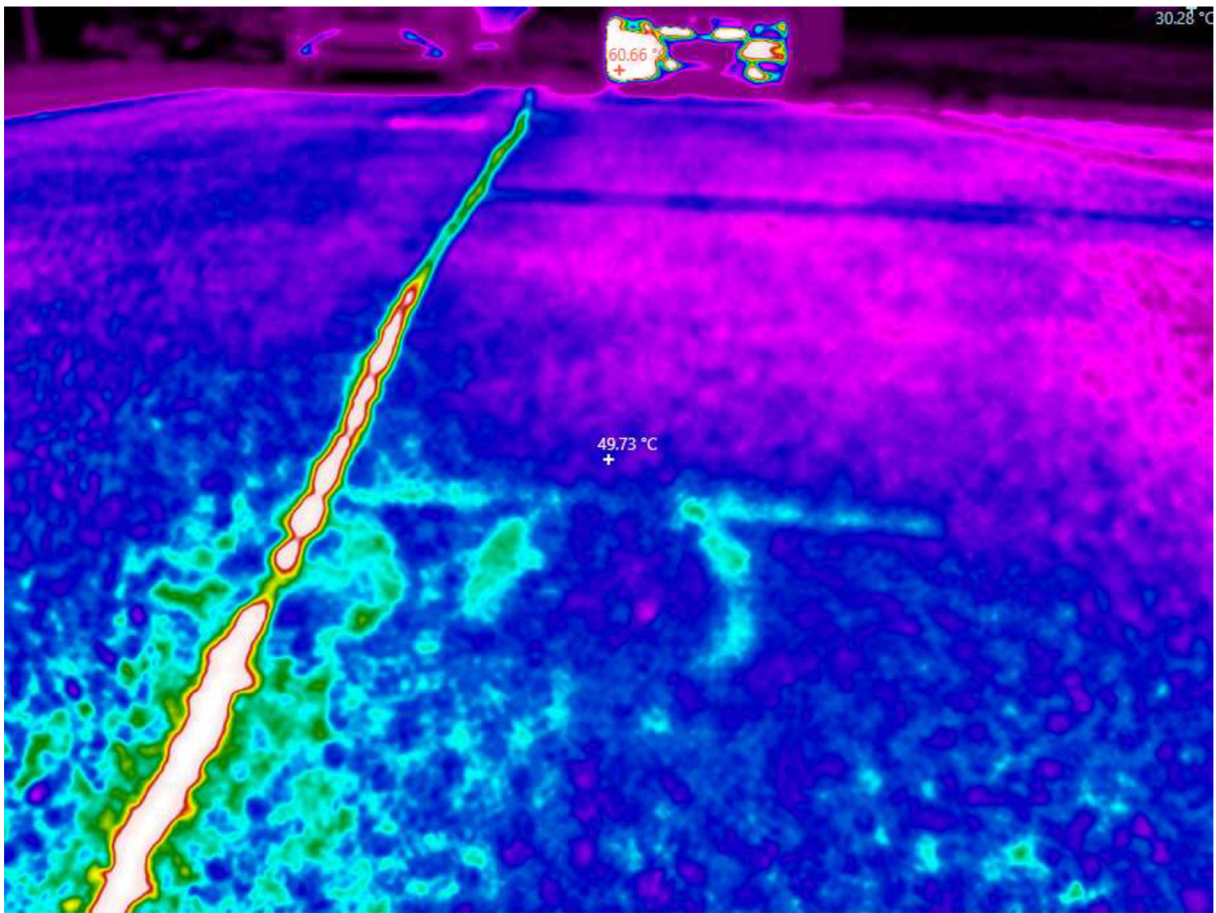
Výstupem z tohoto zařízení jsou snímky formátu .IS2, což je neobvyklý grafický formát obrazových tepelných dat vytvořený právě kamerami Fluke. Tato obrazová data zahrnují teploty, RGB obraz a metadata vytvořená během práce s termokamerou.

Pro otevření těchto dat lze použít například počítačovou aplikaci Fluke Connect, která po otevření snímku dokáže data upravovat a usnadňuje veškerou práci s nimi. Stejně jako na displeji kamery při zachycení dat se po otevření snímku v této aplikaci zobrazí teplota v místě středového kříže, dále bod s minimální teplotou a s teplotou maximální. Pomocí kurzoru lze zjistit teplotu jakéhokoliv bodu na snímku.



Obr. 25 Náhled na program Fluke Connect; snímek předního kola automobilu Škoda Superb

Termokamera zobrazuje naměřené teplotní hodnoty na displeji zařízení již při samotném měření, což zjednodušilo zpracování těchto dat a umožnilo okamžité zapsání naměřených hodnot do tabulek. Pro následující zpracování a porovnání byly snímky převedeny do digitální formy.



Obr. 26 Zachycení teploty vozovky

4.2 POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT

Data naměřená pomocí XL Meteru byla již na místě přesunuta ze zařízení do notebooku pomocí USB, kde byla společně s pořízenými fotografiemi uložena a připravena pro další zpracování. Samotná surová data ve formátu .xdh nalezneme společně s ostatními přílohami na přiloženém datovém CD-ROM nosiči, s kompletní fotodokumentací brzdné stopy z měření.

4.2.1 Export dat z XL Vision™

Po extrakci dat z XL Meteru do počítačové techniky bylo nutné potřebná data exportovat do textového souboru. Ten pak obsahoval 4 sloupce dat – čas, podélné zrychlení, příčné zrychlení a data brzdového spouštěče, který byl pro toto měření nedostupný. Následoval import do tabulkového editoru MS Excel, kde byla vybrána jen potřebná data (čas, podélné zrychlení) a graf zkrácen o stání vozidla před a po měření. Z důvodu menší odchylky kalibrace zařízení bylo pro všechna data podélného zrychlení

potřeba určit koeficient pro korekci dat tak, aby se počáteční zrychlení rovnalo 0. Tento koeficient byl z důvodu kolísavosti hodnot určen jako průměr prvních několika desítek dat podélného zrychlení. Následně byla provedena korekce, kde veškerá data podélného zrychlení byla o tento koeficient zmenšena, čímž se začátek i konec grafu více přiblížil k nule. Hodnoty tohoto koeficientu se pohybovaly v rozmezí od nuly do přibližně $\pm 0,2 \text{ ms}^{-2}$. Tento koeficient s následnou korekcí byl určen a využit pro každý měřicí pokus zvlášť. Data upravená tímto koeficientem byla následně převedena do grafu (na osu Y), kde na osu X byl nanesen příslušný čas. Graf rovněž zjednodušil orientaci v datech pro následující postup.

4.2.2 Algoritmus výpočtu

Pro každý měřicí pokus byl poznamenán čas počátku brzdění (t_b) a zastavení (t_z). Dále byla vytvořena tabulka s hodnotami rychlosti (v_1), průměrného zpomalení během celého brzdění (a_1), vypočítaná brzdná dráha (s_1), naměřená stopa (s_2), čas počátku tvorby stopy (t_s), zpomalení a rychlost v čase počátku tvorby stopy (a_s , v_s) a na konec naměřená teplota vozovky (t_v).

Pro určení hodnoty rychlosti na počátku brzdění je nejprve je nutno zjistit průměr zrychlení až do času počátku brzdění. Pomocí MS Excel využijeme funkci „=průměr()“, kde interval hodnot bude odpovídat hodnotám zrychlení v čase $t \in (0; t_b)$. Získané zrychlení pak dosadíme do vzorce:

$$v_1 = a * t * 3,6 \text{ [km/h]} \quad (26)$$

Hodnotu průměrného zpomalení získáme stejnou funkcí „=průměr()“, kde do intervalu dosadíme hodnoty zrychlení odpovídající časovému intervalu $t \in (t_b; t_z)$. Tuto hodnotu využijeme k následujícímu výpočtu celkové brzdné dráhy s_1 :

$$s_1 = \frac{\left(\frac{v_1}{3,6}\right)^2}{2 * a_1} \quad (27)$$

Délku naměřené stopy s_2 doplníme z tabulek měření.

Druhou částí je tabulka zaměřená na výpočet času tvorby stopy (t_s) a aktuální rychlosti v tomto čase (v_s). Podle času t_s nalezneme odpovídající hodnotu zpomalení

v tomto čase (a_s). Pro výpočet je použit čas konce brzdění, resp. zastavení vozidla (t_z) a čas tvorby stopy (t_s), jehož zjištění je cíl tohoto algoritmu. Smysl spočívá v dosazování hodnoty času t_s , a to postupným navyšováním hodnoty času počátku brzdění t_b s cílem dosáhnout hodnoty vypočítané stopy nejbližší hodnotě stopě naměřené.

Kroky výpočtu jsou následující:

1. Pomocí hledaného času tvorby stopy (t_s) (dosazujeme postupným navyšováním hodnoty času brzdění t_b) a konce brzdění t_k **zjistíme průměrné zpomalení** v tomto úseku, a to opět pomocí funkce „=průměr()“, kde interval zrychlení odpovídá času $t \in (t_s; t_z)$.
2. Určíme dobu tvorby smyku rozdílem hodnot $t_z - t_s$.
3. Pomocí součinu zpomalení zjištěného v kroku 1. a rozdílu časů z kroku 2. zjistíme rychlost v čase počátku tvorby stopy (v_s).
4. Pomocí následujícího vzorce určíme vypočítanou délku stopy za daných podmínek.

$$s_{2v} = \frac{\left(\frac{v_s}{3,6}\right)^2}{2 * a_1} \quad (28)$$

Postupným navyšováním hodnoty času t_s hledáme hodnotu vypočítané délky stopy nejbližší délce stopy naměřené (s_2). Po přepsání hodnoty času t_s je nutno upravit funkci průměru určující zpomalení. Pro jednodušší úpravu funkce průměru lze využít vzorec pro určení řádku odpovídajícímu dané hodnotě času a tento řádek ve funkci jednoduše přepsat.

=PRŮMĚR(C2134:C2398)*-1				
	N	O	P	Q
dhad		10,66	2134	
onec brz		11,98	2398	
Zpomalení			9,68	
Čas			1,32	
rychlost			45,97725	
stopa			8,429163	8,45

Obr. 27 Změna funkce pomocí vypočteného řádku; Porovnání hodnot stopy

5. Po každé úpravě hodnoty t_s porovnáme vypočtenou a naměřenou délku stopy. Pokud je vypočtená hodnota vyšší, je nutno zvýšit hodnotu času t_s . Hledáme dvě **sousední** hodnoty času t_n a t_{n+1} , pro které platí podmínka pro výstupní hodnoty:

$$s_{t_n} \geq s_2 \geq s_{t_{n+1}}$$

Hodnota t_s je rovna hodnotě času, jehož výsledná hodnota dráhy je nejbližší naměřené délce smyku s_2 .

6. Pro tuto hodnotu času t_s nalezneme odpovídající hodnotu zrychlení v tomto čase.

4.2.3 Název měřicího pokusu

1bez_1

- První číslice v názvu značí den měření a typ použitých pneumatik (1 – letní; 2 – zimní).
- Po první číslici následují písmena značící, zdali je aktivováno ABS (bez / ABS).
- Poslední je číslice značící pořadí měřicího pokusu pro podmínky dané před podtržítkem.

4.2.4 Chybná data

XL Meter™ zaznamenává data od počátku měřicího pokusu, kdy se v přístroj aktivoval pomocí ovládacích tlačítek. Od té chvíle zaznamenává data zrychlení a dále je vyhodnocuje, dokud se v klidové poloze měření opět neukončí (opět tlačítkem na přístroji). Pokud se vozidlo po zastavení opět rozjede bez ukončení měření v XL Meteru, přístroj začne měřit novou relaci a původní průběh brzdění přepíše. Tím může dojít ke ztrátě naměřených dat, jak k tomu došlo u pokusu 1bez_2 a 1abs_1 (po zastavení došlo k menší manipulaci vozidla dříve, než došlo k ukončení pokusu v XL Meteru).

Dále u některých měření byl zaznamenán pouhý šum, který byl pro účely této práce rovněž nepoužitelný. Jedná se celkem o 4 pokusy, a to 1bez_3, 1bez_8, 2bez_4 a 2abs_3.

4.2.5 Obecný popis průběhu zrychlení v závislosti na čase

Na grafu níže je zobrazena názorná ukázka grafu závislosti zrychlení na čase, konkrétně se jedná o měřicí pokus 2abs_4, jež bude popisován dále. Na ose Y vidíme nanesenou hodnotu zrychlení, či akcelerace a . Pro hodnoty kladné, tedy nad osou X, hovoříme o zrychlení, pro záporné hodnoty pod osou X pak o zpomalení. Průběh je znázorněn ve 4 barvách. Žlutá barva znázorňuje stav, kdy vozidlo stojí v klidu, tedy s nulovou akcelerací. Zelená barva značí rozjezd vozidla, kde poklesy v průběhu hodnoty zrychlení značí řazení na vyšší převodové stupně. Na konci zeleného úseku průběh prudce klesá a dostává se do záporných hodnot (zvýrazněno červeně). Zde mluvíme o záporné akceleraci, tedy o zpomalení. Červený průběh tedy značí průběh brzdění společně s náběhem brzdového účinku. Kolísavá hodnota v této části (v čase přibližně od 15 s do 16,8 s) znázorňuje funkci brzdového systému ABS, která upravuje hodnotu zrychlení tak, aby nedošlo k blokaci kol. Poté se hodnota zrychlení opět vrací k nule, kde dochází k zastavení automobilu. Modrý průběh pak značí typické houpavé pro pružení po zastavení až do vyrovnání hodnoty akcelerace na nulu, kde vozidlo opět setrvává v klidu.

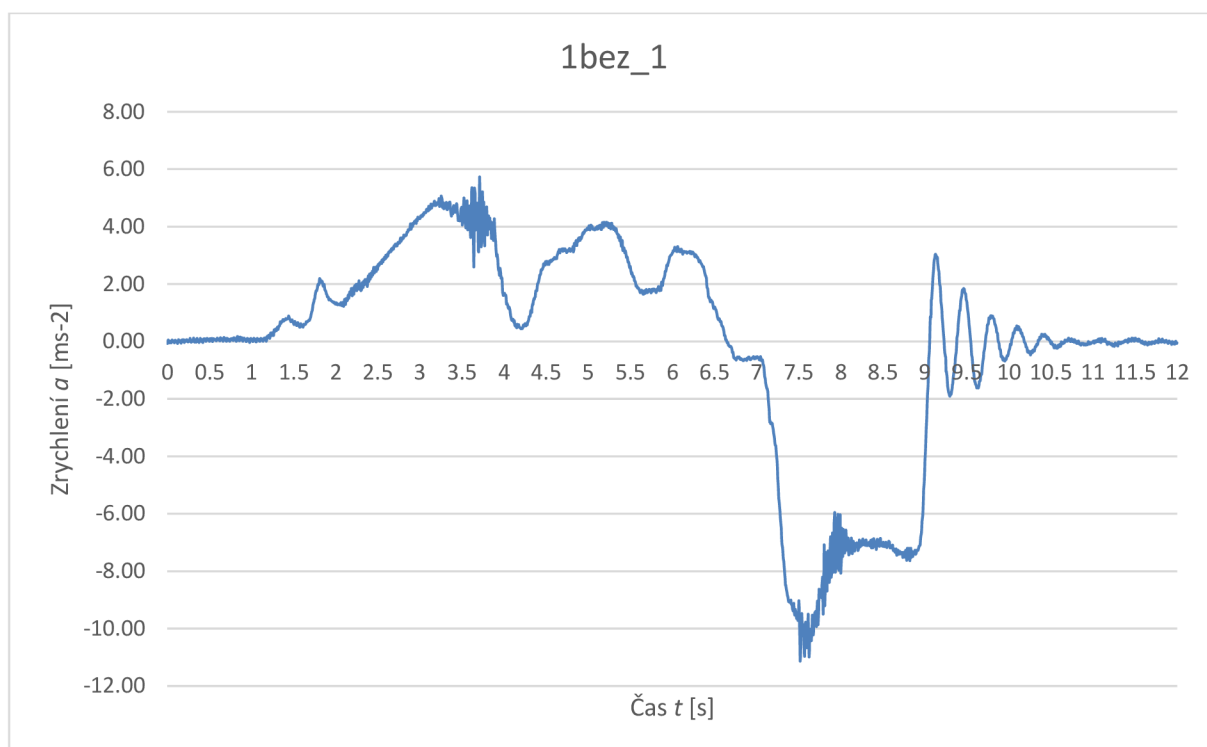


Graf č. 4 Obecný popis průběhu zrychlení v čase, názorný příklad

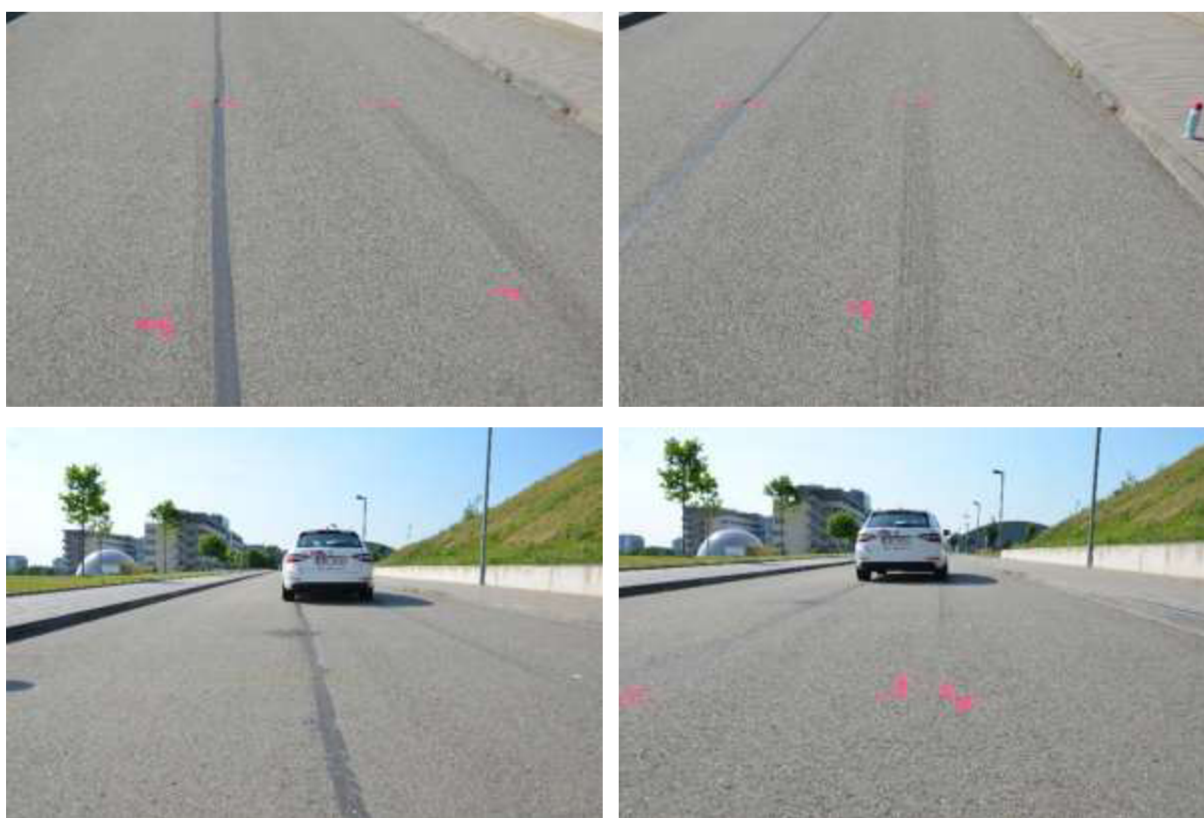
4.3 VYHODNOCENÍ POKUSŮ MĚŘENÍ

Naměřené hodnoty jsou v následující kapitole popsány pomocí grafu průběhu závislosti zrychlení na čase a fotografiemi stopy, které byly z kompletní fotogalerie vybrány dle relevance a viditelnosti stop. Fotografie s grafickým průběhem jsou dále doplněny slovním komentářem popisujícím konkrétní měřený pokus, viditelnost stop a průběh stopy a porovnávající některé z vypočtených hodnot v přiložené tabulce k danému měření. Kompletní fotogalerii nalezneme na přiloženém datovém CD-ROM nosiči.

4.3.1 Pokus 1bez_1



Graf č. 5 - Průběh zrychlení, 1bez_1



Obr. 28 - Fotodokumentace stopy, 1bez_1

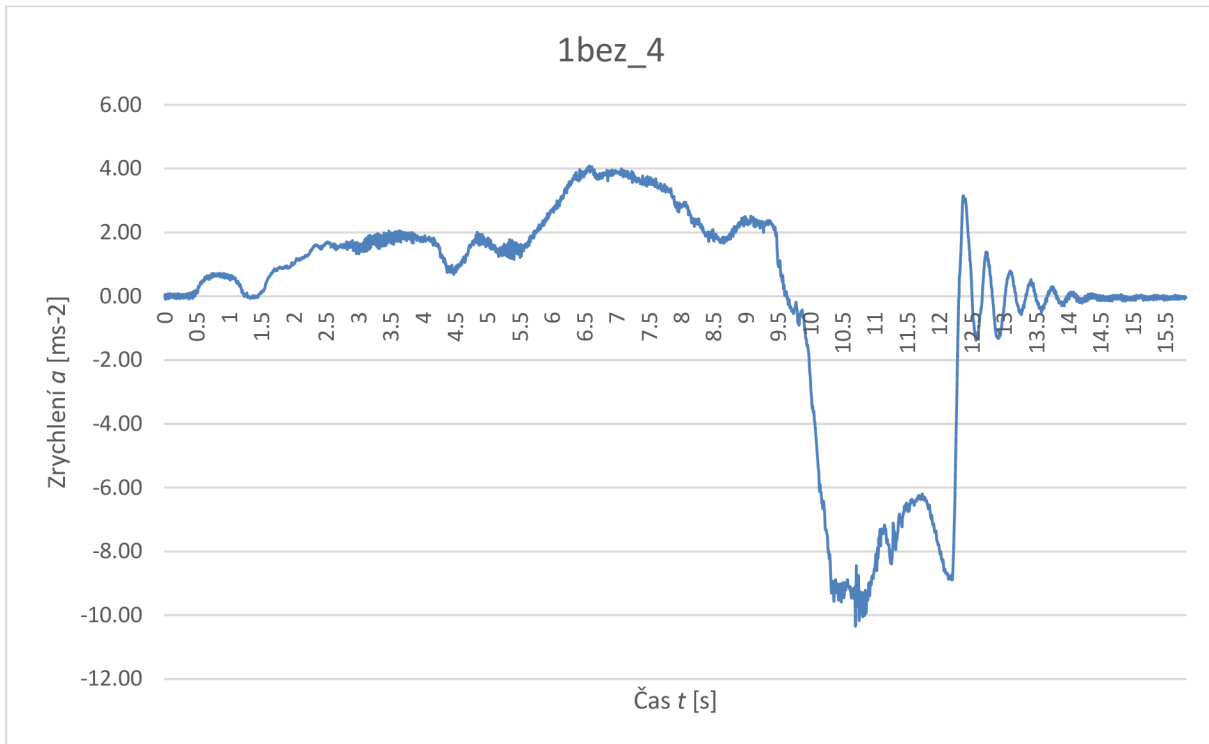
Na sérii fotografií lze zpozorovat souvislý skluz bez ABS se stejnou délkou levé i pravé stopy, jejíž naměřená hodnota byla 12 m. Stopa je jasná, lehce viditelná. Jak napovídá grafický průběh, skluz je způsoben prudkým nárůstem hodnoty zpomalení způsobené prudkým sešlápnutím brzdového pedálu. Po překročení hodnoty adheze došlo k zablokování kol a následnému tření mezi pneumatikou a vozovkou, což mělo za následek pokles hodnoty zpomalení a zanechání brzděné stopy. Dle grafického průběhu vozidlo během smýkání brzdilo se zpomalením kolem 7 m/s^2 .

Dle výpočtu se nachází hodnota zpomalení, při kterém se blokovácí stopa tvoří, právě v úseku s prudkým nárůstem zpomalení. Malá odchylka délky stopy tedy může znamenat zásadní rozdíl výsledků výpočtu.

Tabulka 4 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 1bez_1

Počátek brzdění:	7,00	[s]
Konec brzdění:	9,06	[s]
Rychlost	50,98	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,87	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	14,60	[m]
Naměřená stopa	12	[m]
Čas počátku tvorby stopy	7,285	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-6,12	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	48,60	[km/h]
Teplota vozovky	38	[°C]

4.3.2 Pokus 1bez_4



Graf č. 6 - Průběh zrychlení, 1bez_4



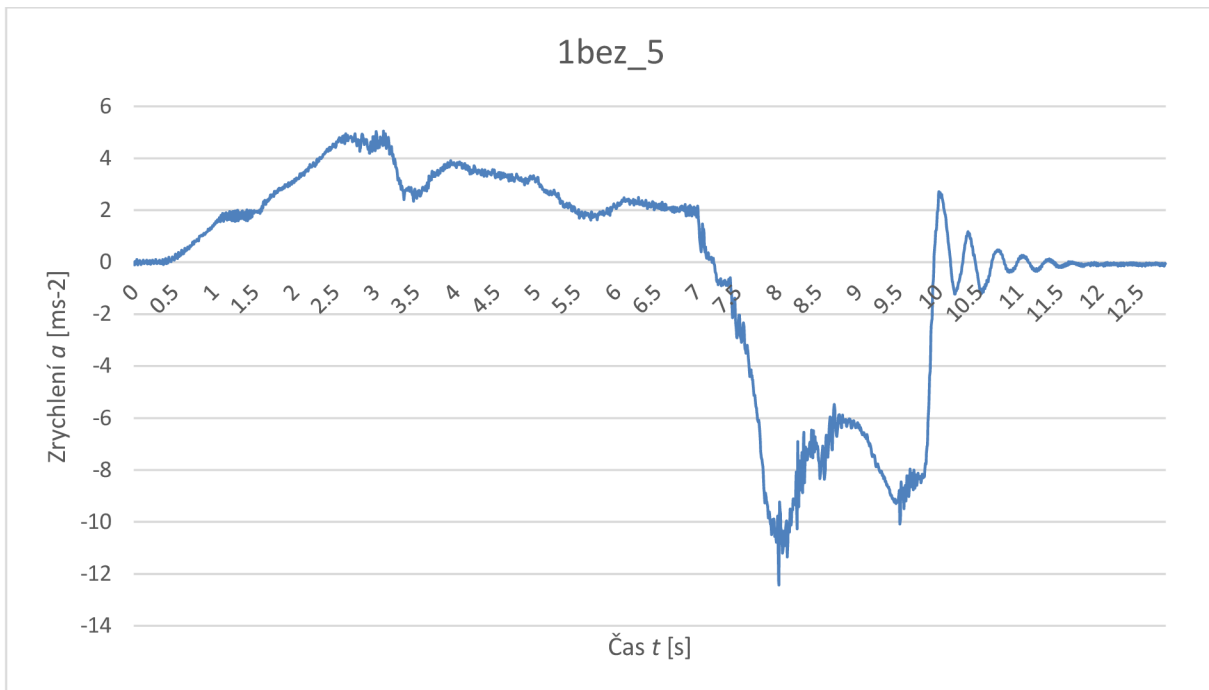
Obr. 29 Fotodokumentace stopy, 1bez_4

Z grafického průběhu stopy je patrný prudký nárůst hodnoty zpomalení s průběžným poklesem. To je pravděpodobně způsobeno instinktivním povolením brzdového pedálu ve chvíli skluzu. Počátek blokovací stopy byl však postupný, na fotografii ale hůře zpozorovatelný. Pravá stopa je výrazně zřetelnější, počátek však ve stejné délce. V průběhu stopy se optická viditelnost vytrácí, konce obou stop byly velmi málo zřetelné, zpomalení na konci úseku již nepřekročilo vypočtenou hodnotu zpomalení tvorby stopy $9,22 \text{ m/s}^2$.

Tabulka 5 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_4

Počátek brzdění:	9,645	[s]
Konec brzdění:	12,305	[s]
Rychlost	63,40	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,65	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	23,31	[m]
Naměřená stopa	13,3	[m]
Čas počátku tvorby stopy	10,455	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-9,22	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	51,82	[km/h]
Teplota vozovky	43	[°C]

4.3.3 Pokus 1bez_5



Graf č. 7 - Průběh zrychlení, 1bez_5



Obr. 30 - Fotodokumentace stopy, 1bez_5

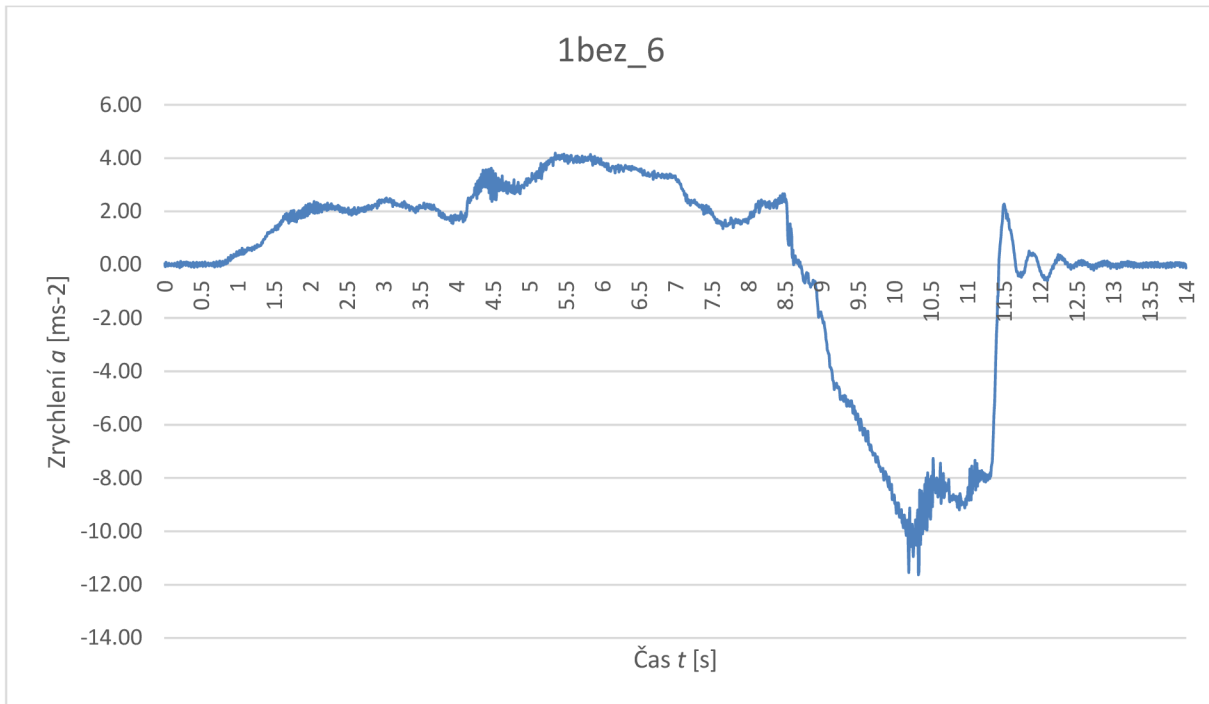
Grafický průběh 5. pokusu bez ABS byl obdobný předchozímu, avšak viditelnost stopy byla znatelně výraznější. V čase 8 sekund zpomalení přesahovalo hodnotu 10 m/s^2 , poté došlo k blokaci kol a následnému smyku. Během tohoto smyku hodnota zpomalení značně klesla, a to až na hodnotu 6 m/s^2 , poté začala opět vzrůstat.

Blokovací stopy jsou obě přibližně stejně dlouhé, od počátku se zviditelňují postupně. Nejvýraznější je stopa v úseku s nejnižším lokálním zpomalením (6 m/s^2), kde je dobře viditelná i stopa předního pravého kola. Docházelo tedy k intenzivnímu smyku i přední nápravy, což způsobilo zmíněný pokles zpomalení. Ke konci je stopa značně méně výrazná, což se dá přirovnat k lehkému povolení brzdového pedálu, odblokování kol a dobrzdění s vyšší hodnotou zpomalení.

Tabulka 6 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_5

Počátek brzdění:	7,19	[s]
Konec brzdění:	9,94	[s]
Rychlost	65,44	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,69	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	24,72	[m]
Naměřená stopa	16,6	[m]
Čas počátku tvorby stopy	7,88	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-9,69	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	58,07	[km/h]
Teplota vozovky	44	[°C]

4.3.4 Pokus 1bez_6



Graf č. 8 - Průběh zrychlení, 1bez_6



Obr. 31 - Fotodokumentace stopy, 1bez_6

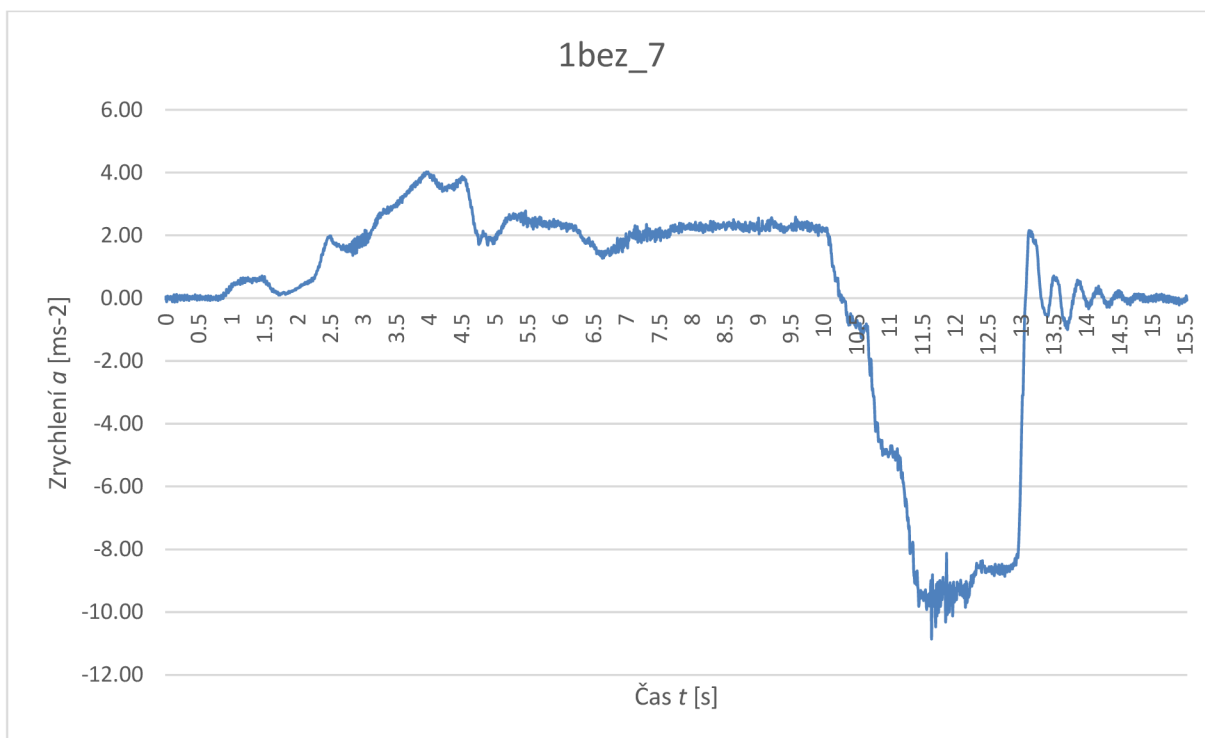
Na grafickém průběhu pokusu 1 bez_6 lze pozorovat postupný nástup zpomalení, způsobený pozvolným sešlápnutím brzdového pedálu, což se také projevuje na průběhu a výraznosti stopy. Počátek je velmi slabý, na fotografii velmi obtížně viditelný. Viditelnost na místě měření byla rozpoznatelná pouze pod velmi malým úhlem. Stopy jsou přibližně stejně dlouhé, pravá kratší. Zviditelňují se postupně, konec stopy je u pravé značně viditelnější, zejména u předního kola.

Na fotografiích je rovněž vidět ztráta stability vozidla, kde stopa zadních kol je vybočena vpravo.

Tabulka 7 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 1 bez_6

Počátek brzdění:	8,695	[s]
Konec brzdění:	11,435	[s]
Rychlost	68,19	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,64	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	27,03	[m]
Naměřená stopa	14,3	[m]
Čas počátku tvorby stopy	9,57	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-6,26	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	55,28	[km/h]
Teplota vozovky	45	[°C]

4.3.5 Pokus 1bez_7



Graf č. 9 - Průběh zrychlení, 1bez_7



Obr. 32 - Fotodokumentace stopy, 1bez_7

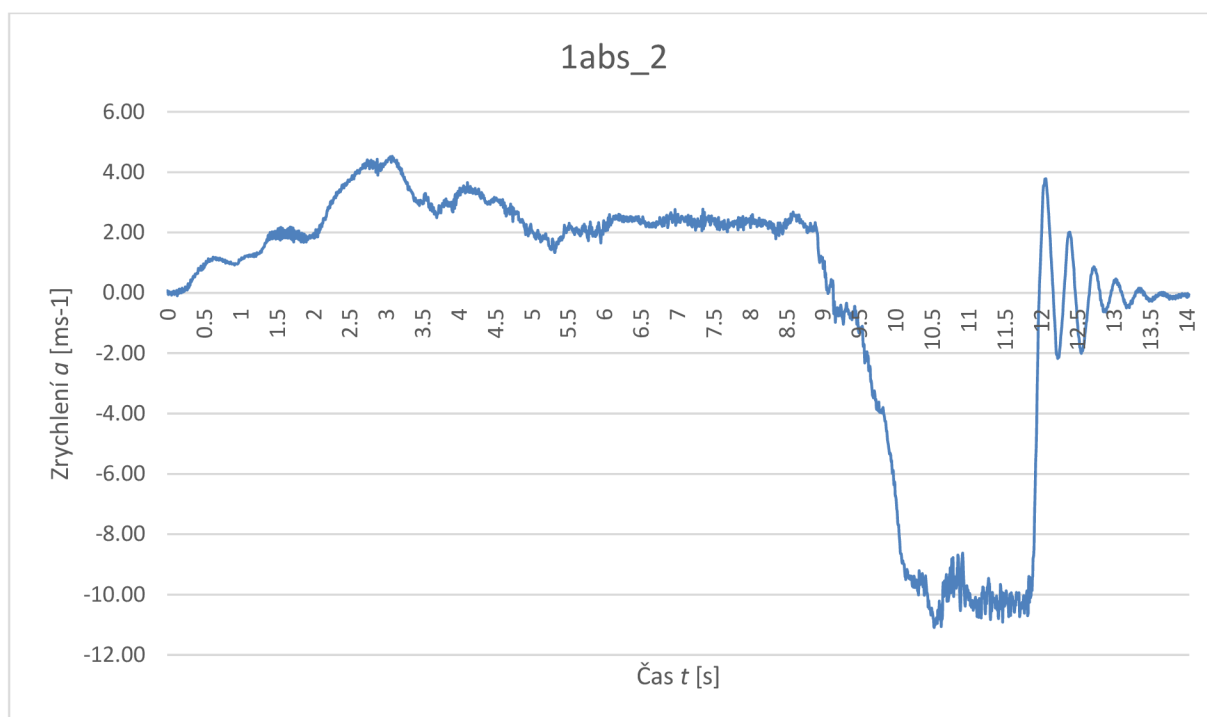
Na sedmém měření bez ABS je rovněž vidět ztráta stability vozidla vybočením blokovacích stop doleva. Vzhledem ke grafickému průběhu můžeme říct, že opět docházelo k plynulejšímu náběhu brzd, čemuž odpovídá i viditelnost stopy, která je v počátku viditelná pouze pod velmi malým úhlem. Průběh hodnoty zpomalení během tvorby smyku postupně povolna klesá, zatímco intenzita viditelnosti stopy se zvyšuje.

Dle výpočtu vychází počátek tvorby blokovací stopy času 11,16 sekundy. V tomto čase lze v grafu vidět výkyv během náběhu zpomalení, což by mohlo odpovídat počátku částečného skluzu. S rostoucí hodnotou zpomalení roste i hodnota skluzu, až dochází k blokaci pneumatik a následnému smyku.

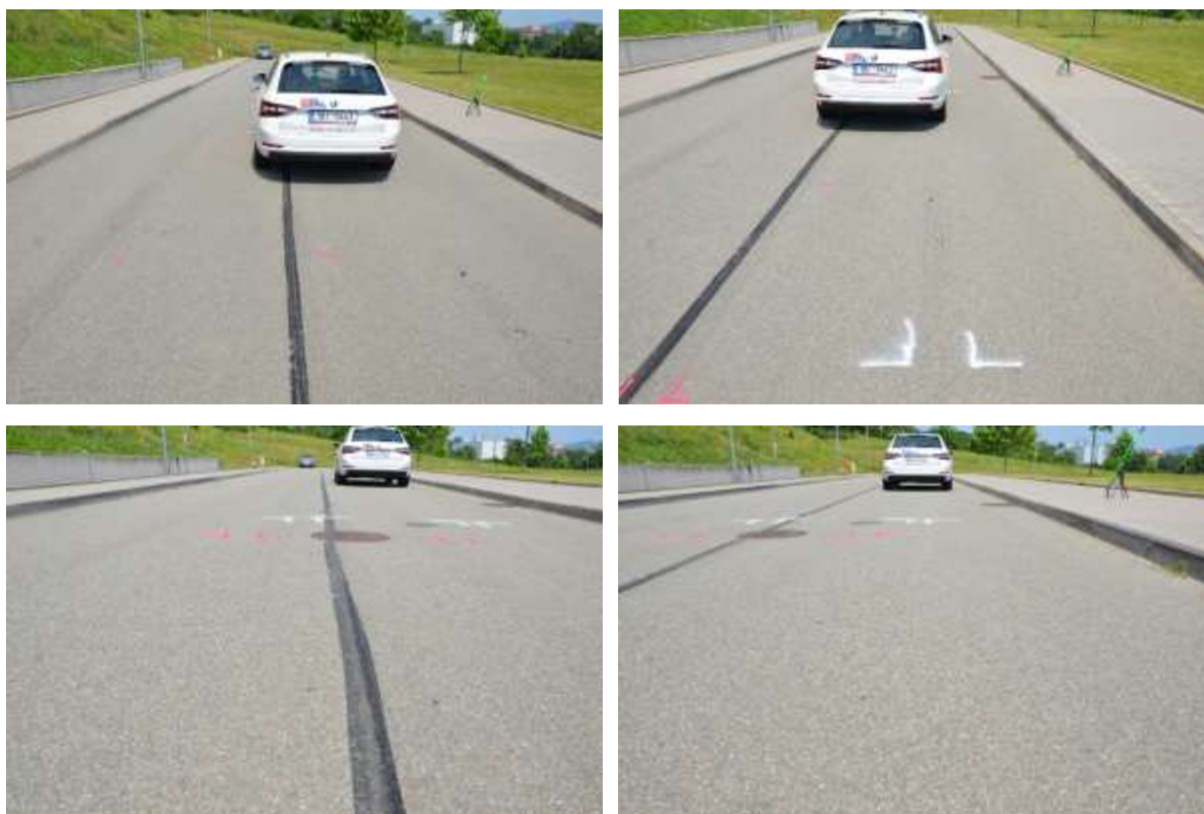
Tabulka 8 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_7

Počátek brzdění:	10,25	[s]
Konec brzdění:	13,05	[s]
Rychlost	68,35	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,64	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	27,15	[m]
Naměřená stopa	15,4	[m]
Čas počátku tvorby stopy	11,16	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-5,08	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	58,60	[km/h]
Teplota vozovky	46	[°C]

4.3.6 Pokus 1abs_2



Graf č. 10 - Průběh zrychlení, 1abs_2



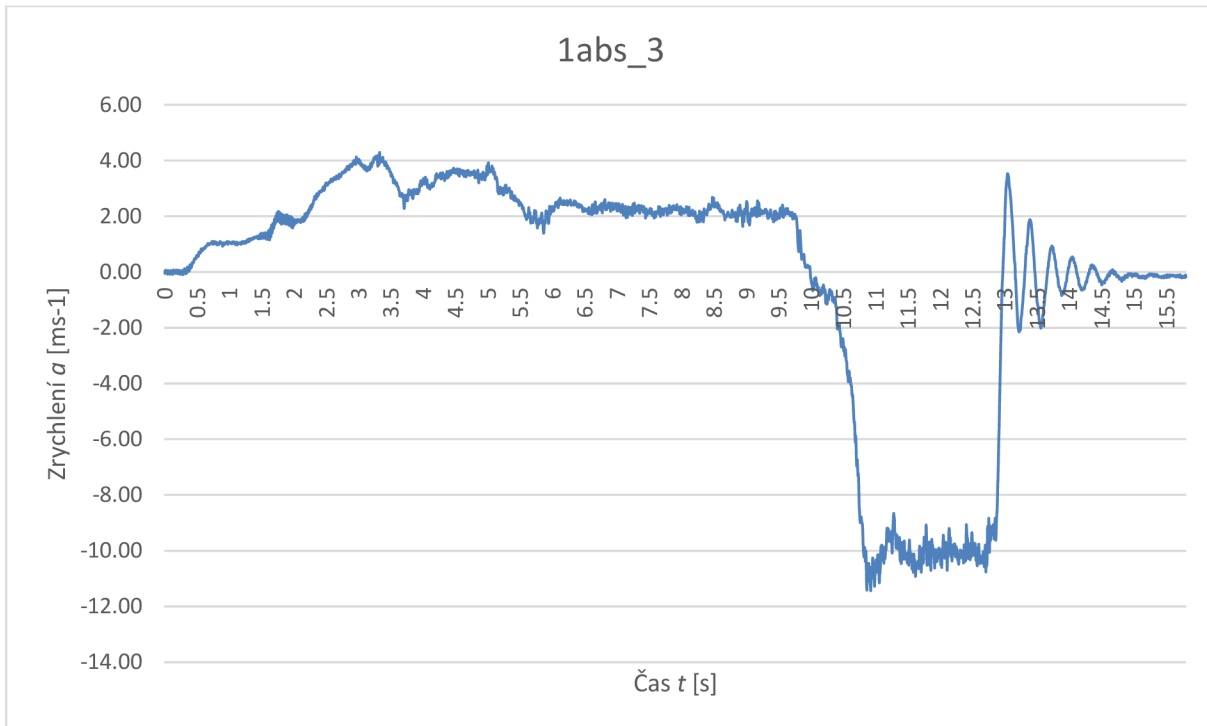
Obr. 33 - Fotodokumentace stopy, 1abs_2

U měření s ABS je zřejmé, že hodnota zrychlení bude kolísat v podobných hodnotách s méně výraznou stopou z důvodu zasahování brzdového systému. Dle výpočtu došlo k počátku tvorby stopy v čase 10,66 s, ve kterém dochází k poklesu hodnoty zpomalení. Zde zasahuje ABS omezující brzdnou sílu pro optimalizaci a udržení procenta skluzu v optimální hodnotě. Stopa je tak velmi slabá, nevýrazná. Levá stopa není zpozorovatelná vůbec. Jak již samotný graf napovídá, průměrná hodnota zpomalení při prudkém brzdění je s ABS znatelně vyšší a řízení stabilnější.

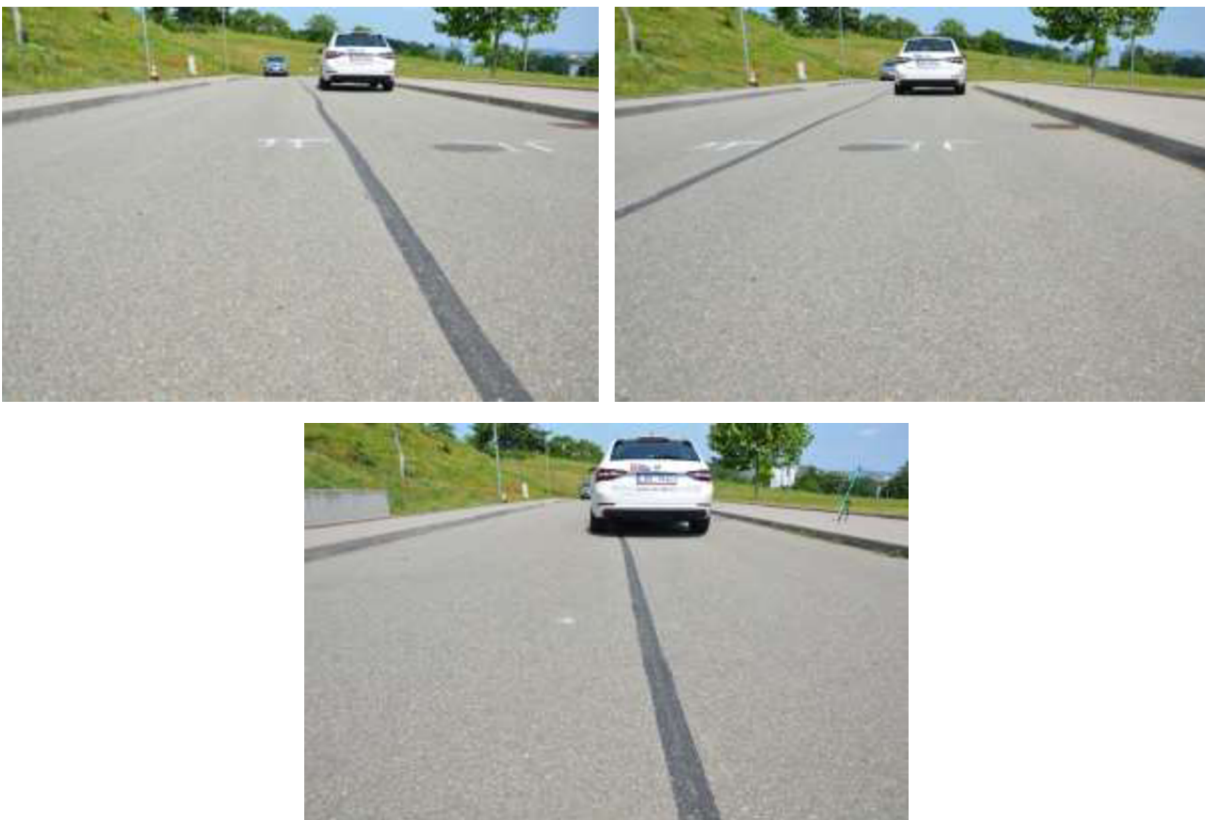
Tabulka 9 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_2

Počátek brzdění:	9,075	[s]
Konec brzdění:	11,98	[s]
Rychlost	75,66	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,36	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	34,72	[m]
Naměřená stopa	8,45	[m]
Čas počátku tvorby stopy	10,66	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-10,55	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	45,98	[km/h]
Teplota vozovky	52	[°C]

4.3.7 Pokus 1abs_3



Graf č. 11 - Průběh zrychlení, 1abs_3



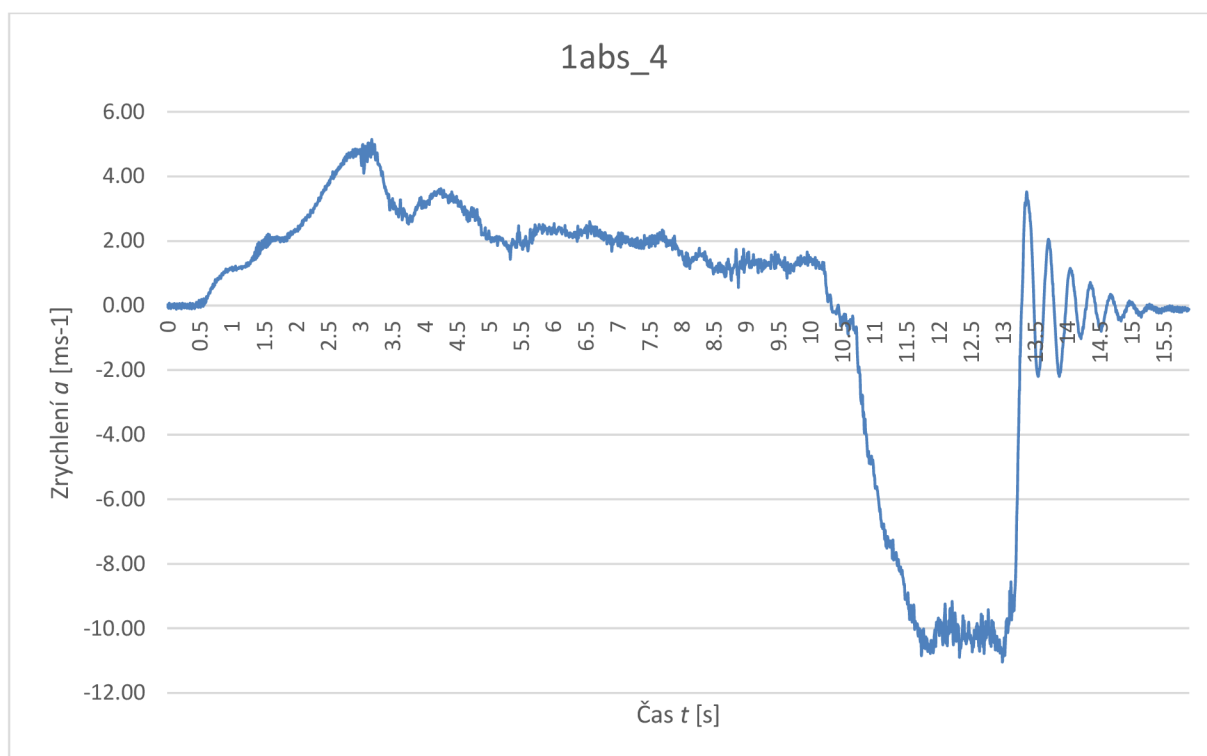
Obr. 34 - Fotodokumentace stopy, 1abs_3

Průběh brzdění během pokusu 1abs_3 je obdobný předchozímu. Průměrná hodnota zpomalení po prvním výkyvu poměrně stabilně kolísá kolem 10 m/s². Brzdná stopa není.

Tabulka 10 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_3

Počátek brzdění:	9,995	[s]
Konec brzdění:	12,975	[s]
Rychlost	81,79	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,84	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	32,91	[m]
Naměřená stopa	-	[m]
Čas počátku tvorby stopy	-	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	-	[km/h]
Teplota vozovky	52	[°C]

4.3.8 Pokus 1abs_4



Graf č. 12 - Průběh zrychlení, 1abs_4



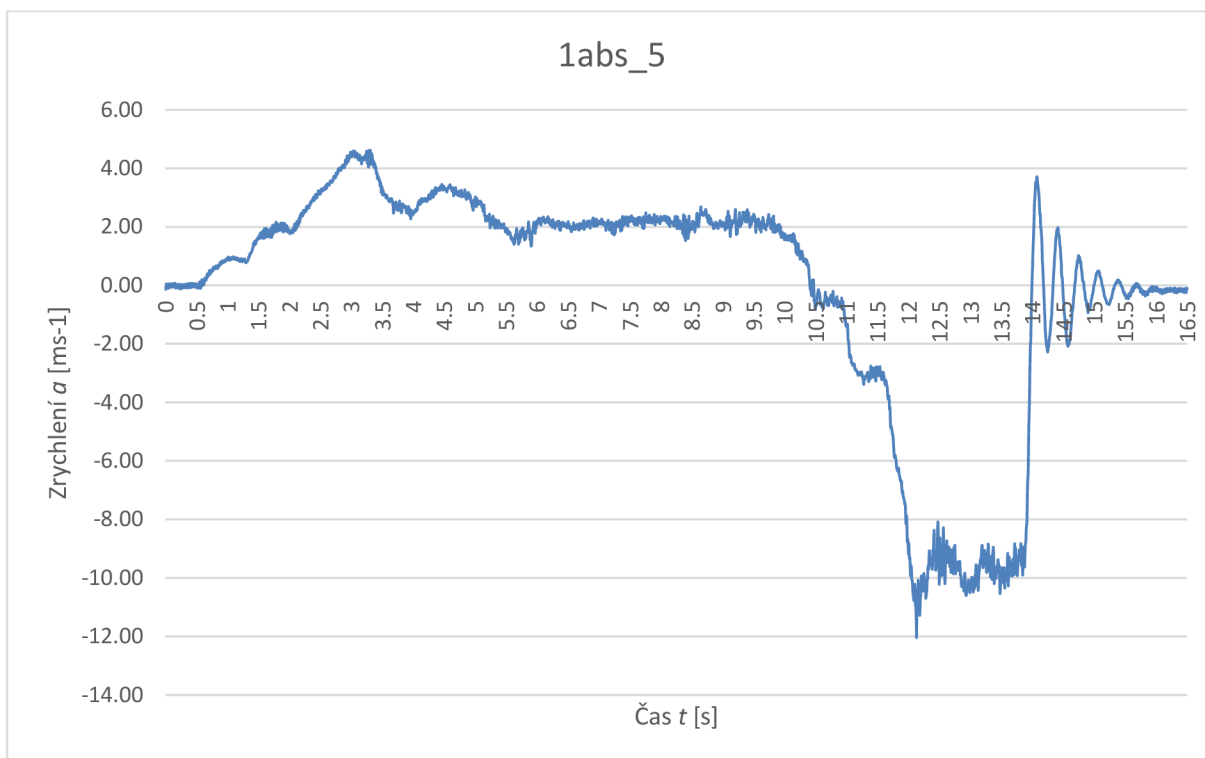
Obr. 35 - Fotodokumentace stopy, 1abs_4

U čtvrtého měření s ABS je náběh brzd pozvolnější, průměrné zpomalení obdobné. Maximální hodnota zrychlení se pohybuje v hodnotách podobných předchozím měření. Stopa je téměř neviditelná, na fotografii není zpozorovatelná vůbec. Počátek stopy byl s částečnou pochybností určen 9 metrů před zastavením vozu. Pro nízkou viditelnost je vysoká pravděpodobnost nepřesnosti naměřeného pokusu.

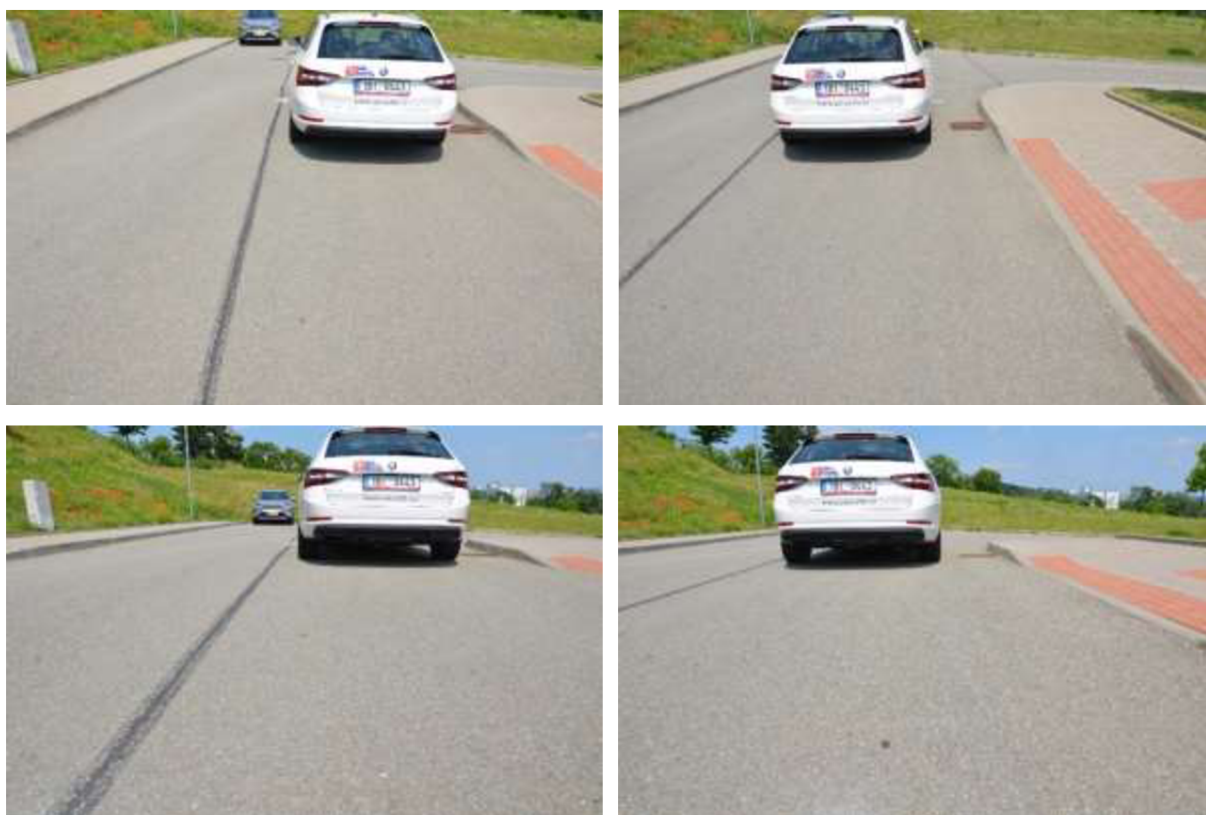
Tabulka 11 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 1abs_4

Počátek brzdění:	10,435	[s]
Konec brzdění:	13,295	[s]
Rychlost	77,89	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,80	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	30,01	[m]
Naměřená stopa	9	[m]
Čas počátku tvorby stopy	11,93	[s]
Zpomalení tvorby stopy	10,41	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	47,50	[km/h]
Teplota vozovky	54	[°C]

4.3.9 Pokus 1abs_5



Graf č. 13 - Průběh zrychlení, 1abs_5



Obr. 36 - Fotodokumentace stopy, 1abs_5

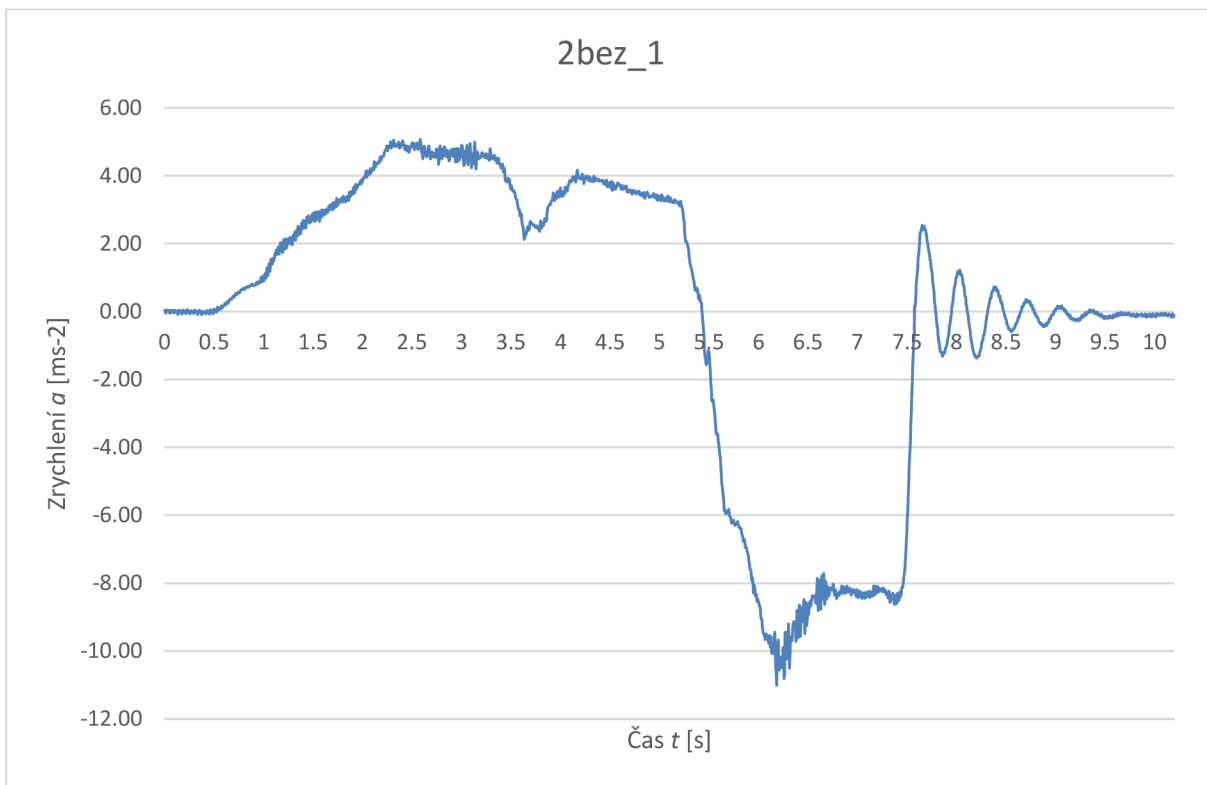
Páté měření s aktivovaným ABS proběhlo obdobně, jako 1abs_3. Maximální hodnota zpomalení během brzdění v grafu č. 12 nabývá nejvyšších hodnot, přesto tak intenzivní brzdění vozidla nezanechalo žádnou viditelnou stopu na vozovce.

Z důvodu absence stop bylo měření s letní sadou pneumatik a aktivovaným ABS ukončeno.

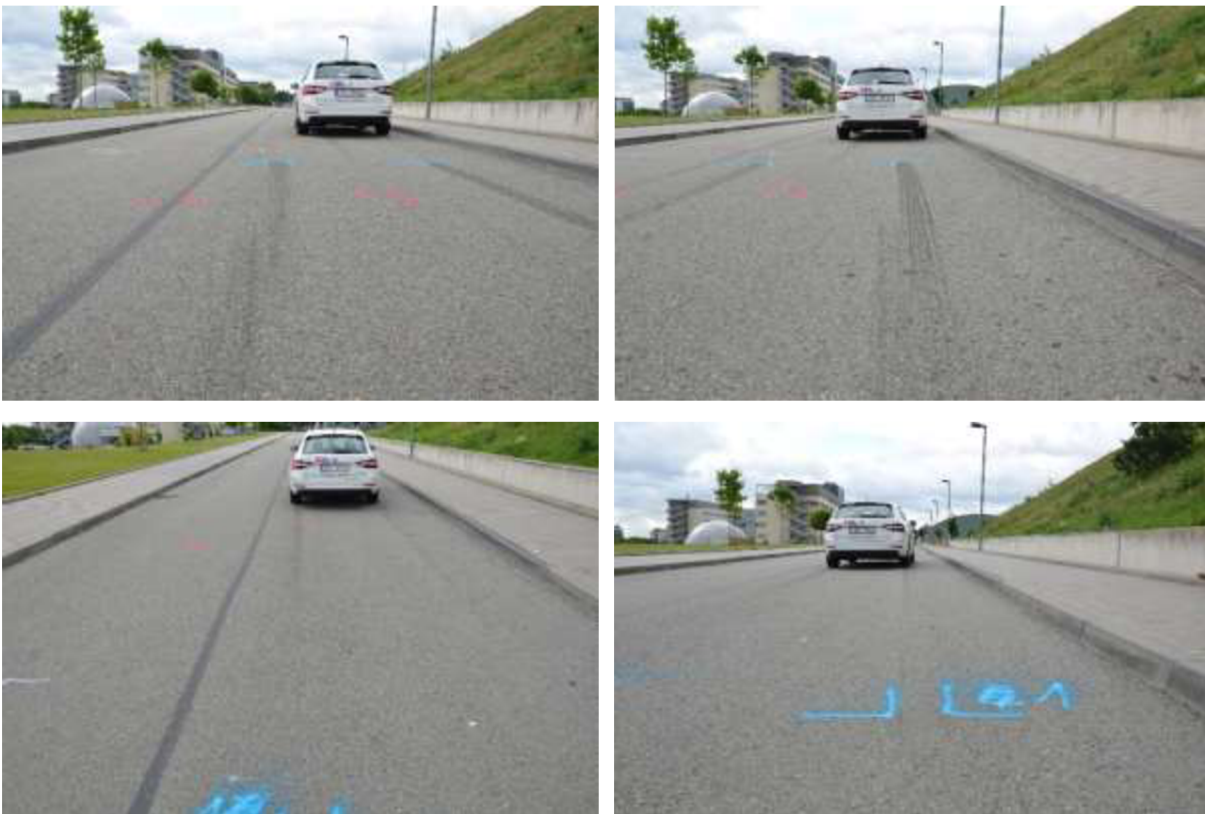
Tabulka 12 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_5

Počátek brzdění:	10,405	[s]
Konec brzdění:	13,995	[s]
Rychlost	80,64	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,46	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	38,83	[m]
Naměřená stopa	-	[m]
Čas počátku tvorby stopy	-	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	-	[km/h]
Teplota vozovky	54	[°C]

4.3.10 Pokus 2bez_1



Graf č. 14 - Průběh zrychlení, 2bez_1



Obr. 37 - Fotodokumentace stopy, 2bez_1

Druhá část měření probíhala na sadě zimních pneumatik, u kterých byl již při prvním pokusu měření pozorovatelný zásadní rozdíl oproti pneumatikám letním, a tím je tmavší a výraznější blokovácí stopa. Ta je způsobena měkčí gumárenskou směsí přizpůsobenou do nižších teplot, při kterých nabývá optimální tuhosti pro provoz.

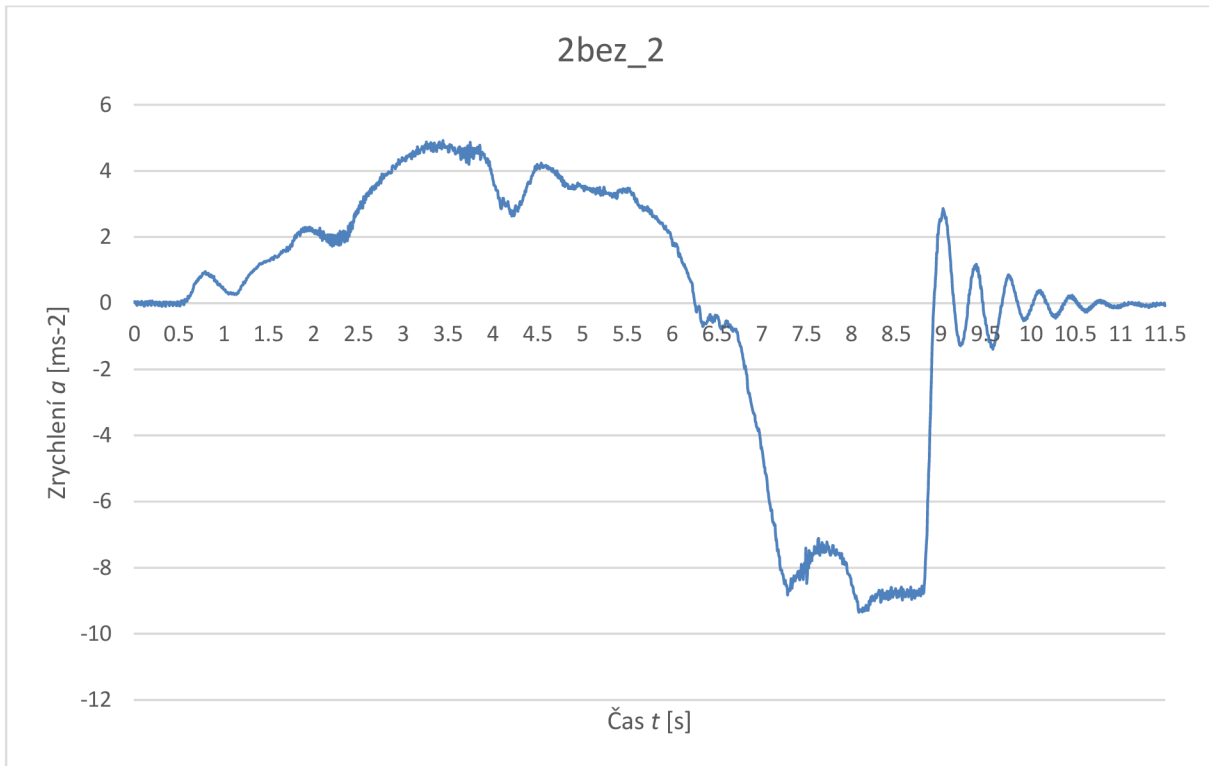
Z grafického průběhu je vidět, že vozidlo dosáhlo zpomalení podobného hodnotám s aktivovaným ABS, poté ale opět hodnota klesá postupnou narůstající hodnotou skluzu až do zablokování kol. Dle výpočtu došlo k tvorbě stopy ještě před dosažením maximální hodnoty zpomalení, čemuž odpovídá lehká změna průběhu během náběhu zpomalení.

Jak můžeme vidět na fotografiích z tohoto pokusu měření, došlo k blokaci všech kol automobilu a ke ztrátě stability. Hodnota zpomalení během smyku se pohybuje kolem $8,3 \text{ m/s}^2$.

Tabulka 13 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_1

Počátek brzdění:	5,43	[s]
Konec brzdění:	7,58	[s]
Rychlost	57,09	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,56	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	16,63	[m]
Naměřená stopa	12,75	[m]
Čas počátku tvorby stopy	5,83	[s]
Zpomalení tvorby stopy	6,50	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	52,50	[km/h]
Teplota vozovky	32	[°C]

4.3.11 Pokus 2bez_2



Graf č. 15 - Průběh zrychlení, 2bez_2



Obr. 38 - Fotodokumentace stopy, 2bez_2

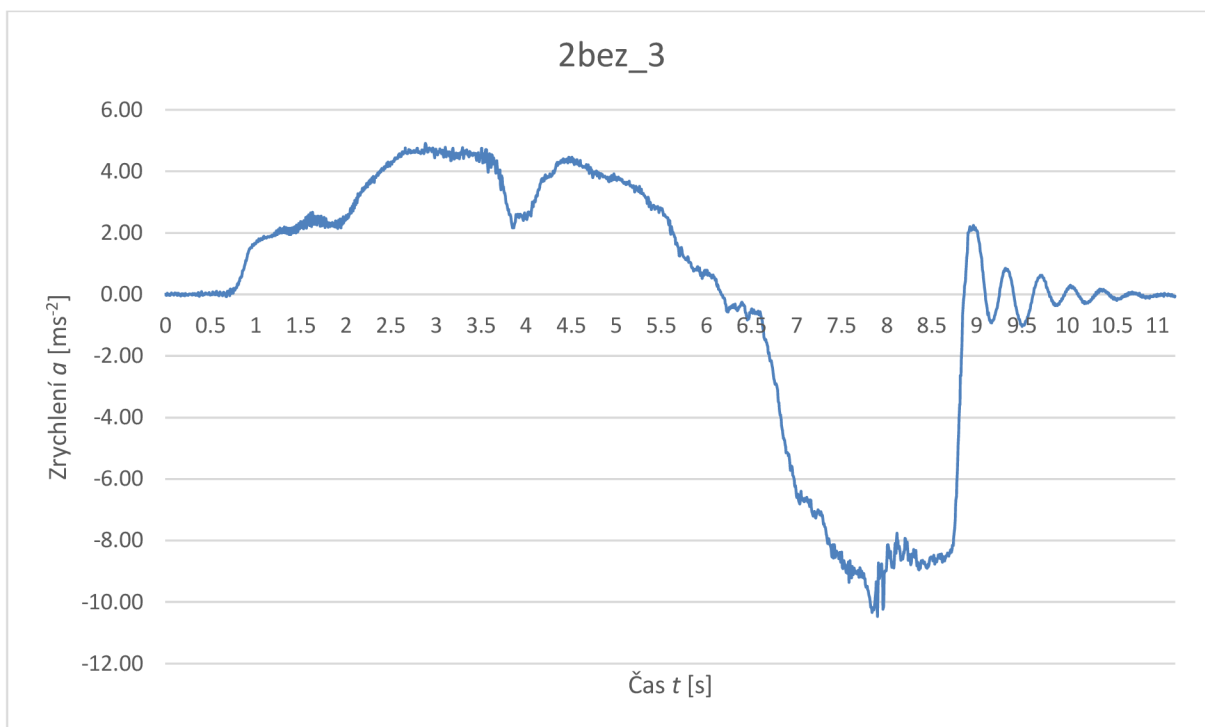
U druhého měření nedošlo k žádné tvorbě stopy. To bylo pravděpodobně způsobeno volnějším průběhem působení na brzdový pedál.

Hodnota zpomalení zde nepřesáhla $9,35 \text{ m/s}^2$.

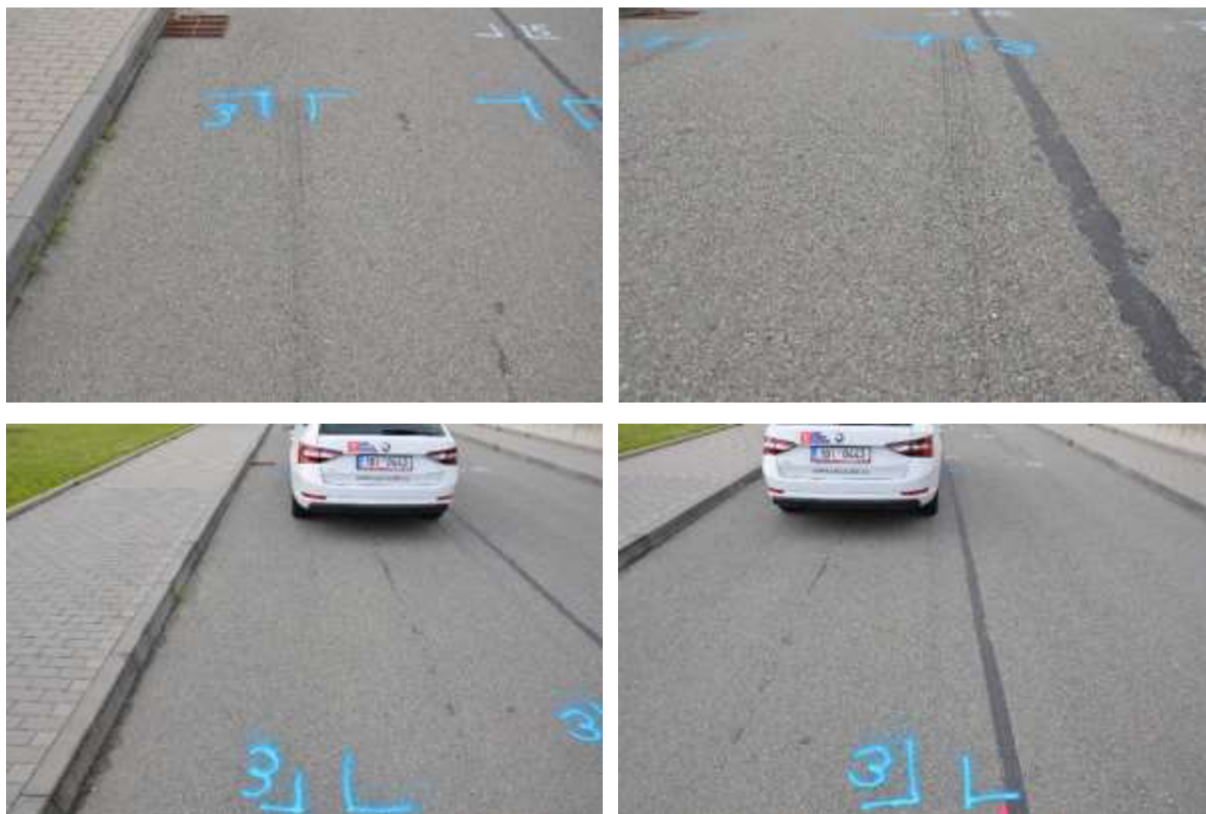
Tabulka 14 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_2

Počátek brzdění:	6,25	[s]
Konec brzdění:	8,92	[s]
Rychlost	57,16	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,07	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	20,78	[m]
Naměřená stopa	-	[m]
Čas počátku tvorby stopy	-	[s]
Zpomalení tvorby stopy	-	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	13,50	[km/h]
Teplota vozovky	33	[°C]

4.3.12 Pokus 2bez_3



Graf č. 16 - Průběh zrychlení, 2bez_3



Obr. 39 - Fotodokumentace stopy, 2bez_3

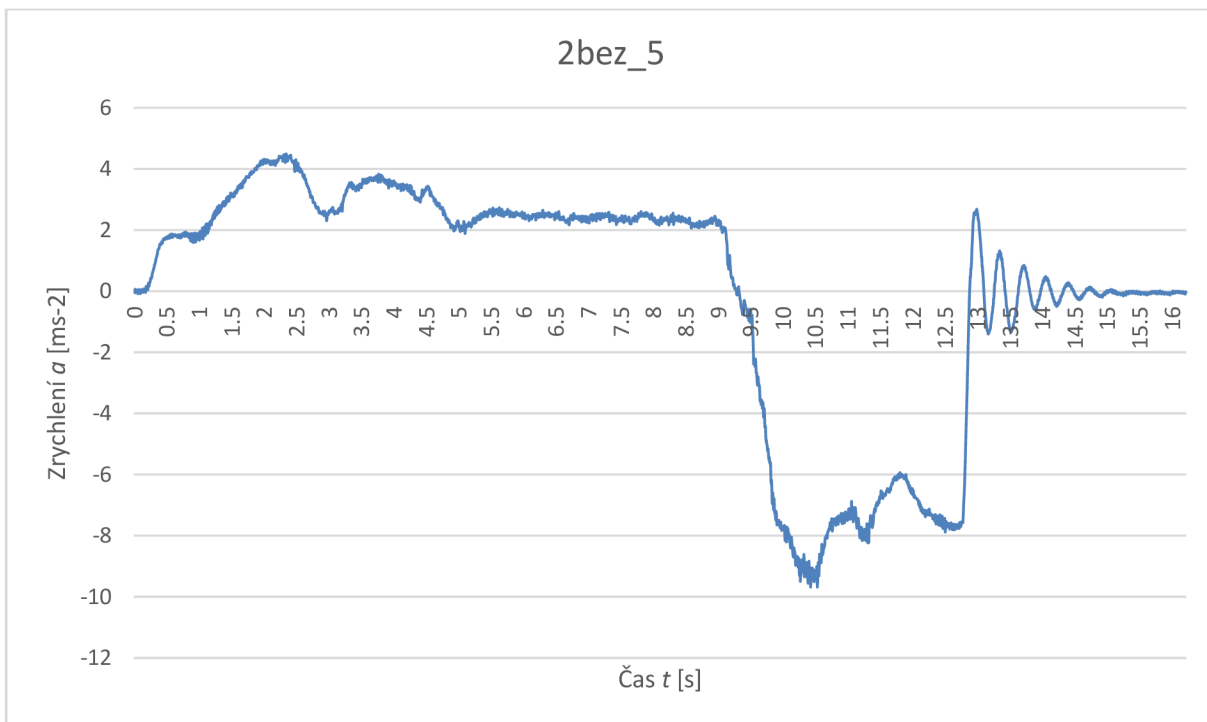
Grafu průběhu pokusu 2bez_3 nám ukazuje, že k tvorbě stopy došlo ještě před dosažením maximální hodnoty zpomalení, konkrétně v čase 7,55 s, ve kterém byla hodnota zpomalení rovna 9,04 m/s². Od tohoto času docházelo k postupnému nárůstu hodnoty skluzu až do maximální hodnoty zpomalení 10,47 m/s², po které opět zpomalení klesá. Hodnota skluzu v čase maximálního zpomalení se dá chápat jako efektivní hodnota skluzu, která je využívána u brzdných systémů, jako je ABS.

Stopy jsou podobně dlouhé, levá o trochu delší. Obě stopy dobře viditelné i pod velkým úhlem.

Tabulka 15 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_3

Počátek brzdění:	6,17	[s]
Konec brzdění:	8,86	[s]
Rychlost	60,26	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,23	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	22,49	[m]
Naměřená stopa	7,2	[m]
Čas počátku tvorby stopy	7,55	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,04	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	39,63	[km/h]
Teplota vozovky	33	[°C]

4.3.13 Pokus 2bez_5



Graf č. 17 - Průběh zrychlení, 2bez_5



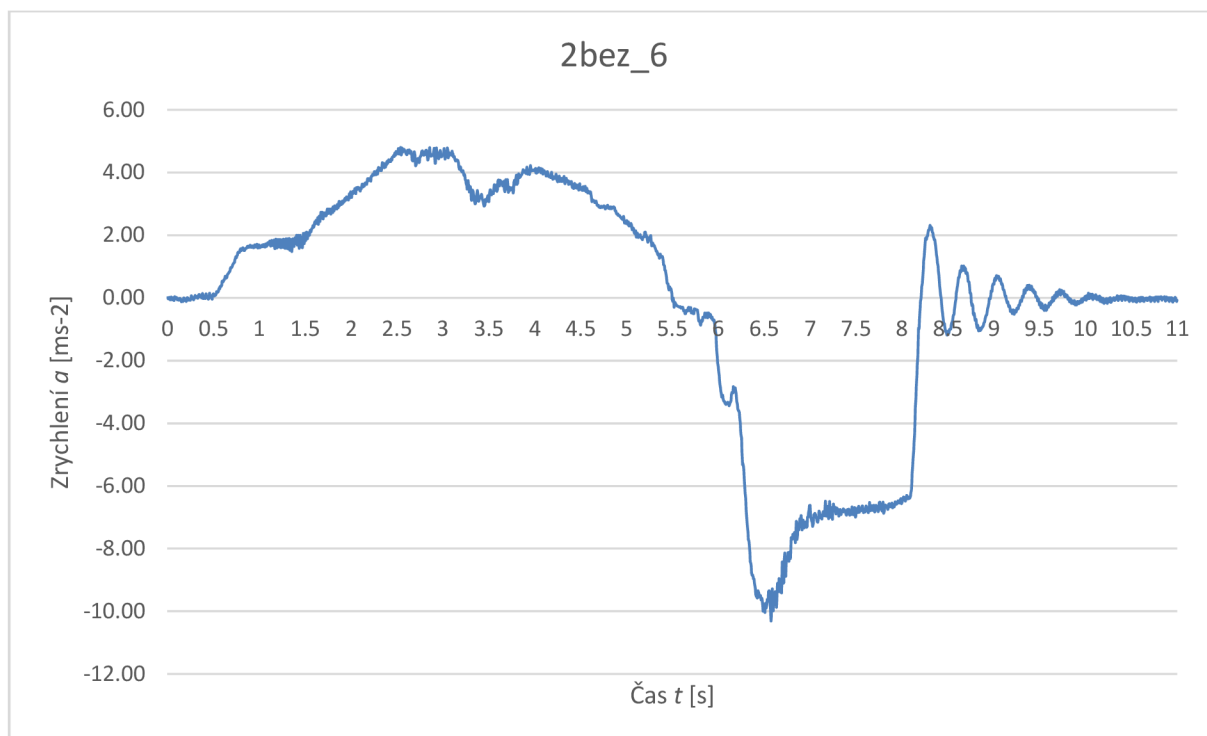
Obr. 40 - Fotodokumentace stopy, 2bez_5

Během měření pokusu 2bez_5 přerušení stopy povolením brzdového pedálu, jak můžeme vidět na Obr. 40 - Fotodokumentace stopy, 2bez_5. Během tohoto pokusu bylo vozidlo brzděno z rychlosti téměř 90 km/h, kde zanechalo pouze pravou stopu o délce 13,6 m. Zpomalení na počátku tvorby stopy bylo 9,07 m/s², na konci stopy pak 8,08 m/s². Počátek stopy je málo zřetelný, v průběhu je pak stopa viditelná velmi dobře. Na konci brzdění není i přes nárůst hodnoty zpomalení stopa žádná.

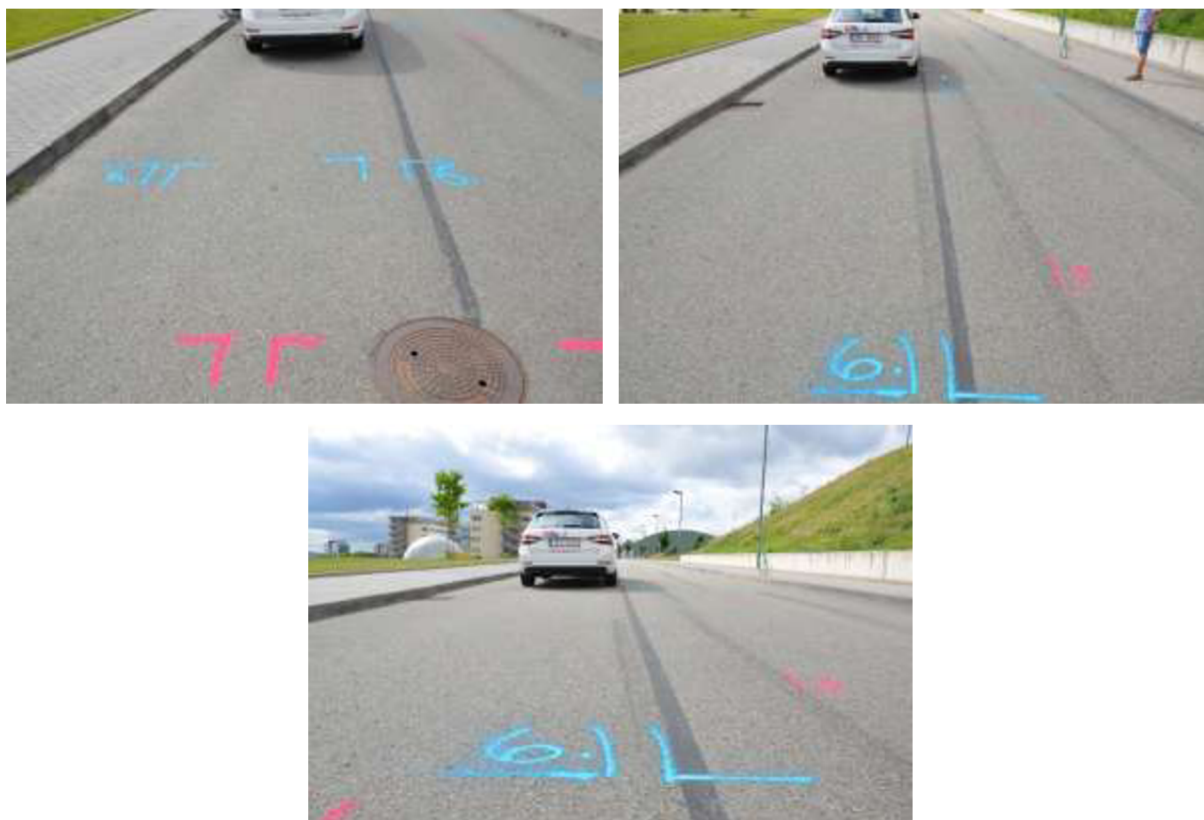
Tabulka 16 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_5

Počátek brzdění:	9,28	[s]
Konec brzdění:	12,885	[s]
Rychlost	87,22	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,62	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	44,32	[m]
Naměřená stopa	13,6 (23,5)	[m]
Čas počátku tvorby stopy	10,315	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,07	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	65,99	[km/h]
Teplota vozovky	34	[°C]
Čas konce stopy	11,19	[s]
Zpomal. konce stopy	8,08	[ms ⁻²]
Rychlost konce stopy	42,10	[km/h]

4.3.14 Pokus 2bez_6



Graf č. 18 - Průběh zrychlení, 2bez_6



Obr. 41 - Fotodokumentace stopy, 2bez_6

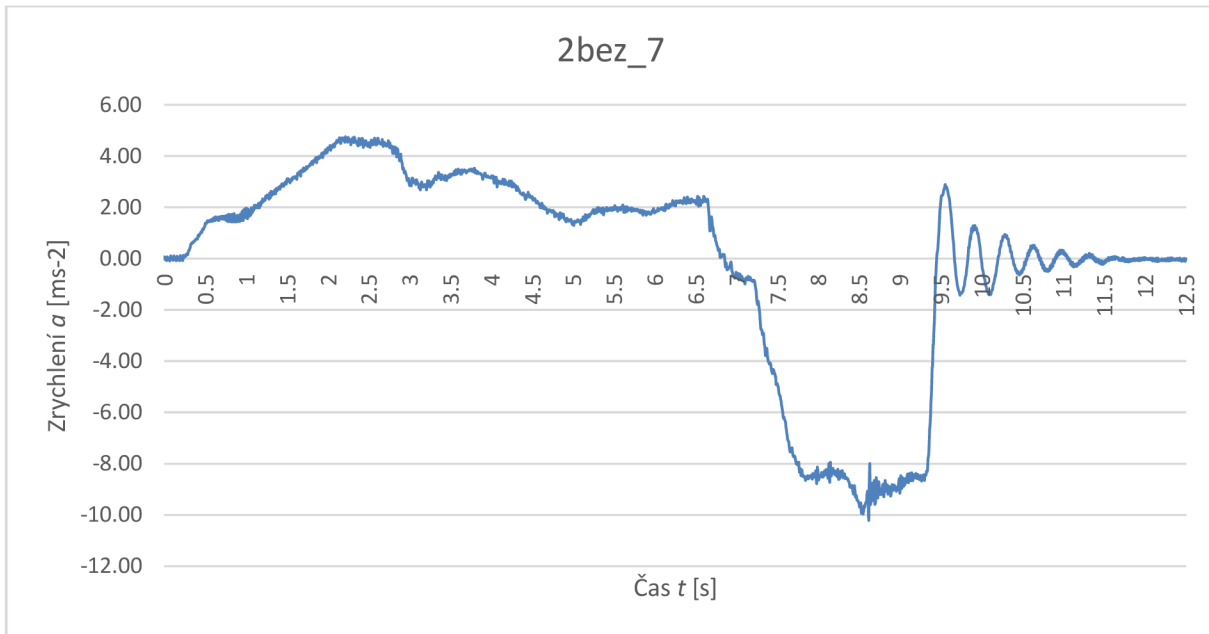
Grafický průběh pokusu 2bez_6 nám velmi dobře ukazuje překročení adheze a následný smyk doprovázený poklesem hodnoty zpomalení, která po zablokování kol poklesla z maxima 10,3 m/s² na 7,3 m/s². Během smyku docházelo k tvorbě pouze pravé stopy a průběžnému snížení hodnoty zpomalení až na 6,4 m/s². Samotný konec stopy je ale velmi málo zřetelný.

Počátek stopy opět odpovídá času těsně před dosažením maximální hodnoty zpomalení a následného poklesu.

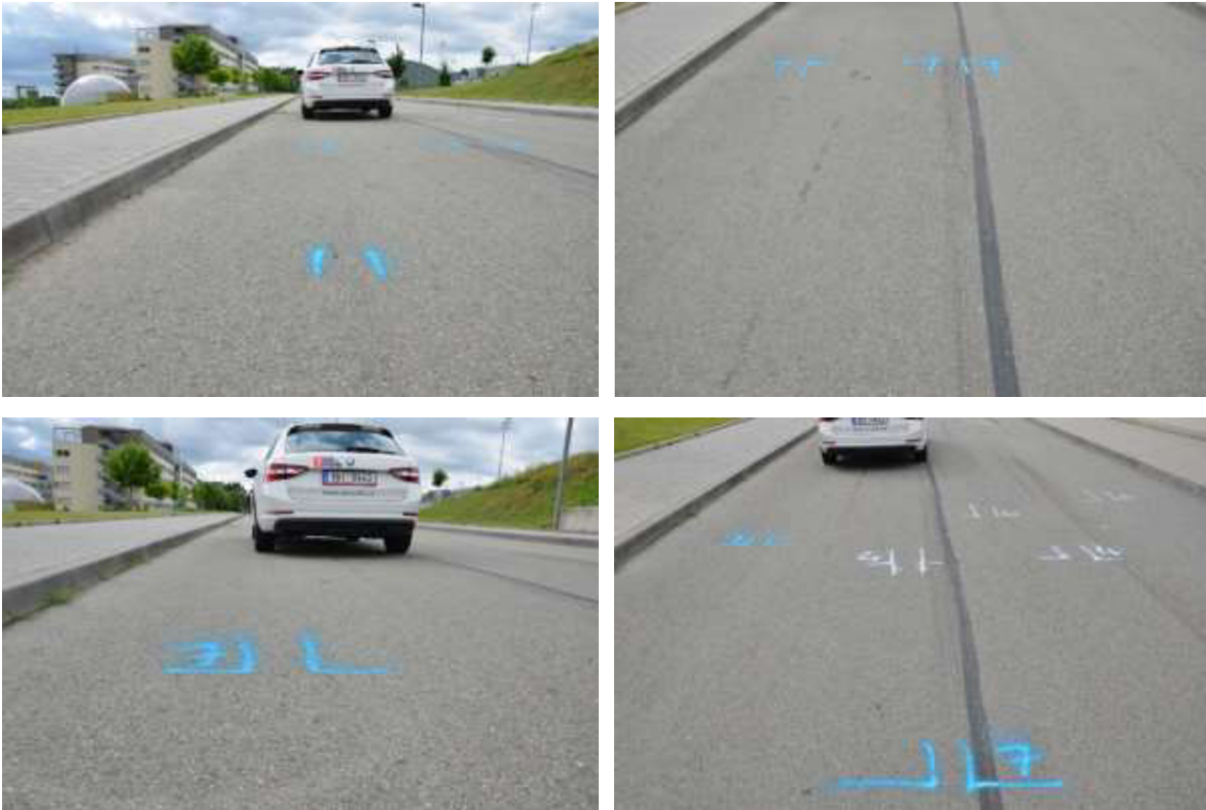
Tabulka 17 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_6

Počátek brzdění:	5,5	[s]
Konec brzdění:	8,205	[s]
Rychlost	55,27	[km/h]
Průměr zpomalení	-5,49	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	21,46	[m]
Naměřená stopa	10,9	[m]
Čas počátku tvorby stopy	6,445	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,42	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	44,50	[km/h]
Teplota vozovky	35	[°C]

4.3.15 Pokus 2bez_7



Graf č. 19 - Průběh zrychlení, 2bez_7



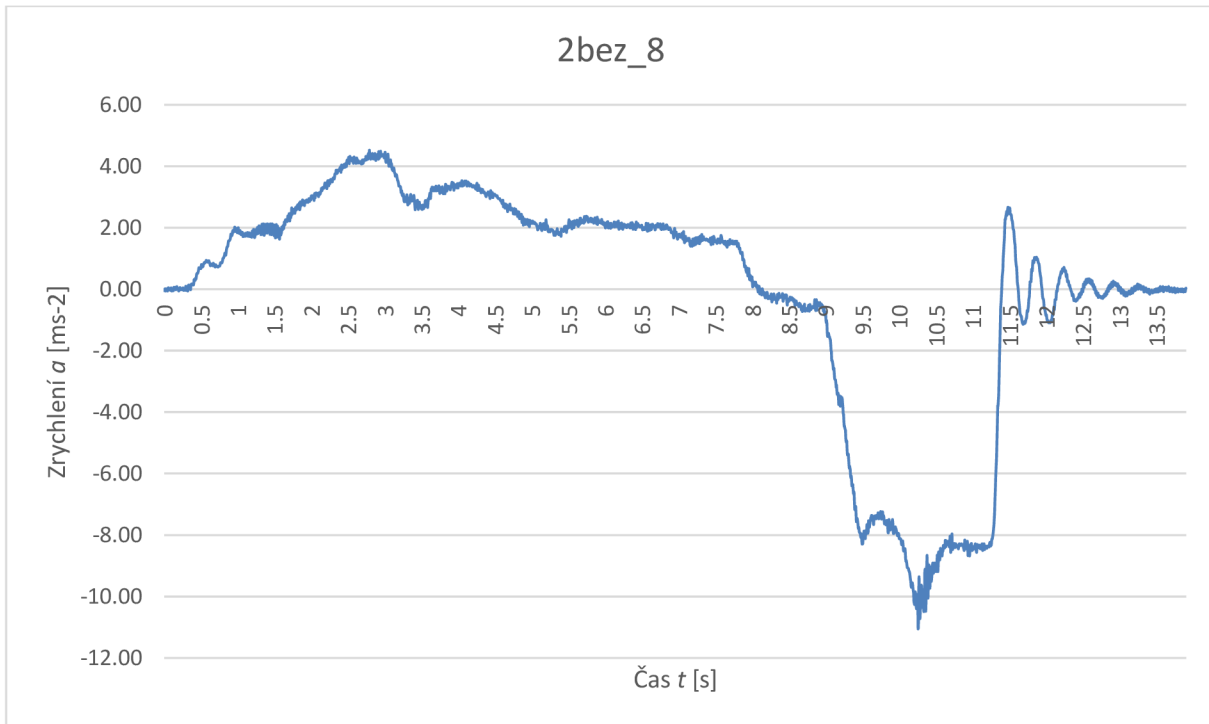
Obr. 42 - Fotodokumentace stopy, 2bez_7

Pravá stopa delší, jasná po celé délce, levá stopa kratší, málo viditelná. Stopa se začala tvořit hned po náběhu brzd, ve zpomalení 8,55 m/s². Jak pravá, tak i levá stopa je nejvýraznější ve středu stopy naměřené, což dle grafického průběhu odpovídá maximální hodnotě zpomalení a na konci při dobrzdění.

Tabulka 18 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_7

Počátek brzdění:	6,855	[s]
Konec brzdění:	9,45	[s]
Rychlost	61,62	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,62	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	22,13	[m]
Naměřená stopa	11	[m]
Čas počátku tvorby stopy	7,835	[s]
Zpomalení tvorby stopy	8,55	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	49,11	[km/h]
Teplota vozovky	36	[°C]

4.3.16 Pokus 2bez_8



Graf č. 20 - Průběh zrychlení, 2bez_8



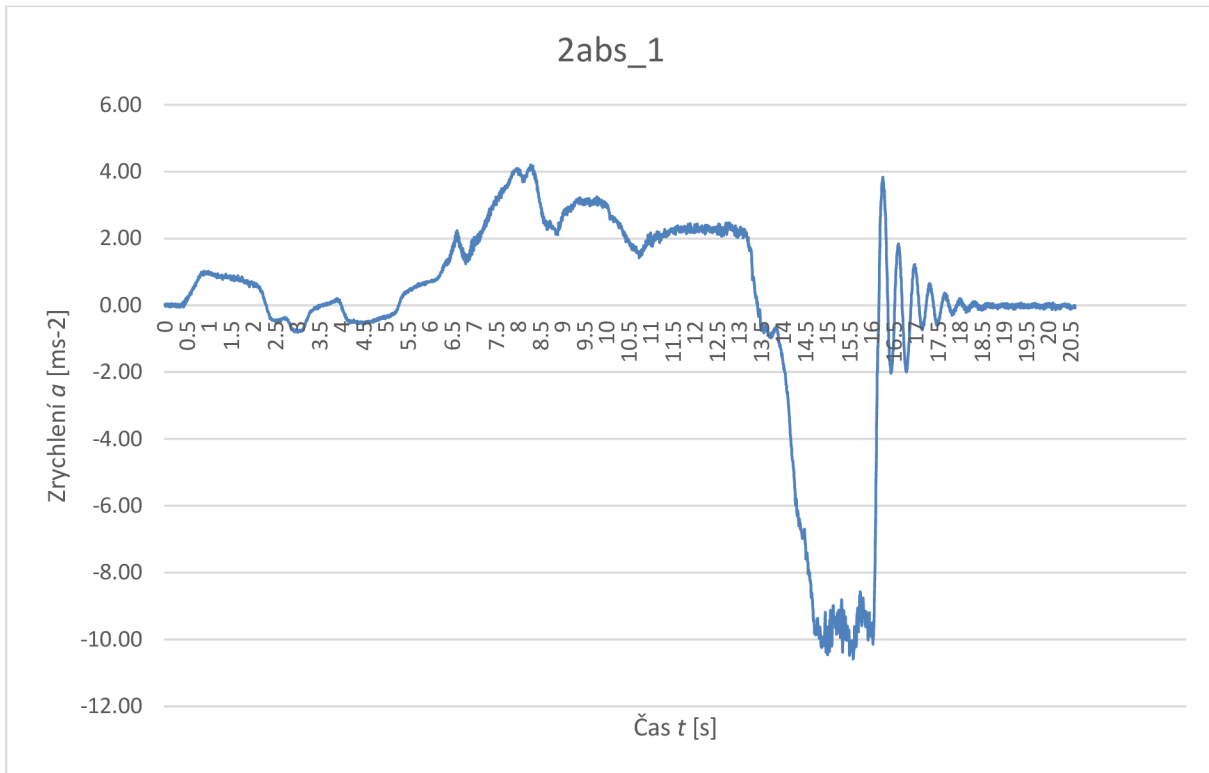
Obr. 43 - Fotodokumentace stopy, 2bez_8

Na posledním měření brzdění bez ABS (zimní pneumatiky) lze vidět velmi výraznou levou i pravou stopu. Počátek levé, delší stopy je nevýrazný, její zřetelnost se zvyšuje až s počátkem stopy pravé. V druhé polovině celkové délky brzdě stopy jsou obě stopy nejvýraznější, což v grafickém průběhu odpovídá poloze za maximální hodnotou zpomalení v čase 10,3 s. Zde došlo k překročení adhezních schopností pneumatiky a k následné blokaci všech kol, což mělo za následek rapidní pokles hodnoty zpomalení. Konce stop, zejména pravé, jsou velmi výrazné, způsobené blokací předních kol. V průběhu pravé stopy jsou vidět rýhy ve vozovce vydržené kamínkem, pravděpodobně z posypového štěrku.

Tabulka 19 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_8

Počátek brzdění:	8,13	[s]
Konec brzdění:	11,39	[s]
Rychlost	66,06	[km/h]
Průměr zpomalení	-5,58	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	30,14	[m]
Naměřená stopa	9,2	[m]
Čas počátku tvorby stopy	9,91	[s]
Zpomalení tvorby stopy	7,58	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	44,66	[km/h]
Teplota vozovky	36	[°C]

4.3.17 Pokus 2abs_1



Graf č. 21 - Průběh zrychlení, 2abs_1



Obr. 44 - Fotodokumentace stopy, 2abs_1

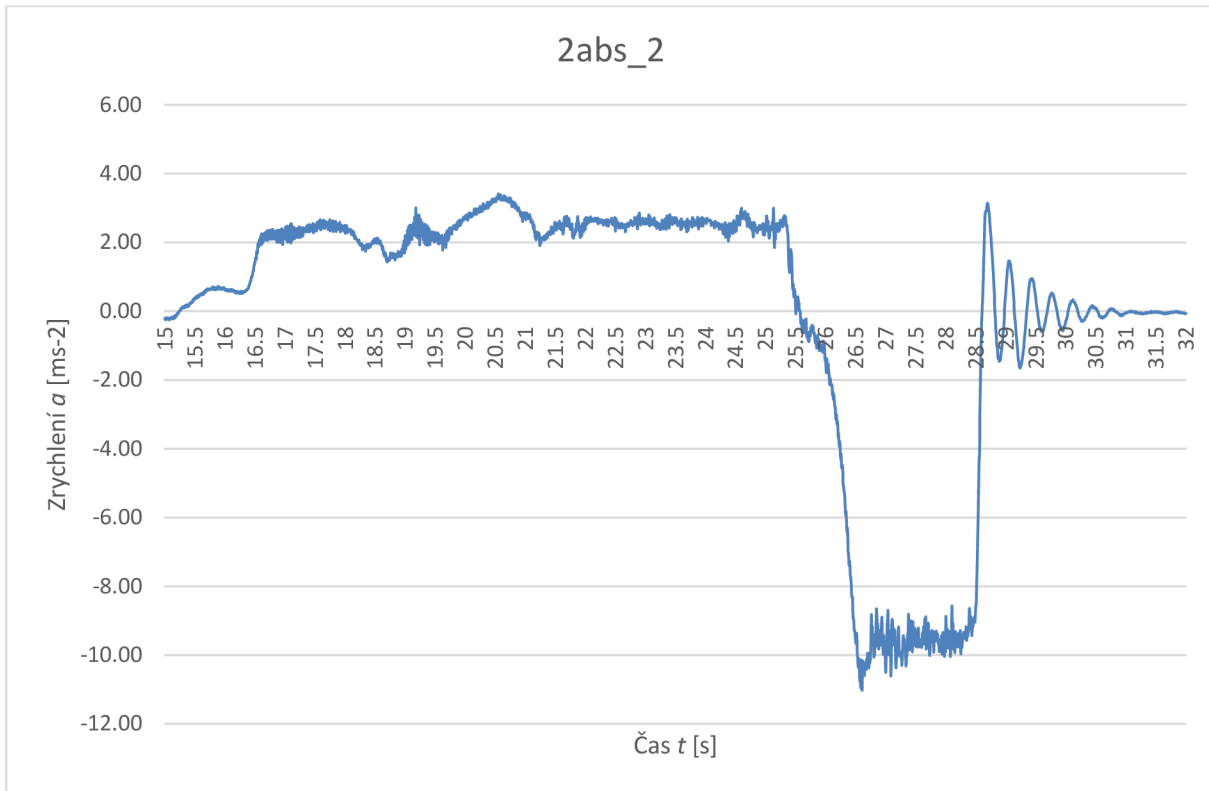
V porovnání s měřením na letních pneumatikách docházelo u pneumatik zimních k výraznější tvorbě stopy, a to i u aktivovaného ABS. Stopa u pokusu 2abs_1 je krátká, méně zřetelná, přesto dobře viditelná i na fotografiích. Pravá stopa delší, obě stopy byly tvořeny zadními koly. Stopy po předních kolech jsou velmi málo zřetelné.

Vozidlo díky ABS udržovalo přibližně stejnou hodnotu zpomalení během brzdění, avšak k tvorbě stopy došlo až při rychlosti 37,5 km/h.

Tabulka 20 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_1

Počátek brzdění:	13,425	[s]
Konec brzdění:	16,18	[s]
Rychlost	66,14	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,57	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	25,68	[m]
Naměřená stopa	6	[m]
Čas počátku tvorby stopy	15,03	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,70	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	37,50	[km/h]
Teplota vozovky	37	[°C]

4.3.18 Pokus 2abs_2



Graf č. 22 - Průběh zrychlení, 2abs_2



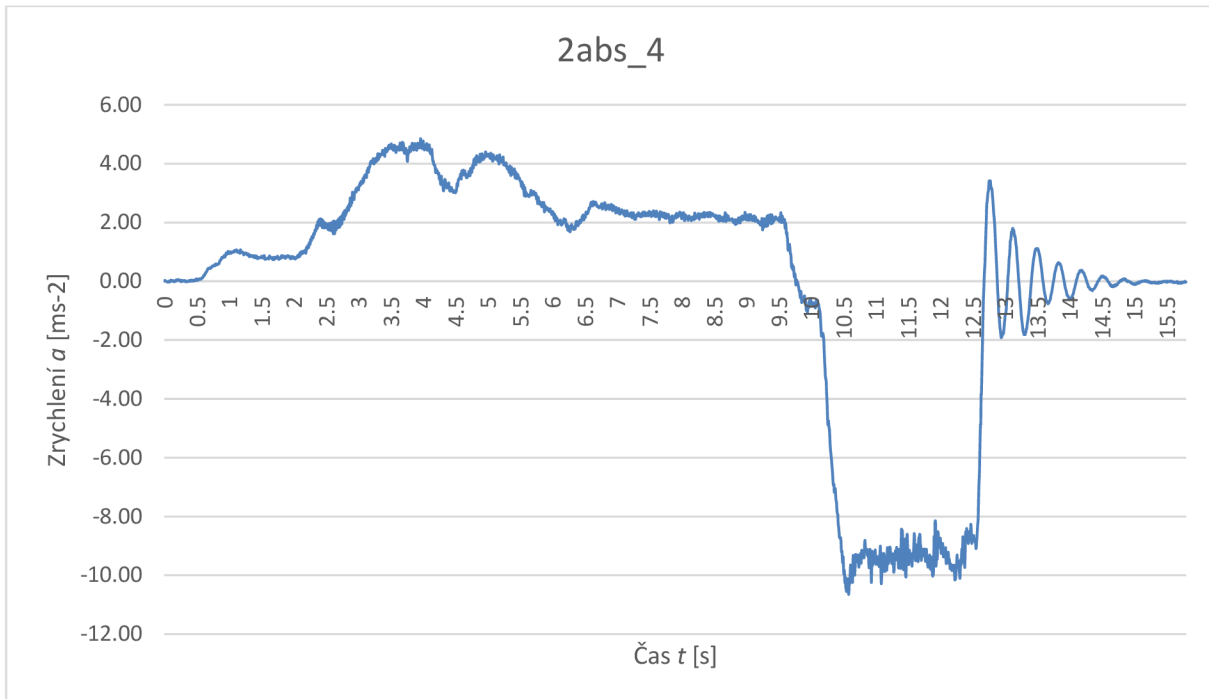
Obr. 45 - Fotodokumentace stopy, 2abs_2

U druhého měření s aktivovaným ABS na zimních pneumatikách došlo k tvorbě pouze pravé stopy. Stopa je souvislá, nepřerušovaná, ale málo zřetelná, o délce 8,2 m. K tvorbě stopy došlo opět jako u předchozího pokusu až po snížení rychlosti, a to na 44 km/h z původních 81,44 km/h. Během celého brzdění se hodnota zpomalení pohybovala v podobných hodnotách, a to v intervalu 8,6 – 10,6 m/s².

Tabulka 21 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 2abs_2

Počátek brzdění:	25,58	[s]
Konec brzdění:	28,605	[s]
Rychlost	81,44	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,38	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	34,66	[m]
Naměřená stopa	8,2	[m]
Čas počátku tvorby stopy	27,26	[s]
Zpomalení tvorby stopy	10,10	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	44,02	[km/h]
Teplota vozovky	38	[°C]

4.3.19 Pokus 2abs_4



Graf č. 23 - Průběh zrychlení, 2abs_4



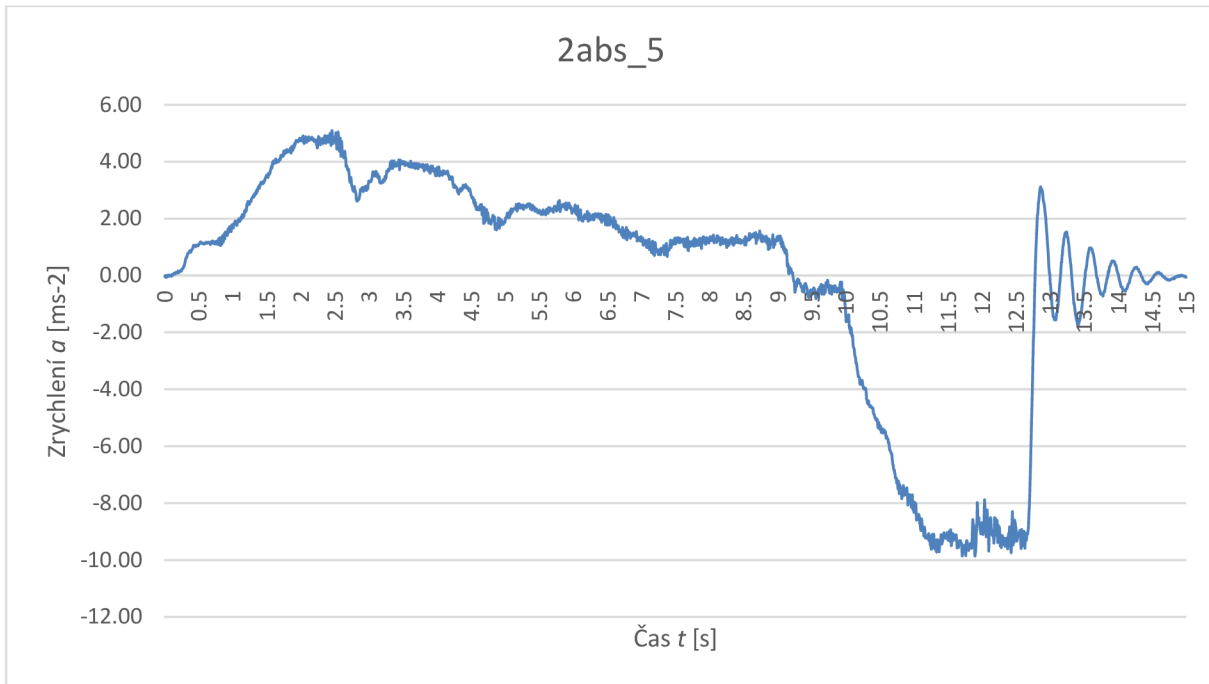
Obr. 46 - Fotodokumentace stopy, 2abs_4

Na měřícím pokusu 2abs_4 došlo opět k tvorbě pouze pravé stopy, tentokrát se stopa začala tvořit ve vyšší rychlosti než u předchozích dvou pokusů, čemuž odpovídá i její délka. Blokovací stopa je ale velmi málo viditelná, a to pouze z jednoho směru (směr jízdy). Hodnota zpomalení byla obdobná.

Tabulka 22 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 2abs_4

Počátek brzdění:	9,76	[s]
Konec brzdění:	12,675	[s]
Rychlost	80,84	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,67	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	32,85	[m]
Naměřená stopa	17,4	[m]
Čas počátku tvorby stopy	10,715	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,46	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	63,77	[km/h]
Teplota vozovky	39	[°C]

4.3.20 Pokus 2abs_5



Graf č. 24 - Průběh zrychlení, 2abs_5



Obr. 47 - Fotodokumentace stopy, 2abs_5

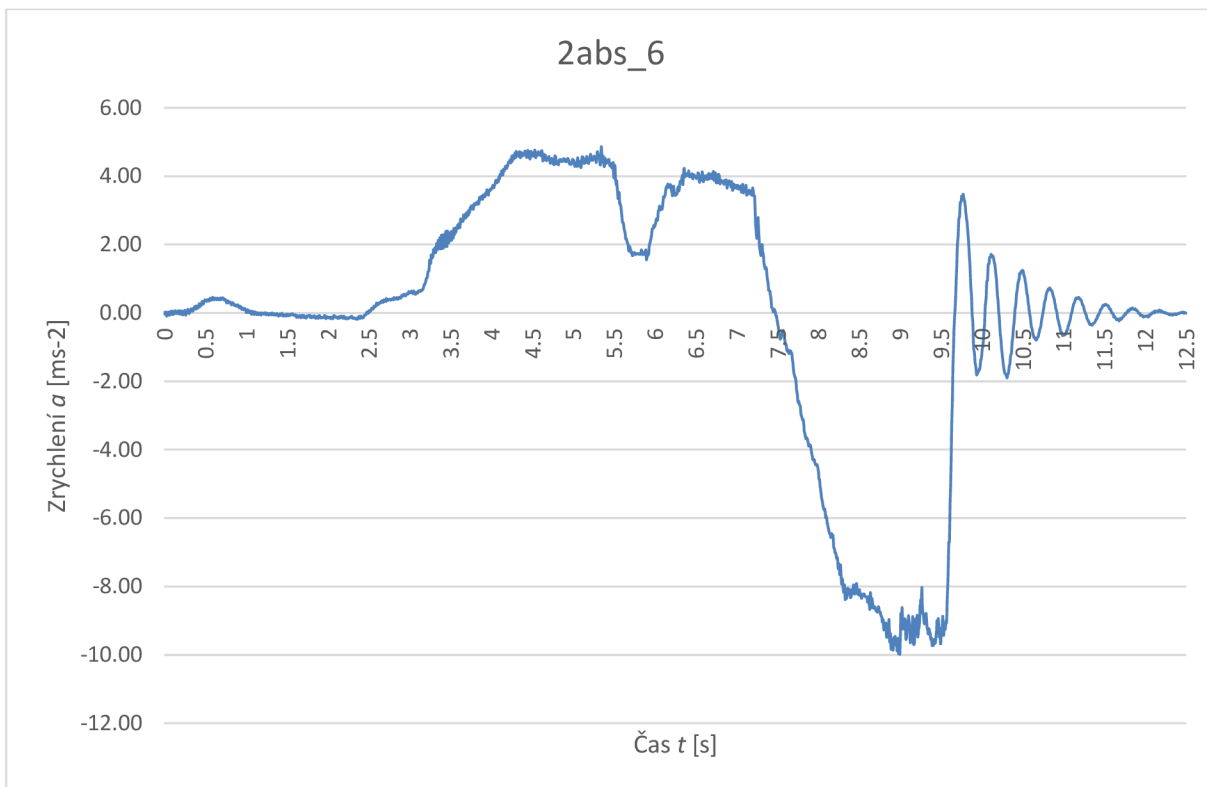
Jak samotný průběh zrychlení v grafu naznačuje, u tohoto pokusu docházelo k pozvolnému stačování brzděného pedálu a tím pomalému nástupu hodnoty zpomalení. V porovnání s přechovými pokusy měření s ABS ale došlo k tvorbě pouze levé stopy. Stopa je velmi málo zřetelná, na fotografii zpočátku neviditelná, po přibližně dvou metrech je stopa výraznější, zpozorovatelná i na fotografii. Nejvýraznější je stopa bezprostředně za levým kolem po zastavení vozidla.

Dle výpočtu došlo k tvorbě stopy hned po nárůstu zpomalení na maximální hodnotu, ve které se vozidlo díky ABS udrželo až do zastavení.

Tabulka 23 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 2abs_5

Počátek brzdění:	9,23	[s]
Konec brzdění:	12,78	[s]
Rychlost	77,47	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,03	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	38,40	[m]
Naměřená stopa	10,4	[m]
Čas počátku tvorby stopy	11,25	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,50	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	49,06	[km/h]
Teplota vozovky	40	[°C]

4.3.21 Pokus 2abs_6



Graf č. 25 - Průběh zrychlení, 2abs_6



Obr. 48 - Fotodokumentace stopy, 2abs_6

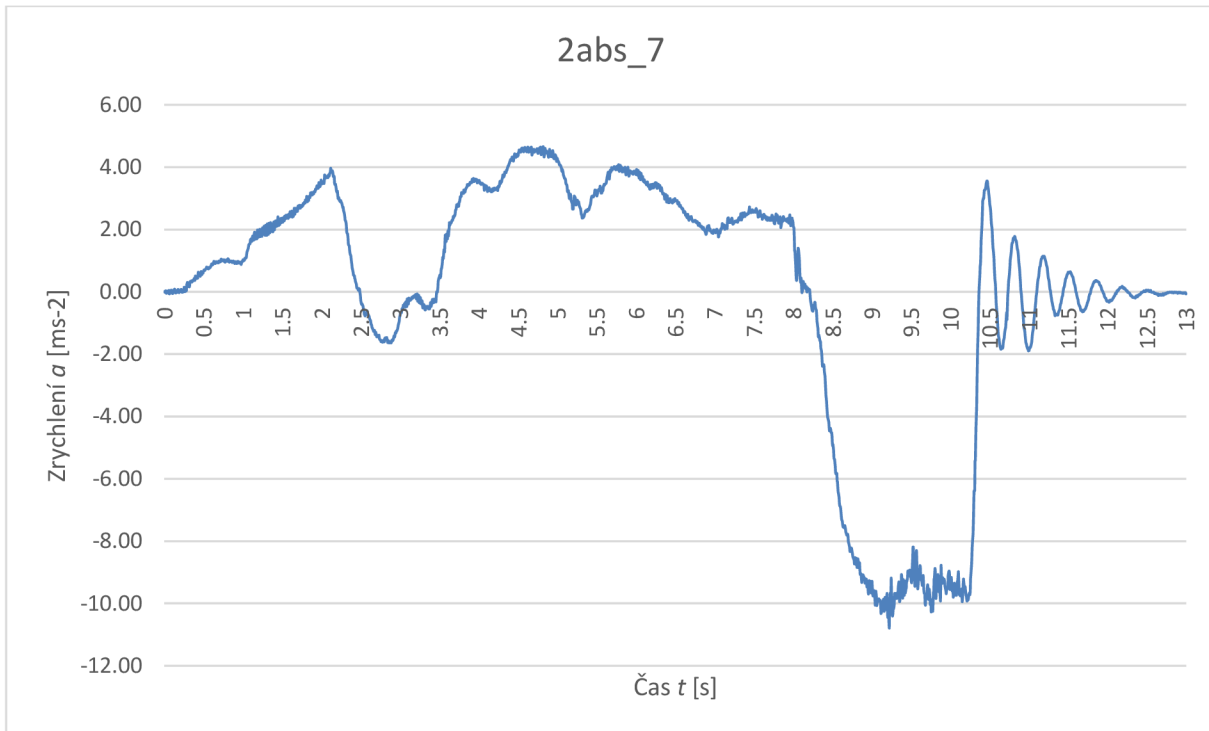
Z důvodu krátké stopy (3,8 m) došlo k vyhotovení fotodokumentace tohoto pokusu měření až po odstavení vozidla. Levá stopa není opticky rozpoznatelná, pravá stopa je velmi málo zřetelná. Nejvýraznější je stopa v druhé polovině, kde již vozidlo mělo nižší rychlost. Počátek stopy se tvořil až po nárůstu hodnoty zpomalení v čase 8,735 s. dle

výpočtu tvořil se zpomalením $8,74 \text{ m/s}^2$, a to v rychlosti $29,38 \text{ km/h}$. Poté se hodnota zpomalení zvyšovala až k 10 m/s^2 , což byla maximální hodnota zpomalení tohoto pokusu. V grafu si můžeme opět povšimnou kolísavé hodnoty zpomalení způsobené aktivovaným ABS.

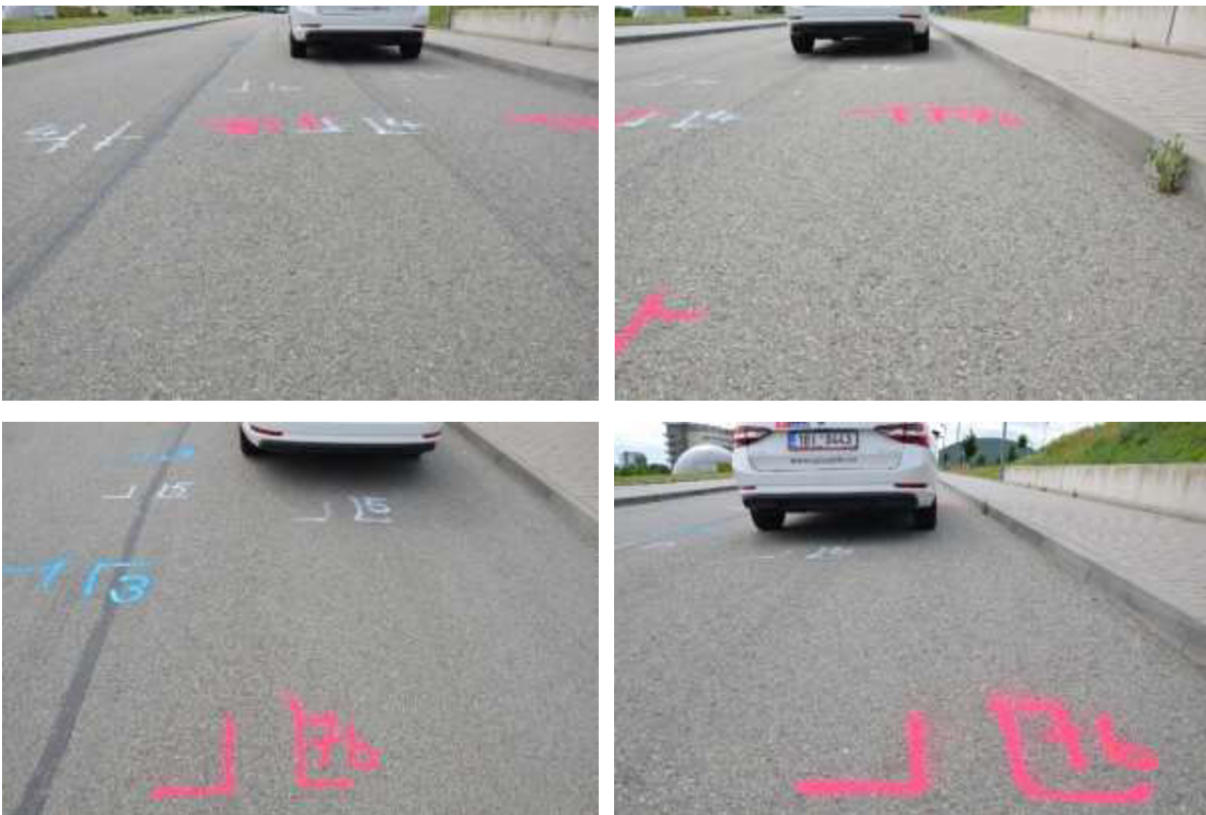
Tabulka 24 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 2abs_6

Počátek brzdění:	7,47	[s]
Konec brzdění:	9,67	[s]
Rychlost	54,34	[km/h]
Průměr zpomalení	-6,77	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	16,84	[m]
Naměřená stopa	3,8	[m]
Čas počátku tvorby stopy	8,735	[s]
Zpomalení tvorby stopy	8,74	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	29,38	[km/h]
Teplota vozovky	40	[°C]

4.3.22 Pokus 2abs_7



Graf č. 26 - Průběh zrychlení, 2abs_7



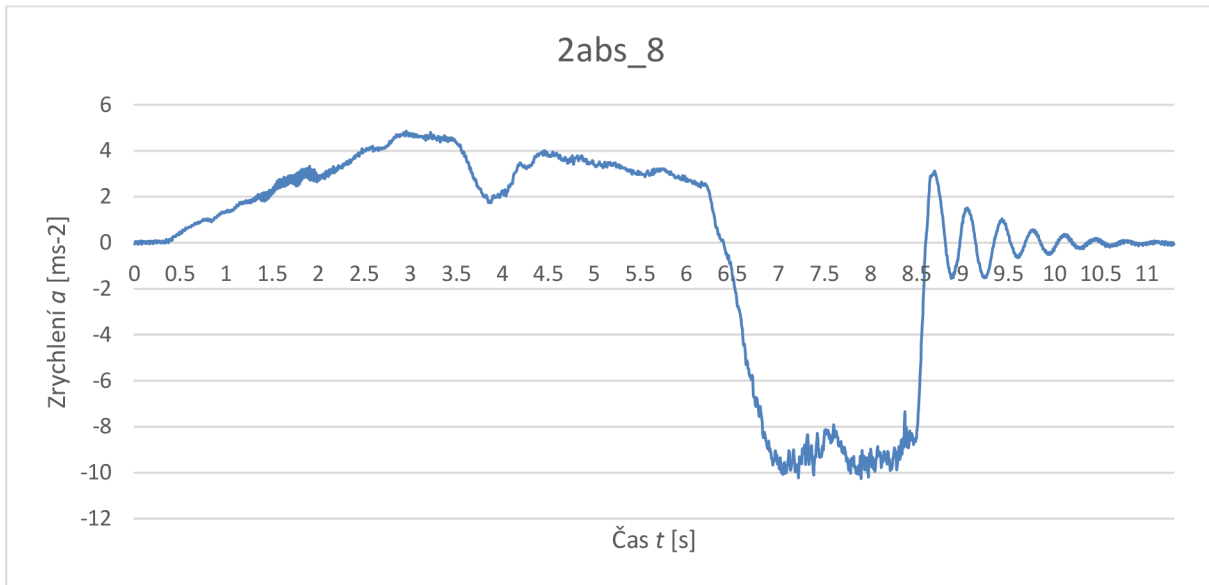
Obr. 49 - Fotodokumentace stopy, 2abs_7

U sedmého pokusu zimních pneumatik s ABS došlo k tvorbě obou stop, přibližně stejně dlouhých, málo výrazných. Konec stopy nezřetelný. Levá stopa je na fotografiích téměř neviditelná. Maximální hodnota zpomalení dosahovala až $10,79 \text{ m/s}^2$, což je více než u předchozích měření, což může souviset s ohřátím vozovky. Rychlost v čase počátku tvorby stopy je obdobná ostatním měřením zimních pneumatik s aktivovaným ABS.

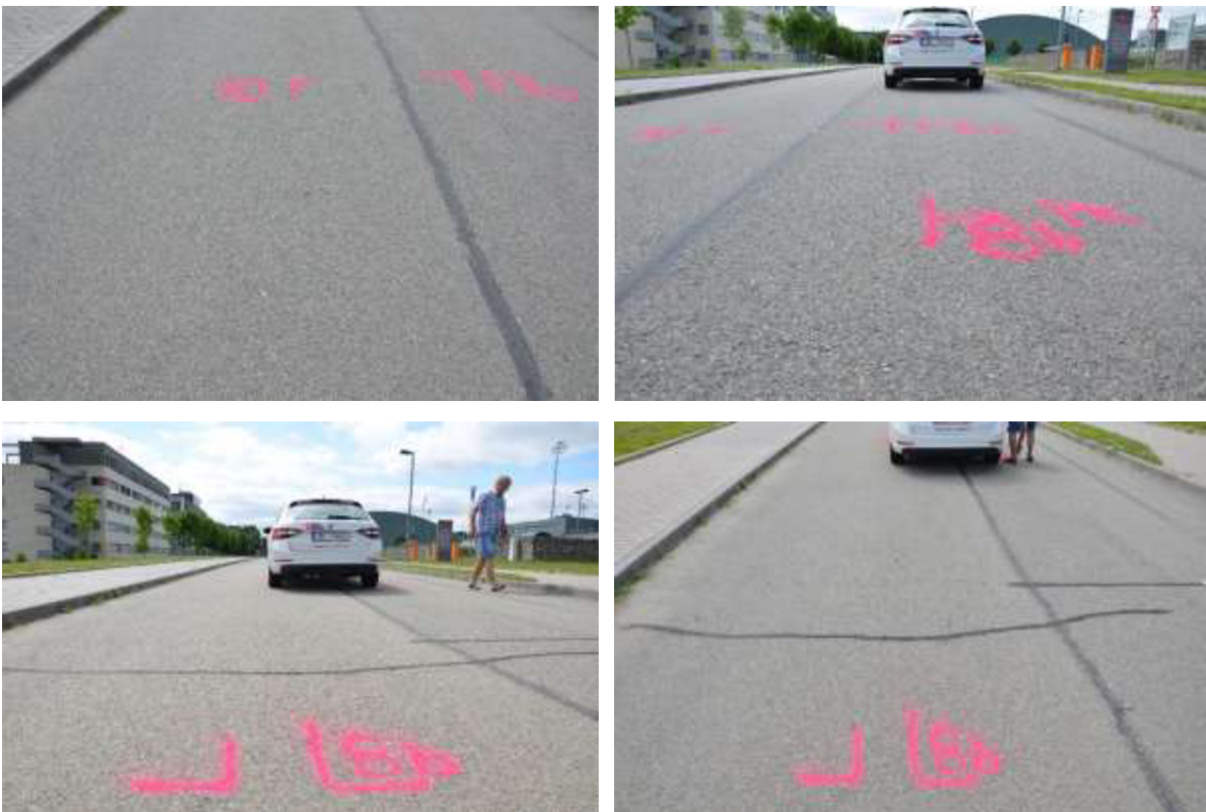
Tabulka 25 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_7

Počátek brzdění:	8,215	[s]
Konec brzdění:	10,365	[s]
Rychlost	62,56	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,99	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	18,89	[m]
Naměřená stopa	6,8	[m]
Čas počátku tvorby stopy	9,145	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,95	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	40,18	[km/h]
Teplota vozovky	41	[°C]

4.3.23 Pokus 2abs_8



Graf č. 27 - Průběh zrychlení, 2abs_8



Obr. 50 - Fotodokumentace stopy, 2abs_8

U posledního pokusu měření převažovala levá stopa s celkovou délkou 9,6 m, hůře viditelná v celém průběhu, ale pod velmi malým úhlem. Při pohledu shora nezřetelná. Konec obou stop byl tvořen skluzem předního kola, a to pouze v délce 2,3 metru, což odpovídá celkové délce stopy pravé.

Tabulka 26 - Hodnoty průběhu měřícího pokusu 2abs_8

Počátek brzdění:	6,41	[s]
Konec brzdění:	8,6	[s]
Rychlost	63,42	[km/h]
Průměr zpomalení	-7,98	[m/s ²]
Vypočítaná br. dráha	19,45	[m]
Naměřená stopa	9,6	[m]
Čas počátku tvorby stopy	7,125	[s]
Zpomalení tvorby stopy	9,47	[m/s ²]
Rychlost na počátku stopy	47,00	[km/h]
Teplota vozovky	42	[°C]
Zpomalení tvorby stopy 2	9,75	[m/s ²]
Rychlost na počátku 2. stopy	22,53	[km/h]

4.4 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ ZJIŠTĚNÝCH HODNOT

	v [km/h]	a _s [m/s ²]	v _s [km/h]	s [m]	t [°C]	Poznámka ke stopě
1bez_1	51,62	6,12	48,6	12	38	Jasně stopy, pravá výraznější
1bez_4	63,4	9,22	51,82	13,3	43	Stopy stejně dlouhé, levá méně zřetelná
1bez_5	65,44	9,69	58,07	16,6	44	Výrazné, postupně viditelné, zpomalení během blokace všech kol malé (6 m/s ²)
1bez_6	68,19	6,26	55,28	14,3	45	Postupný náběh, levá nezřetelná, vybočení stopy (ztráta stability)
1bez_7	68,35	5,08	58,6	15,4	46	Vybočení stopy (ztráta stability), levá stopa má výraznější počátek
1abs_2	75,66	10,55	45,98	8,45	52	Slabá, nevýrazná pravá stopa, levá není
1abs_3	81,79	-	-	-	52	Beze stopy
1abs_4	77,89	10,41	47,5	9	54	Stopa nezřetelná
1abs_5	80,64	-	-	-	54	Beze stopy
2bez_1	57,09	6,5	52,5	12,75	32	Velmi výrazná stopa, blokace všech kol, ztráta stability
2bez_2	57,16	-	-	-	33	Beze stopy
2bez_3	60,26	9,04	39,63	7,2	33	Stopy stejné, poměrně zřetelné, s postupnou výrazností
2bez_5	87,22	9,07	65,99	23,5	34	Stopa pouze pravá, 13,6 m, poté přerušeni stopy, z počátku nevýrazná
2bez_6	55,27	9,42	44,5	10,9	35	Pouze pravá stopa, zpočátku výrazná, ke konci méně zřetelná
2bez_7	61,62	8,55	49,11	11	36	Pravá delší a výraznější
2bez_8	66,06	7,58	44,66	9,2	36	Levá stopa delší, zpočátku nezřetelná, konec pravé velmi výrazný (přední kolo)
2abs_1	66,14	9,7	37,5	6	37	Pouze zadní kola, méně zřetelná, pravá delší
2abs_2	81,44	10,1	44,02	8,2	38	Pouze pravá, souvislá, málo zřetelná
2abs_4	80,84	9,46	63,77	17,4	39	Pouze pravá, viditelná pouze z jednoho směru
2abs_5	77,47	9,5	49,06	10,4	40	Pouze levá, minimálně zřetelná
2abs_6	54,34	8,74	29,38	3,8	40	Pouze pravá, minimálně zřetelná
2abs_7	62,56	9,95	40,18	6,8	41	Obě stopy, málo výrazné
2abs_8	63,42	9,47	47	9,6	42	Převážně levá, nezřetelná, stopa po předních kolech 2,3 m

5 ZÁVĚR

Skutečnost, že po blokaci kol a následném smyku pneumatik po vozovce se snižuje dosažitelná hodnota zpomalení, je společnosti dávno známa. Překročí se tím adhezní schopnosti pneumatik a dochází tak k tření, při kterém dochází ke značné ztrátě brzdných vlastností vozidla. To potvrzuje měření provedené v rámci této diplomové práce. Tvorba blokovací stopy během brzdění ale hned neznamená blokaci kol. Stopa se může tvořit již při sebemenším skluzu za působení adhezních sil, kdy dochází k otáčení kola společně s částečným třením. Během toho je vozidlo stále stabilní. Stabilita vozidla se vytrácí s procentem skluzu, který právě tvoří blokovací stopu v závislosti na jeho hodnotě.

Během vyhodnocování dat měření bylo zjištěno, že stopa se téměř vždy tvoří ještě před dosažením maximální hodnoty zpomalení (zejména u deaktivovaného ABS). Od počátku stopy tedy zpomalení stále roste, dokud nedosáhne efektivní hodnoty skluzu. Po překročení této hodnoty dochází ke snížení adhezních schopností pneumatik, což zapříčiňuje snížení potřebné síly kladené na brzdové kotouče pro zablokování kol. V průběhu tvorby blokovací stopy tím hodnota zpomalení po vzrůstu klesá. Zmiňovaný efektivní skluz se využívá u systému ABS, kde se hodnota pro maximální zpomalení pohybuje kolem 15 % skluzu.

Dalším ověřeným faktem je vliv rychlosti na zanechání blokovací stopy. Samozřejmě se nedá určit jednotná rychlost, při které se stopa začíná tvořit, ale během nižší rychlosti má pneumatika zvýšenou tendenci tvorby stopy. To bylo ověřeno během měření, kde bylo možné vidět hodnotu zpomalení v grafickém průběhu podobnou hodnotám před tvorbou smyku a během smyku. Během stejného zpomalení se totiž stopa začala tvořit až po snížení rychlosti (nejčastěji mezi 40-50 km/h). Průběhy brzdění se stabilní hodnotou zpomalení můžeme nejlépe ověřit u aktivovaného ABS.

Hodnoty zpomalení během tvorby smyku byly různé. U zimních pneumatik zpomalení během smyku, který zanechal méně zřetelnou stopu, dosahovalo hodnot přibližně 8,3-8,5 m/s². Avšak v jiném pokusu měření, kde byla stopa znatelně výraznější, se hodnoty zpomalení pohybovaly kolem 7,3 m/s² s tím, že během smyku zpomalení kleslo až na 6,3 m/s². U měření 2bez_2, tedy na zimních pneumatikách s deaktivovaným ABS, nedošlo k tvorbě žádné stopy, přestože zpomalení dosahovalo hodnoty až 9 m/s².

Měření 2bez_1 s hodnotami zpomalení 8,3->8,0 m/s² mělo výraznější stopu s klesajícím zpomalením. Stopa se zde začala tvořit před dosažením maximální hodnoty zpomalení, a to při 6,5 m/s². Poté vzrostlo až na maximální hodnostu 11 m/s², po čemž začala rapidně klesat.

Měření dokázalo, že stopa je méně výrazná při vyšších hodnotách zpomalení. Její zřetelnost se zvětšuje s klesající hodnotou zpomalení.

Dále byla ověřena brzdná schopnost letních pneumatik, které za stejných podmínek dosahují lepšího zpomalení v letních podmínkách než zimní. To bylo ověřeno zejména na pokusech s ABS, kde se hodnota zpomalení pohybuje v podobných intervalech v porovnání s prudkými výkyvy u deaktivovaného ABS. Tyto hodnoty se u pneumatik zimních pohybovaly v intervalu mezi 8-10 m/s², zatímco u letních byla tato hodnota zpomalení v průměru o 1 m/s² vyšší.

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Znázornění základních sil (třecí F_T ; normálová F_N ; setrvačná F_S)	12
Obr. 2 - Znázornění brzdné síly	13
Obr. 3 - Znázornění veličin pro klopný moment.....	14
Obr. 4 Kammova adhezní kružnice [13]	15
Obr. 5 Rozložení sil působících na vozidlo během brzdění	19
Obr. 6 – Konstrukční složení pláště pneumatiky [19].....	24
Obr. 7 - Korunní kordová vrstva, nárazník [19].....	25
Obr. 8 – Běhoun [19].....	26
Obr. 9 - Kostra pneumatiky [19].....	27
Obr. 10 - Bočnice pneumatiky [19]	27
Obr. 11 - Vnitřní gumová vrstva [19].....	28
Obr. 12 - Patka pneumatiky [19] Obr. 13 - Ocelové patní lanko [19]	28
Obr. 14 – Rychlostní senzor a umístění na kole [23]	30
Obr. 15 - Elektromagnetický řídicí ventil [24].....	31
Obr. 16 - Charakteristická brzdná stopa s ABS [25]	33
Obr. 17 Detail povrchu vozovky	35
Obr. 17 Mapa místa měření; zdroj: mapy.cz.....	36
Obr. 18 Mapa místa měření, detail; zdroj: mapy.cz.....	36
Obr. 20 XL Meter s umístěním na čelním skle	40
Obr. 21 : Schéma odpojení ABS;	41
Obr. 22: Schéma pojistek vozu Škoda Superb; Zdroj: Návod k obsluze Škoda Superb 3 .	41
Obr. 23 : Pojistková skříň Škoda Superb, deaktivované ABS.....	42
Obr. 24 Náhled na program XL Vision™, graf podélného zrychlení a zpomalení v čase ..	44
Obr. 25 Náhled na program Fluke Connect; snímek předního kola automobilu Škoda Superb.....	45
Obr. 26 Zachycení teploty vozovky	46
Obr. 27 Změna funkce pomocí vypočteného řádku; Porovnání hodnot stopy.....	48
Obr. 28 - Fotodokumentace stopy, 1bez_1	52
Obr. 29 Fotodokumentace stopy, 1bez_4	54
Obr. 30 - Fotodokumentace stopy, 1bez_5	56
Obr. 31 - Fotodokumentace stopy, 1bez_6	58
Obr. 32 - Fotodokumentace stopy, 1bez_7	60

Obr. 33 - Fotodokumentace stopy, 1abs_2.....	62
Obr. 34 - Fotodokumentace stopy, 1abs_3.....	64
Obr. 35 - Fotodokumentace stopy, 1abs_4.....	66
Obr. 36 - Fotodokumentace stopy, 1abs_5.....	68
Obr. 37 - Fotodokumentace stopy, 2bez_1.....	70
Obr. 38 - Fotodokumentace stopy, 2bez_2.....	72
Obr. 39 - Fotodokumentace stopy, 2bez_3.....	74
Obr. 40 - Fotodokumentace stopy, 2bez_5.....	76
Obr. 41 - Fotodokumentace stopy, 2bez_6.....	78
Obr. 42 - Fotodokumentace stopy, 2bez_7.....	80
Obr. 43 - Fotodokumentace stopy, 2bez_8.....	82
Obr. 44 - Fotodokumentace stopy, 2abs_1.....	84
Obr. 45 - Fotodokumentace stopy, 2abs_2.....	86
Obr. 46 - Fotodokumentace stopy, 2abs_4.....	88
Obr. 47 - Fotodokumentace stopy, 2abs_5.....	90
Obr. 48 - Fotodokumentace stopy, 2abs_6.....	92
Obr. 49 - Fotodokumentace stopy, 2abs_7.....	94
Obr. 50 - Fotodokumentace stopy, 2abs_8.....	96

7 SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 - Vliv skluzu kola na součinitel adheze [2]	16
Graf č. 2 - Vliv rychlosti na μ . Optimální prokluz (1); smýkající se kolo (2) [2]	17
Graf č. 3 Třiosý průběh adheze v závislosti na rychlosti	18
Graf č. 4 Obecný popis průběhu zrychlení v čase, názorný příklad	50
Graf č. 5 - Průběh zrychlení, 1bez_1	52
Graf č. 6 - Průběh zrychlení, 1bez_4	54
Graf č. 7 - Průběh zrychlení, 1bez_5	56
Graf č. 8 - Průběh zrychlení, 1bez_6	58
Graf č. 9 - Průběh zrychlení, 1bez_7	60
Graf č. 10 - Průběh zrychlení, 1abs_2	62
Graf č. 11 - Průběh zrychlení, 1abs_3	64
Graf č. 12 - Průběh zrychlení, 1abs_4	66
Graf č. 13 - Průběh zrychlení, 1abs_5	68
Graf č. 14 - Průběh zrychlení, 2bez_1	70
Graf č. 15 - Průběh zrychlení, 2bez_2	72
Graf č. 16 - Průběh zrychlení, 2bez_3	74
Graf č. 17 - Průběh zrychlení, 2bez_5	76
Graf č. 18 - Průběh zrychlení, 2bez_6	78
Graf č. 19 - Průběh zrychlení, 2bez_7	80
Graf č. 20 - Průběh zrychlení, 2bez_8	82
Graf č. 21 - Průběh zrychlení, 2abs_1	84
Graf č. 22 - Průběh zrychlení, 2abs_2	86
Graf č. 23 - Průběh zrychlení, 2abs_4	88
Graf č. 24 - Průběh zrychlení, 2abs_5	90
Graf č. 25 - Průběh zrychlení, 2abs_6	92
Graf č. 26 - Průběh zrychlení, 2abs_7	94
Graf č. 27 - Průběh zrychlení, 2abs_8	96

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - součinitele tření pro daný typ povrchu dle [2]	16
Tabulka 2: Parametry pneumatiky Pirelli Cinturato P7	39
Tabulka 3 : Parametry pneumatik Continental WinterContact TS.....	39
Tabulka 4 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_1	53
Tabulka 5 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_4	55
Tabulka 6 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_5	57
Tabulka 7 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_6	59
Tabulka 8 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1bez_7	61
Tabulka 9 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_2	63
Tabulka 10 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_3	65
Tabulka 11 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_4	67
Tabulka 12 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 1abs_5	69
Tabulka 13 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_1	71
Tabulka 14 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_2	73
Tabulka 15 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_3	75
Tabulka 16 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_5	77
Tabulka 17 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_6	79
Tabulka 18 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_7	81
Tabulka 19 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2bez_8	83
Tabulka 20 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_1	85
Tabulka 21 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_2	87
Tabulka 22 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_4	89
Tabulka 23 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_5	91
Tabulka 24 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_6	93
Tabulka 25 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_7	95
Tabulka 26 - Hodnoty průběhu měřicího pokusu 2abs_8	97

9 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] BILÍK, M. Identifikace relevantních stop pneumatik na místě dopravní nehody na základě jejich fyzikálních vlastností. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2018. 115 s. Vedoucí dizertační práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D.
- [2] BRADÁČ, A.; KREJČÍŘ, P.; LUKAŠÍK, L.; OŠLEJŠEK, J.; PLCH, J.; KLEDUS, M.; VÉMOLA, A. Soudní inženýrství. Brno: Cerm, s.r.o., 1997. p. 1-725. ISBN: 80-7204-057-X
- [3] DVORŤÁČEK, T. Metodika ohledání dopravní nehody policií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
- [4] GILLESPIE, Thomas D. Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992, xxii, 495 stran : ilustrace. ISBN 1-56091-199-9.
- [5] KAPLÁNEK, A.: Analýza reakcí řidičů na složené podněty. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2010. 90 s. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.
- [6] MIKULEC, Roman. SYSTÉMOVÉ SROVNÁNÍ MĚŘENÍ ADHEZE VOZOVKY. Brno: VUT, 2015, 71 s.
- [7] OLÍŠAR, Petr. Identifikace parametrů matematického modelu pneumatik. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Porteš.
- [8] PACEJKA, Hans B., 2012. Tire and vehicle dynamics. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann
- [9] RÁBEK, Vlastimil. Optické metody detekce nezřetelných stop na vozovce při znalecké analýze silničních nehod. Brno: VUT, 2003, 26 s. ISBN 8021423862.
- [10] ŠACHL, Jindřich. Analýza nehod v silničním provozu. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04638-8.

- [11] ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silničních nehod, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě, 2008
- [12] VÉMOLA, Aleš. Diagnostika automobilů II. 2006. ISBN 80-85763-32-X
- [13] VLK, František. Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, řiditelnost, ovladatelnost, stabilita. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 434 s. : il. ; 23 cm. ISBN 80-238-5273-6.
- [14] VLK, František. Automobilová technická příručka. 1. vyd. Brno: F. Vlk, 2003, xi, 791 s. ISBN 80-238-9681-4
- [15] Internetový odkaz:
<https://www.jhscientific.com/downloads/CriticalSpeedYaw.pdf>
- [16] Internetový odkaz:
<https://kineticorp.com/wp-content/uploads/2016/08/2009-01-0092-yaw-striations-steering-braking.pdf>
- [17] Internetový odkaz:
<https://www.racecar-engineering.com/tech-explained/tyre-grip/>
- [18] Internetový odkaz:
<https://www.hindawi.com/journals/amse/2018/5916180/>
- [19] Internetový odkaz:
<https://www.stk-valmez.cz/news/konstrukce-pneumatiky-druhy-typy/>
- [20] Internetový odkaz:
<https://pneuporadna.cz/vse-o-pneu/z-ceho-se-vyrabi-pneumatiky>
- [21] Internetový odkaz:
<http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12-pneumatiky-konstrukce.html>
- [22] Internetový odkaz:
<http://old.mssch.cz/1997-1999/ocs/cefic/oc/index.html>
- [23] Internetový odkaz:
https://www.apecbraking.co.uk/getattachment/f037f913-0a1d-4227-ba12-cfb6afec633c/ABS_mechanism_2.jpg.aspx?width=600&height=381

- [24] Internetový odkaz:
<https://www.wabco-customercentre.com/catalog/productImage/4721950460-1.tif.png>
- [25] internetový odkaz:
<https://i.imgur.com/rYarWjT.jpg>
- [26] BRADÁČ, A. a kol. Soudní inženýrství. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999. ISBN 80- 7204-133-9
- [27] *Soudní inženýrství: časopis pro soudní znalectví v technických a ekonomických oborech*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1990-. ISSN 1211-443X.

10 SEZNAM PŘÍLOH

Veškeré přílohy jsou umístěny na přiloženém datovém CD-ROM přenašeči.

- 1 – Fotodokumentace stopy
- 2 – Data XL Vision
- 3 – Data MS Excel
- 4 – Libreto měření