



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

SYSTÉMOVÉ SROVNÁNÍ MĚŘENÍ ADHEZE VOZOVKY

SYSTEM COMPARISON OF ROAD ADHESION MEASUREMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ROMAN MIKULEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV TOKAŘ

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Roman Mikulec

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

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:

Systémové srovnání měření adheze vozovky

v anglickém jazyce:

System comparison of road adhesion measurements

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis vybraných prostředků, používaných při měření adheze vozovky a následné měření adheze na vybraných úsecích s cílem porovnání jednotlivých metod (decelerační zkouška a měření dynamickým měřicím zařízením) mezi sebou z naměřených hodnot. Stanovení vztahu (přepočtu) mezi jednotlivými metodami měření.

Cíle diplomové práce:

1. Popis jednotlivých metod měření adheze vozovek.
2. Provedení měření adheze vozovek na vybraných úsecích zvolenými metodami.
3. Analýza výsledků měření a stanovení závislosti mezi jednotlivými metodami měření adheze vozovky.

Seznam odborné literatury:

- [1] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- [2] ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silničních nehod, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě, 2008.
- [3] ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009.
- [4] NEKULA, L., a kolektiv, Školení technických norem a předpisů STEPS: STEPS 3 – Údržba a opravy vozovek, povrchové vlastnosti vozovek, Sdružení provýstavbu silnic Praha, Praha, 2010.
- [5] BURG, Hrsg. Heinz. Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2009, 1032 s. ATZ/MTZ-Fachbuch. ISBN 978-3-8348-0546-1.
- [6] VLK, F.: Dynamika motorových vozidel, 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ A VYDAVATELSTVÍ VLK, Brno, 2000. 34 str. ISBN 80-238-5273-6

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Tokař

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 24.10.2014

L.S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato práce se zabývá porovnáním různých metod měření protismykových vlastností povrchu vozovky a posouzením, zda mezi výsledky měření těmito metodami existuje funkční závislost. Skládá se z popisu fyzikálních veličin, jež jsou těmito metodami měřeny a zařízení, používaných pro měření těchto veličin. Dále práce obsahuje vlastní měření a porovnání výstupů měření mezi sebou. U jednotlivých metod měření je vidět jejich podobný průběh hodnot a až na dvě výjimky podobný rozdíl výsledků měření mezi jednotlivými měřicími metodami. Při porovnání výsledků se jevil přístroj XL Meter přesnější než přístroj RaceLogic díky jeho vyšší frekvenci záznamu dat. Při početním porovnání Přístrojů XL Meter a multifunkčního zařízení TRT měla konstanta, o kterou se výsledky přístrojů od sebe lišily, hodnotu 0,35, při použití metody proložení výsledných rozdílů hodnot přímkou pak měla konstanta, o kterou se výsledky mezi těmito přístroji lišily, hodnotu 0,33.

Abstract

This thesis presents a comparison of different methods for measuring road surface skid resistance and an assessment of whether there is a functional dependency in between measurement results of these methods. It consists of a description of the physical quantities, which are measured by these methods and equipment used for these measurements. The work includes the measurement and comparison of measurement outputs with each other. Among the measurement methods there can be seen similar development of their values, with two exceptions there is similar difference between the results of the measurement methods. When comparing the results XL Meter instrument seemed more accurate than the RaceLogic due to its higher frequency of data recording. By using numerical method of comparison between XL Meter device and multipurpose device TRT there was a constant by which the results differed from each instrument, with value of 0,35, using the method of interspacing the resulting differences of values by a line, the resulting constant by which the results differed between the devices had the value of 0,33.

Klíčová slova

Adheze, tření, pneumatiky, porovnání metod měření, popis měřicích zařízení.

Keywords

Adhesion, friction, tires, comparison of measurement methods, description of measuring equipment.

Bibliografická citace

MIKULEC, R. *Systémové srovnání měření adheze vozovky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Tokař.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením pana Ing. Stanislava Tokaře a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. května 2015

.....

Roman Mikulec

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Stanislavu Tokařovi za poskytnuté rady a vedení. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Leoši Nekulovi za jeho spolupráci a poskytnutí jeho služeb při provedených měřeních a také Policii České republiky, Krajskému ředitelství Jihomoravského kraje za spoluúčast při měřeních. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům za podporu mého studia na vysoké škole.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	ŘEŠENÉ VELIČINY A JEJICH VLASTNOSTI	10
2.1	Popis adheze	10
2.2	Popis součinitele tření.....	12
2.3	Rozdíl mezi adhezí a součinitelem tření.....	17
2.4	Faktory ovlivňující adhezi	18
2.4.1	<i>Rychlost vozidla.....</i>	<i>18</i>
2.4.2	<i>Skluž kola.....</i>	<i>19</i>
2.4.3	<i>Množství vody.....</i>	<i>20</i>
2.4.4	<i>Roční období.....</i>	<i>21</i>
2.4.5	<i>Teplota.....</i>	<i>22</i>
2.4.6	<i>Makro- a mikrotextura povrchu vozovky.....</i>	<i>22</i>
2.4.7	<i>Stáří vozovky.....</i>	<i>23</i>
2.4.8	<i>Znečištění vozovky.....</i>	<i>23</i>
2.4.9	<i>Poloha jízdnic stop na vozovce.....</i>	<i>23</i>
2.4.10	<i>Zatížení kola</i>	<i>23</i>
2.4.11	<i>Ojetí dezénu.....</i>	<i>24</i>
2.4.12	<i>Dezén pneumatiky.....</i>	<i>24</i>
2.4.13	<i>Složení pryže běhounu pneumatiky.....</i>	<i>25</i>
2.4.14	<i>Huštění pneumatik</i>	<i>27</i>
2.5	Statistika nehodovosti.....	28
3	METODY MĚŘENÍ	29
3.1	Brzdná zkouška	29
3.1.1	<i>XL Meter.....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Racelogic performancebox.....</i>	<i>30</i>

3.2	Měření součinitele podélného tření	32
3.2.1	<i>Multifunkční zařízení TRT (Tatra Runway Tester)</i>	32
4	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	38
4.1.1	<i>Úsek č. 1</i>	38
4.1.2	<i>Úsek č. 2</i>	47
5	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	51
5.1	Porovnání naměřených hodnot	51
5.2	Stanovení konstanty rozdílu výpočtem	58
5.3	Stanovení konstanty rozdílu proložením přímky	62
6	ZÁVĚR	64

1 ÚVOD

Soudní inženýrství je vědní obor, zabývající se analýzou dopravních nehod. Vzhledem k neustálému vývoji konstrukce vozidel a povrchů pozemních komunikací je potřeba neustálého sběru dat, kterých je využíváno při řešení nehod a objasňování dějů, které při nehodách nastávají.

Pro kompletní řešení dopravních nehod je zapotřebí velké množství podkladů, mezi něž patří i znalost hodnoty adheze, na které závisí délky brzdných drah vozidel. Velikost adheze je důležitá i pro výrobce pneumatik, kteří se snaží vyrábět pneumatiky s co nejlepšími adhezními vlastnostmi, čímž zvyšují aktivní bezpečnost vozidel, na nichž jsou takovéto pneumatiky použity.

Stejně tak je při konstrukci pozemních komunikací nutno určit hodnotu protismykových vlastností povrchu, která se má dodržet. Konkrétně se jedná o součinitel tření, který je závazným parametrem při přejímce dokončené vozovky a dále slouží jako hodnotící kritérium protismykových vlastností povrchu.

V současné době existuje několik metod, s jejichž pomocí je možné určit protismykové vlastnosti povrchu vozovky. V této práci budou některé vybrané metody popsány a porovnány mezi sebou ve snaze zjištění funkční závislosti mezi nimi. Asi nejzajímavější pak bude porovnání metod obecně používaných pro praxi znalců (zjištění adheze pomocí brzdných zkoušek) a metody používané ve stavebním průmyslu (zjištění součinitele podélného tření pomocí národního referenčního zařízení).

Výsledek této práce by měl ujasnit použití jednotlivých metod a uvést možný přepočet výsledků měření těmito metodami mezi sebou.

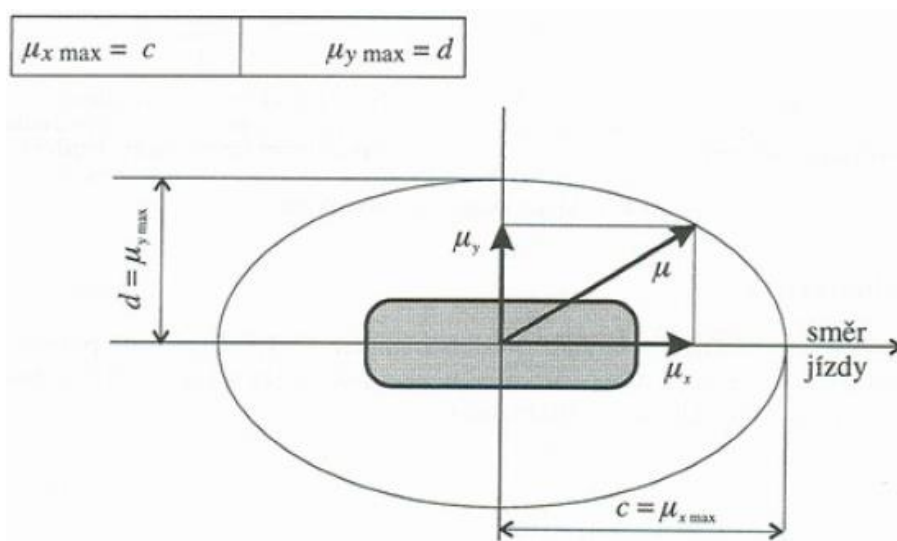
2 ŘEŠENÉ VELIČINY A JEJICH VLASTNOSTI

Ve znalecké činnosti je při řešení nehodových dějů zapotřebí znát množství veličin, jejichž přesnost ovlivňuje i rozptyl výsledků. Jednou z těchto veličin je adheze, jejíž velikost umožňuje určit dosažitelné zpomalení na daném povrchu vozovky. Tato kapitola přiblíží podstatu adheze a součinitele tření, který slouží jako hodnotící kritérium při stavbě pozemních komunikací a je uveden jako závazný parametr v normách pro stavební praxi.

2.1 POPIS ADHEZE

Adhezi je možné popsat jako vlastnost pryže, která způsobuje její přilnavost k jiným materiálům tím, že dochází k dočasnému molekulovému spojení mezi dvěma povrchy [7].

Reprezentuje tedy míru interakce pneumatiky a vozovky. Mezní hodnotu adheze je možné zobrazit pomocí tzv. adhezní elipsy (dnes spíše kružnice – konstrukce dnešních pneumatik umožňuje přenos téměř stejně velkých sil jak v podélném, tak příčném směru) [2].



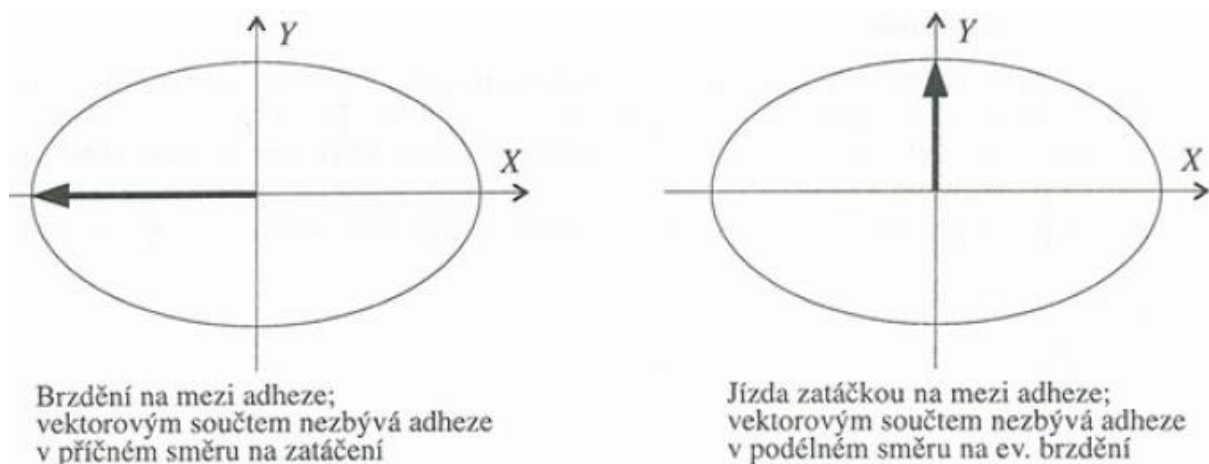
Obr. 1 Adhezní elipsa [2]

Výsledná přilnavost (adheze) pneumatiky k vozovce je vektorový součet využitelné adheze v podélném a příčném směru. Není však podmínkou, aby hodnota vektorového součtu dosáhla mezní hodnoty adheze, důležité však je, aby tato hodnota nebyla překročena.

Rovnice adhezní elipsy je vyjádřena následujícím vztahem:

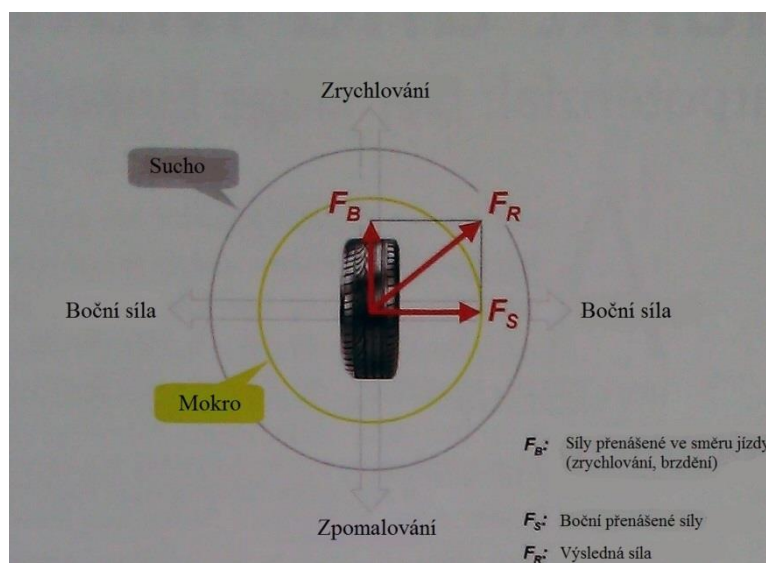
$$\frac{\mu_x}{c} + \frac{\mu_y}{d} = 1 \quad (1)$$

Pokud by byla při brzdění využita veškerá adheze na zpomalení v podélném směru, ve vektorovém součtu pak nezbývá nic na vedení kola v bočním směru a naopak při jízdě v oblouku mezní rychlostí (a tím spotřebování využitelné adheze v příčném směru) nezbývá nic na brzdění [2].



Obr. 2 Adhezní elipsa – mezní situace [2]

Adheze určuje velikost sil, které je možné přenést z pneumatiky na vozovku. V podélném směru nastává přenos sil vznikajících při zrychlení a zpomalení, v příčném směru se vyskytuje síla působící na boční vedení. Výslednice těchto sil je (podobně jako u adheze) tvořená složkami podélné a příčné síly. Kammova kružnice reprezentuje mezní využitelné síly v podélném a příčném směru – při jejím překročení výslednou silou by nastal smyk kola. Velikost Kammovy kružnice je závislá na adhezi a stavu vozovky (suchá nebo mokrá) [1].



Obr. 3 Kammova kružnice [1]

2.2 POPIS SOUČINITELE TŘENÍ

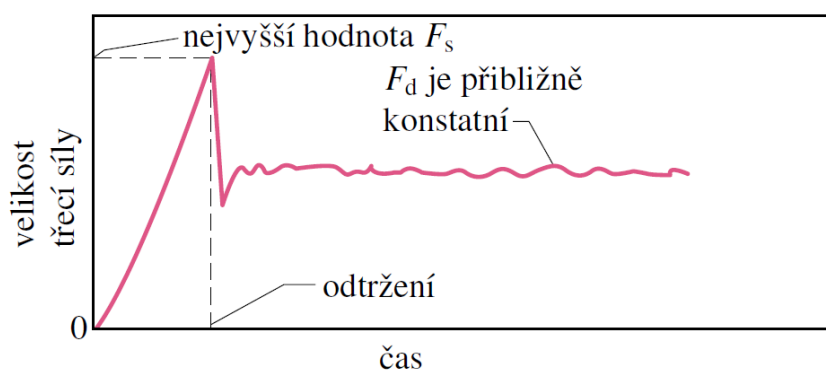
Při pohybu jednoho tělesa po druhém smýkáním, vniká mezi těmito tělesy síla, která má směr opačný pohybu (nebo zamýšlenému pohybu) tělesa, bránící pohybu těchto dvou těles po sobě. Při působení síly na těleso ve snaze jej uvést do pohybu, dosahuje síla bránící pohybu velikosti síly, kterou je na těleso působeno. Tato síla se nazývá *statická třecí síla* F_s a její maximální hodnota je dána vztahem

$$F_{s,max} = f_s \cdot F_N \quad (2)$$

kde f_s je koeficient statického tření a F_N je velikost normálové síly, kterou působí těleso na podložku. Pokud dojde k převýšení hodnoty $F_{s,max}$, začne se těleso po podložce klouzat. Jakmile je těleso uvedeno do pohybu, velikost třecí síly klesne na hodnotu F_d nazývanou *dynamická třecí síla*, určenou vztahem

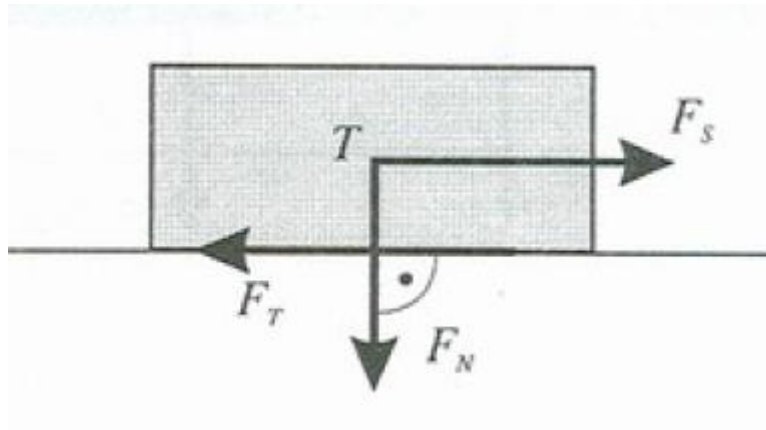
$$F_d = f_d \cdot F_N \quad (3)$$

kde f_d je koeficient dynamického tření. Velikost dynamické třecí síly se v průběhu pohybu nemění.



Obr. 4 Průběh třecí síly [5]

Součinitel smykového tření je tedy fyzikální veličina, vyjadřující poměr dvou na sebe kolmých sil – třecí síly F_T (ať už statické nebo dynamické), vznikající při pohybu jednoho tělesa po druhém a normálové síly F_N , závislé na hmotnosti pohybovaného tělesa. Hodnota součinitele tření závisí na materiálu, kterým jsou tělesa tvořena, jejich povrchu a drsnosti povrchu těles, mezi nimiž smykové tření probíhá [5].



Obr. 5 Síly působící při pohybu tělesa po podložce [2]

Součinitel tření je možné odvodit z následujících rovnic:

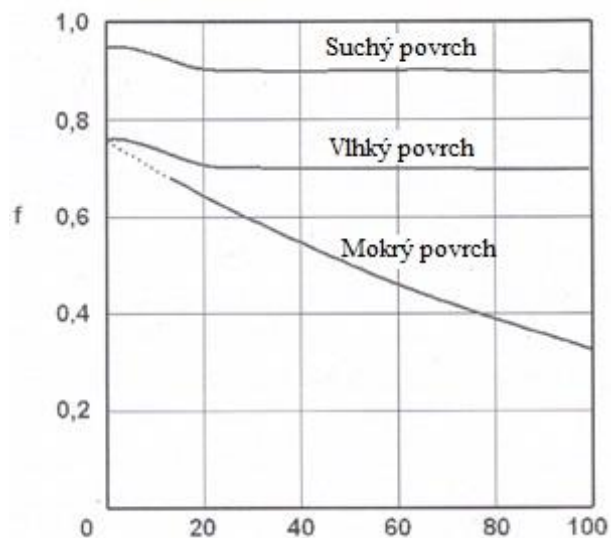
$$F_N = m \cdot g \quad (4)$$

$$F_T = F_N \cdot f \quad (5)$$

$$f = \frac{F_T}{F_N} \quad (6)$$

Kde:

- m hmotnost tělesa [kg]
- g tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
- f koeficient tření [-]



Obr. 6 Součinitel tření, jako funkce rychlosti vozidla [6]

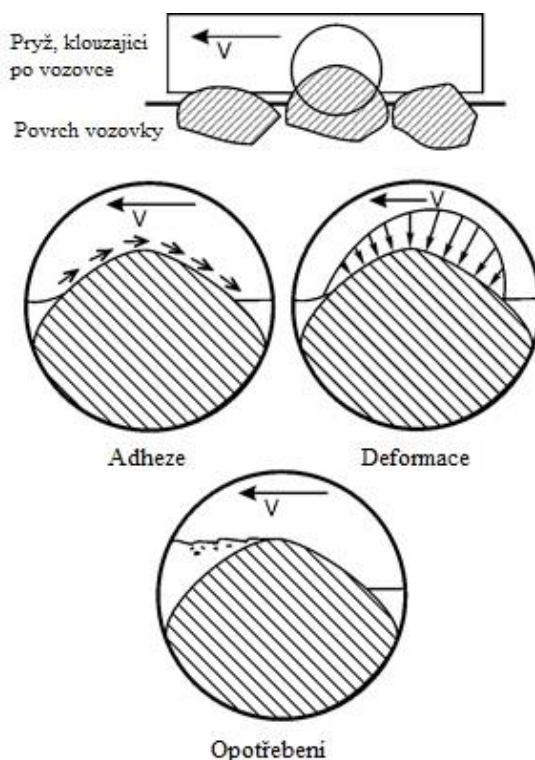
Tabulka č. 1 Součinitel vlečného tření [2]

Povrch		tělesa	Součinitel vlečného tření f
podkladu			
Beton suchý	čistý znečištěný	guma	0,61 - 0,74
		guma	0,56 - 0,89
		látka	0,50 - 0,70
		kůže	0,36 - 0,55
		plech	≈ 0,35
		kov+guma 1:1	0,55 - 0,65
Beton	mokrý	guma	0,44 - 0,69
		látka	0,48 - 0,76
		kůže	≈ 0,30
Beton	zledovatělý	guma	0,11 - 0,20
		látka (manchester)	0,37 - 0,41
		plech	≈ 0,14
Zmrzlý sníh		guma	0,34 - 0,52
		látka (manchester)	0,49 - 0,56
Dlažba	suchá rovná	guma	0,37 - 0,65
		látka	≈ 0,40
		kůže	0,41 - 0,45
	mokrá	guma	≈ 0,40
		látka	≈ 0,33
		kůže	≈ 0,34
		s popraškem sněhu	guma
námraza sypaná jemným popílkem	guma	≈ 0,33	
námraza	guma	0,10 - 0,34	
hladká, pálená, suchá	guma	0,35 - 0,39	
Asfalt	suchý	guma	0,34 - 0,80
		látka	0,55 - 0,82
		kůže	0,48 - 0,56
		kov (rýha)	0,36 - 0,45
	mokrý	guma	0,38 - 0,69
		látka	0,48 - 0,77
		kůže	0,40 - 0,49
	náledí sněhový poprašek	guma	0,09 - 0,29
		guma	≈ 0,54
		látka	≈ 0,63
Cesta zemitá	suchá	guma	0,63 - 0,68
		látka	0,63 - 0,86
	blátivá písková prašná (šterk)	kůže	≈ 0,71
		látka	0,45 - 0,50
		guma	0,57 - 0,67
		guma	0,38 - 0,61
Souvislá vrstva ledu s nerovným povrchem		kůže	≈ 0,34
		guma	0,19 - 0,23
		látka	≈ 0,25
		kůže	≈ 0,23

Tření pryže

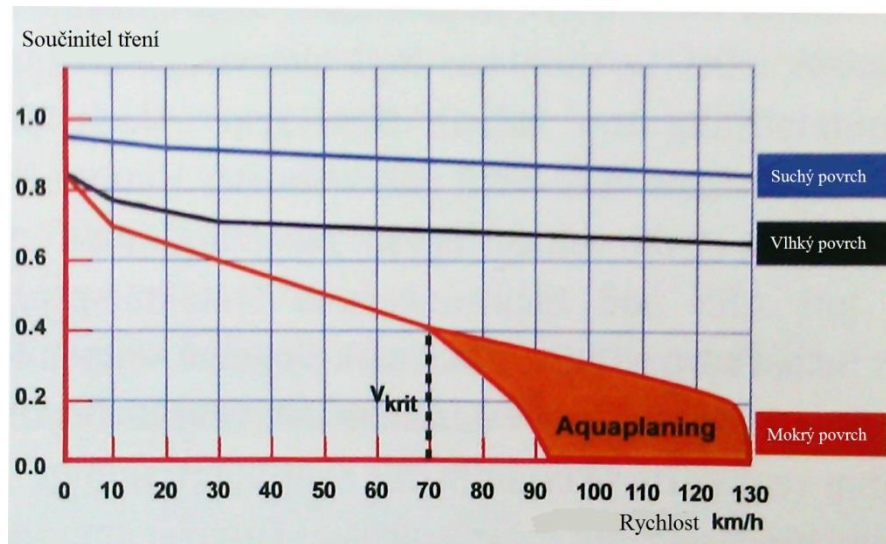
Tření pryže je specifické v tom, že při pohybu pryže po jiném povrchu (např. skle) může hodnota součinitele tření dosáhnout hodnoty vyšší než 1. To znamená, že je potřeba vyšší síly pro rozpořhobování pryžového objektu, než jaká jej přitlačuje k druhému objektu. Dá se tedy usoudit, že kromě prostého tření zde působí i další jevy [7].

Pryž vytváří tření třemi hlavními způsoby: adhezí, deformací a opotřebením. Vliv adheze se nejvíce projeví na hladkém, suchém povrchu, kde závisí především na velikosti stykové plochy. Deformace se pak projevuje na hrubém povrchu a především na mokřém povrchu, kde je adheze nižší, kvůli ztrátě styku s povrchem vozovky. Opotřebením nastává při překročení místního napětí v pryži například při vniknutí ostrých výběžků nerovností vozovky do pryže pneumatiky, kdy dochází k trhlinám v pryži, což může vyústit až k oddělení materiálu.[7].



Obr. 7 Hlavní složky tření pryže [7]

Jak zde již bylo zmíněno, tření pryže (pneumatiky) je závislé na stavu vozovky a podobně jako adheze se jeho hodnoty snižují se zvyšujícím se množstvím vody na povrchu vozovky a zvyšují se rychlostí vozidla.



Obr. 8 Závislost součinitele tření na rychlosti a množství vody na povrchu vozovky [1]

Následující tabulka zobrazuje různé součinitele tření v závislosti na typu povrchu vozovky, stavu vozovky (mokrý a suchý) a rychlosti vozidla.

Tabulka č. 2 Součinitel tření pneumatiky na vozovce [6]

Description of road surface	dry <48 km/h	dry >48 km/h	wet <48 km/h	wet >48 km/h
portland cement:				
new, sharp	0.80–1.20	0.70–1.00	0.50–0.80	0.40–0.75
travelled	0.60–0.80	0.60–0.75	0.45–0.70	0.45–0.65
traffic polished	0.55–0.75	0.50–0.65	0.45–0.65	0.45–0.60
asphalt, tar:				
new, sharp	0.80–1.20	0.65–1.00	0.50–0.80	0.45–0.75
travelled	0.60–0.80	0.55–0.70	0.45–0.70	0.40–0.65
traffic polished	0.55–0.75	0.45–0.65	0.45–0.65	0.40–0.60
excess tar	0.50–0.60	0.35–0.60	0.30–0.60	0.25–0.55
gravel:				
packed, oiled	0.55–0.85	0.50–0.80	0.40–0.80	0.40–0.60
loose	0.40–0.70	0.40–0.70	0.45–0.75	0.45–0.75
cinders:				
packed	0.50–0.70	0.50–0.70	0.65–0.75	0.65–0.75
rock:				
crushed	0.55–0.75	0.55–0.75	0.55–0.75	0.55–0.75
ice:				
smooth	0.10–0.25	0.07–0.20	0.05–0.10	0.05–0.10
snow:				
packed	0.30–0.55	0.35–0.55	0.30–0.60	0.30–0.60
loose	0.10–0.25	0.10–0.20	0.30–0.60	0.30–0.60

2.3 ROZDÍL MEZI ADHEZÍ A SOUČINITELEM TŘENÍ

Pro pojmenování styku otáčejícího se kola po vozovce se používá namísto výrazu součinitel tření termín součinitel adheze. Součinitel adheze vyjadřuje schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou (většinou) rozdílných povrchů bez smýkání. Hodnotu součinitele adheze je možné odvodit z následující úvahy dle [2]: „*Síly tření je za pohybu přímočarého po rovině v rovnováze se silou setrvačnou F_S' (tj. silou, která se snaží udržet těleso v rovnoměrném pohybu; dle druhého pohybového zákona $F_S' = m \cdot a$). Z podmínky rovnováhy sil ve směru rovnoběžném s vozovkou, při jejich zákonitě opačném smyslu platí:*

$$F_T = F_S' \quad (7)$$

po dosazení

$$m \cdot g \cdot \mu = m \cdot a \quad (8)$$

*a z toho vyplývá velmi důležité omezení **maximálně dosažitelného zrychlení resp. Zpomalení na vodorovné vozovce:***

$$a \leq g \cdot \mu \quad (9)$$

Ze vzorce vyplývá, že teoreticky maximální zpomalení nezávisí na hmotnosti vozidla. Toto ale platí jen v případě, že jsou všechna kola zablokována, nebo je zatížení náprav v relaci s tangenciální brzdou silou, kterou v daném okamžiku vyvine mechanismus brzdy na obvodu kola.“ (Bradáč, A., str. 349)

Odtud je tedy možné vyvodit, že součinitel adheze se dá určit (za podmínky využití maximální možné adheze pro daný směr na zpomalení v tomto směru) podílem dosaženého zpomalení a tíhového zrychlení:

$$\mu = \frac{a}{g} \quad (10)$$

Hodnotu brzdného zpomalení je možné získat několika metodami (přístroji) při provádění brzdných zkoušek vozidla.

Tabulka č. 3 Součinitel adheze na různém povrchu [2]

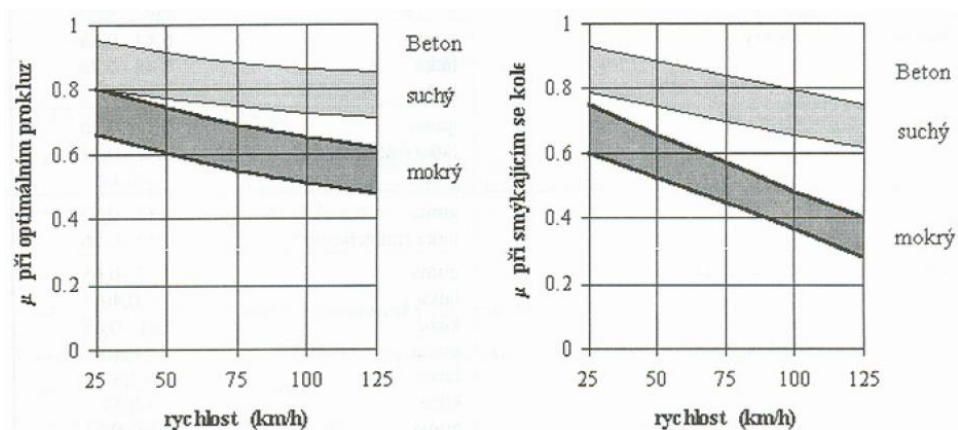
Povrch vozovky		μ	Povrch vozovky		μ
beton	suchý	0,8 – 1,0	polní cesta	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,5 – 0,8		mokrá	0,3 – 0,4
asfalt	suchý	0,6 – 0,9	tráva	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,3 – 0,8		mokrá	0,2 – 0,5
dlažba	suchá	0,6 – 0,9	hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4
	mokrá	0,3 – 0,5		0°C	0,05 – 0,10
makadam	suchý	0,6 – 0,8	náledí	-10°C	0,08 – 0,15
	mokrá	0,3 – 0,5		-20°C	0,15 – 0,20

2.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ADHEZI

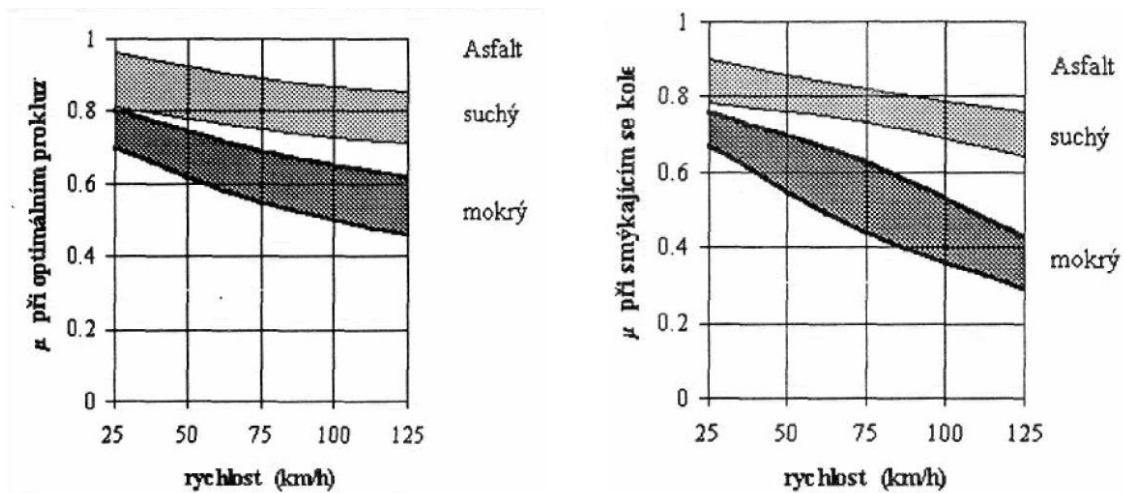
Adheze je složitý jev, který závisí na řadě faktorů a ne všechny tyto faktory ovlivňují adhezi stejnou měrou.

2.4.1 Rychlost vozidla

Rychlost vozidla ovlivňuje interakci pneumatiky s vozovkou především na mokré vozovce, nebo vozovce pokryté rozbředlým sněhem – hodnota součinitele adheze klesá se vzrůstající rychlostí vozidla. Absolutní rychlost jízdy po suché vozovce pak nemá na součinitel adheze vliv, ten je ovlivněn mírou skluzu pneumatiky po povrchu vozovky [17].



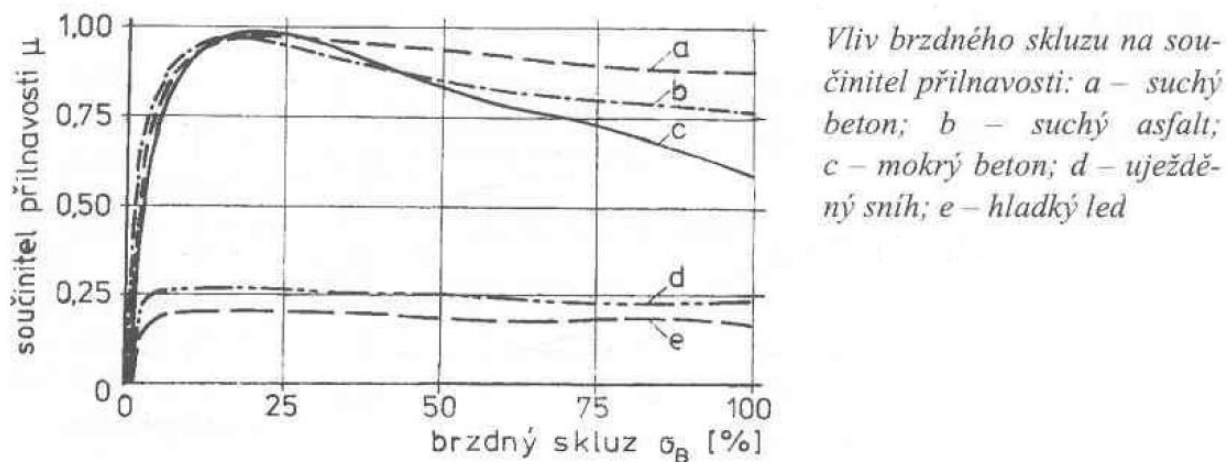
Obr. 9 Vliv rychlosti na součinitel adheze na betonu [2]



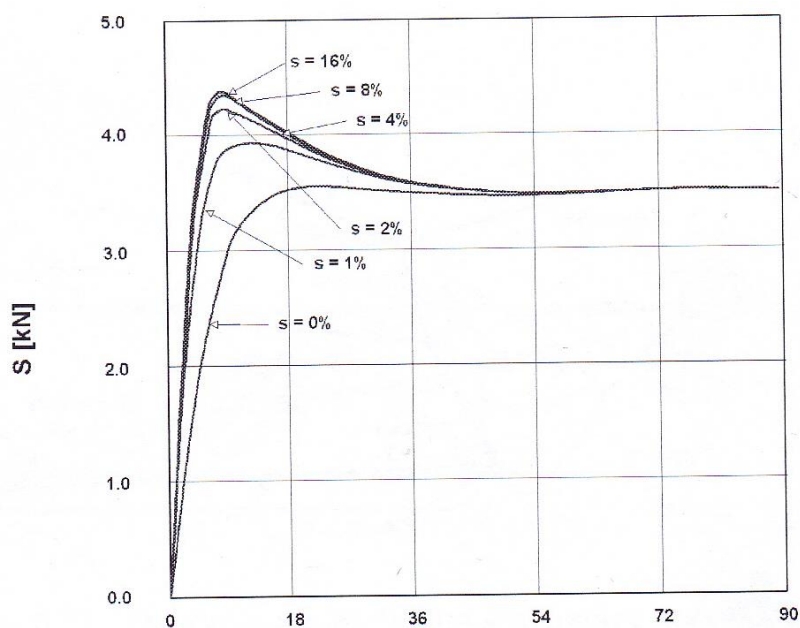
Obr. 10 Vliv rychlosti na součinitel adheze na asfaltu [2]

2.4.2 Skluz kola

Skluz kola nastává, pokud je obvodová rychlost brzděného kola menší, než dopředná rychlost vozidla, v opačném případě (tedy pokud je obvodová rychlost hnaného kola vyšší, než dopředná rychlost) se mluví o prokluzu kola. Dle [17] „Míra skluzu pneumatik ovlivňuje interakci pneumatiky s vozovkou a tím přímo i hodnoty součinitele adheze. Kombinuje se s vlivem rychlosti jízdy. Maximální adhezni možnosti v podélném směru poskytuje pneumatika, jejíž běhounová plocha se odvaluje po povrchu vozovky s určitým skluzem (podle konstrukce pneumatiky a druhu dezénu pneumatiky 10-30%).“ (ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., str. 25)



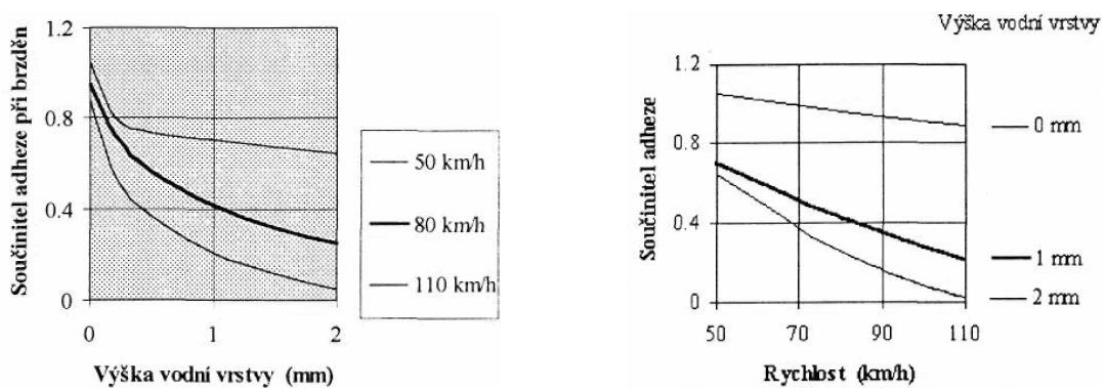
Obr. 11 Závislost součinitele adheze na skluzu [18]



Obr. 12 Závislost zatížení pneumatiky na úhlu směrové úchylky kola [6]

2.4.3 Množství vody

Závislost součinitele adheze je ovlivněna množstvím vody na vozovce. Při rychlostech nad 50 km/h a tloušťce vodního filmu alespoň $0,2 \text{ mm}$ (a ne pouze vozovka nesouvisle navlhá) proniká vodní klín pod pneumatiku a tak postupně snižuje stykovou plochu pneumatiky s vozovkou až do úplného oddělení, známého jako aquaplaning. Pokud se nejedná o zatopenou vozovku, množství vody se při rychlostech do 50 km/h prakticky neuplatňuje [17].



Obr. 13 Vliv výšky vodní hladiny na součinitel adheze [2]

Projev aquaplaningu je patrný na následujících obrázcích, kde je vidět, jak se s vyšší rychlostí zmenšuje styková plocha pneumatiky s vozovkou, pokrytou vrstvou vody.



Obr. 14 Projev aquaplaningu u nové pneumatiky [18]

Na následujícím obrázku je vidět, jak přítomnost vody na vozovce ovlivňuje brzdovou dráhu vozidla, zastavujícího z rychlosti 80 km/h. Tím, jak se se zvyšujícím množstvím vody na povrchu vozovky (od vozovky suché, přes vlhkou až po mokrou) a s její přítomností za teplot pod bodem mrazu (sníh až náledí) snižuje hodnota adheze, prodlužuje se brzdná dráha vozidla.

	Hodnoty adheze	Brzdná dráha z rychlosti 80 km/h
Suchý povrch	0,90	28 m
Vlhký povrch	0,60	42 m
Mokrá povrch	0,30	84 m
Zmrzlý povrch	0,10	252 m
Náledí	0,05	504 m

Obr. 15 Adheze v závislosti na stavu vozovky [1]

2.4.4 Roční období

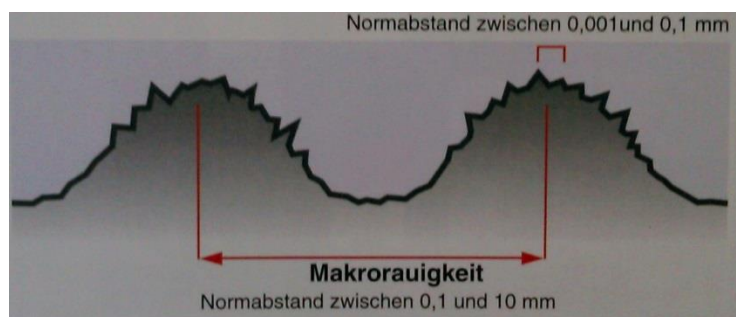
V lit. [17] autor uvádí: “Roční období je činitel ovlivňující protismykové vlastnosti povrchu vozovky. V létě jsou povrchy vozovek za mokra systematicky nejkluzčí. Tato málo známá a poněkud paradoxní skutečnost plyne shodně z výzkumů provedených u nás i v zahraničí. Vysvětlení je jednoduché: za studeného období se povrch vozovek zvýšenou měrou obrušuje a uvolněné částičky jsou za tepla zatlačovány do měkčího povrchu (zejména u vozovek živičných). V průběhu déletrvajícího chladnějšího období povrch poněkud křehne a ulpělé částičky se za mokra z textury vymývají. Drsnost se regeneruje v průběhu zimy.“ (ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., str. 27)

2.4.5 Teplota

Součinitel adheze mírně klesá na mokré vozovce se vzrůstající teplotou (od 0°C do cca 20°C), při dalším zvýšení teploty je již pak pokles součinitele adheze jen nepatrný. Poměrně výrazný je vliv teploty na součinitel adheze na ledu, kde se s teplotou klesající pod bod mrznutí součinitel adheze zvyšuje (je vyšší na „suchém“ ledu než na „mokrém“) [17].

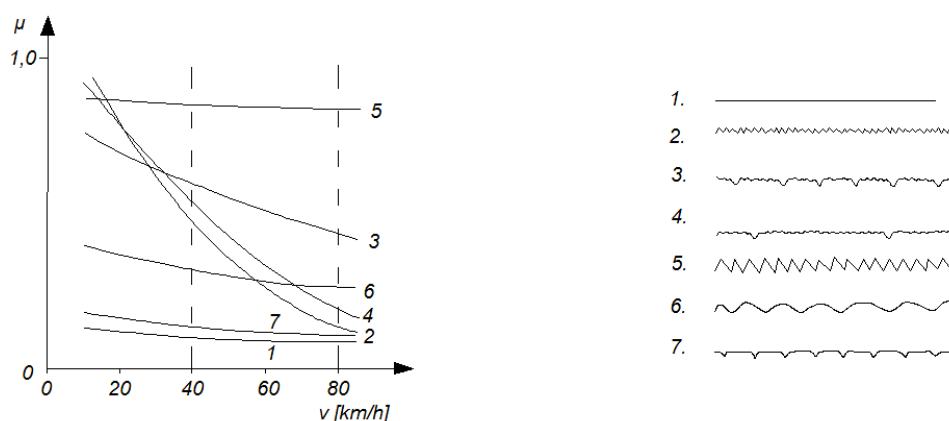
2.4.6 Makro- a mikrotextura povrchu vozovky

Makrotextura povrchu vozovky je souhrn všech výstupků na povrchu vozovky – tedy jednotlivá zrna kameniva použitého při stavbě vozovky. Mikrotexturu pak tvoří povrchy jednotlivých zrn kameniva. Obvyklá vzdálenost jednotlivých nerovností makrotextury se pohybuje od 0,1 do 10 mm, u mikrotextury pak od 0,001 do 0,1 mm [1].



Obr. 16 Rozdělení makro a mikrotextury povrchu [1]

Makrotextura ovlivňuje především drenážní schopnosti vozovky (ovlivňuje odvod vody z povrchu vozovky a snižuje tak její množství ve stykové ploše mezi pneumatikou a vozovkou). Adheze je makrotexturou ovlivňována především při vyšších rychlostech, zatímco mikrotextura povrchu vozovky ovlivňuje adhezi zejména při nízkých rychlostech [17].



Obr. 17 Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze [19]

2.4.7 Stáří vozovky

Nové živičné vozovky mají po zahájení provozu tendenci zlepšovat svou geometrickou drsnost změnou uválcovaného povrchu na charakteristickou drsnost a z důvodu setření živičného filmu z povrchu zrn kameniva. Po této fázi nastává pokles drsnosti z důvodu ohlazování povrchu vozovky projíždějícími vozidly. Po dlouhodobějším provozu pak již působí jen sezónní změny [17].

2.4.8 Znečištění vozovky

Na protismykové vlastnosti povrchu mají vliv i nečistoty na vozovce, kdy vznikají odlišné podmínky pro styk kola s vozovkou oproti neznečištěné vozovce. Za příklad nečistot lze uvést prach, hlínu nebo písek (právě písek snižuje adhezi pneumatik i za sucha). Jako extrémní příklad lze uvést vysypání šterku s oblými zrny na povrch vozovky v husté, téměř souvislé vrstvě, kdy se adhezní podmínky i za běžných rychlostí můžou přiblížit jízdě po náledí [17].

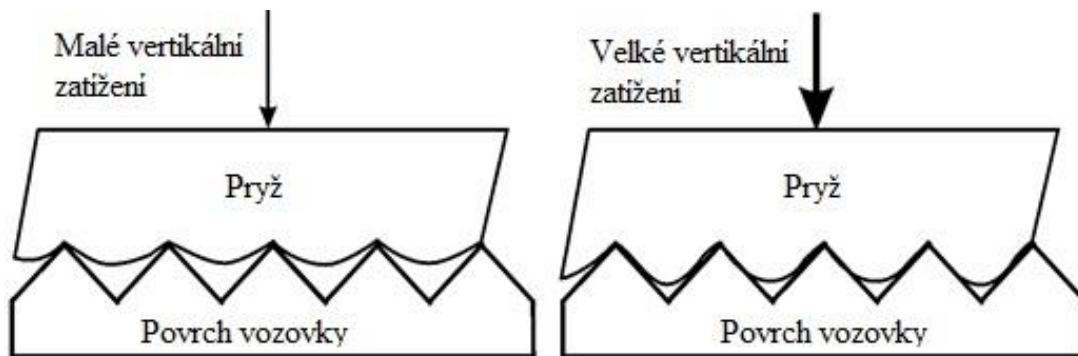
2.4.9 Poloha jízdnic stop na vozovce

Součinitel adheze je ovlivněn mírou obroušení a ohlazení povrchu vozovky vlivem provozu vozidel. Závisí na trvání a intenzitě provozu a na kolových tlacích. Na vícepruhových vozovkách je pak značný rozdíl protismykových vlastností v krajních pruzích. Tento jev je několikrát vyšší ve spojitosti s provozem nákladních vozidel, proto jsou také v jízdnicích pruzích nejvíce ohlazeny jízdnicí stopy v rozchodu kol rovnému kolům nákladních vozidel [17].

2.4.10 Zatížení kola

Interakce kola a vozovky je ovlivněna zatížením kol, kdy se závislost součinitele adheze pryže na přítláčné síle kombinuje s mírou skluzu kola. V praxi je ale vliv zatížení kola na součinitel adheze malý a lze jej zahrnout do tolerančního rozpětí uvažovaných hodnot součinitele adheze [17].

S vyšším zatížením kola se také zvyšuje styková plocha pneumatiky a povrchu vozovky tím, jak pneumatika více „obaluje“ nerovnosti povrchu [7].



Obr. 18 Vliv zatížení pneumatiky na zvýšení stykové plochy s povrchem vozovky [7]

2.4.11 Ojetí dezénu

Čím vyšší je opotřebení dezénu pneumatiky, tím více se snižuje součinitel adheze na mokré vozovce při snížení hloubky drážek pod 1,6 mm (nejhorší adhezní vlastnosti by tedy měla pneumatika s hladkou běhounovou plochou). Za sucha naopak poskytuje nejlepší adhezi právě hladká pneumatika [17].

Projev opotřebení je patrný z následujícího obrázku, kde je oproti obr. 14 zřetelný pokles stykové plochy mezi pneumatikou a vozovkou, pokrytou vrstvou vody při zvyšující se rychlosti.



Obr. 19 Projev aquaplaningu u pneumatiky s ojetým dezénem [18]

2.4.12 Dezén pneumatiky

Vliv dezénu pneumatiky se projevuje především na mokré vozovce a na jeho schopnosti odvádět vodu ze stykové plochy pneumatiky a vozovky (tedy vliv hloubky a tvaru vzorku pneumatiky) [17].

2.4.13 Složení pryže běhounu pneumatiky

Zvolení správného složení pryže běhounu je obtížné především kvůli rozporným požadavkům. Pryž běhounu musí být odolná proti opotřebení ale také být houževnatá a pružná, pro snížení výskytu řezů, trhlin a prasklin [7].

Tabulka č. 4 Pozorované dráhy zastavení na mokré asfaltové vozovce u různých typů pryže [7]

Pryž	Odraz [%]	Tvrдост	Dráha zastavení [m]
BR	62	62	54
NR/BR	46	57	49
EPDM	32	63	48
SBR/BR	33	55	47
SBR	34	52	45
Butyl	9	40	39

(Poznámka: Odraz – test hysterese, kdy se ocelová koule zavěšená na provázku spustí z určité výšky proti pryžovému vzorku upevněnému na zdi a měří se, jak daleko se koule odrazí – větší odraz značí nižší pohlcení energie a tím nižší hysterese)

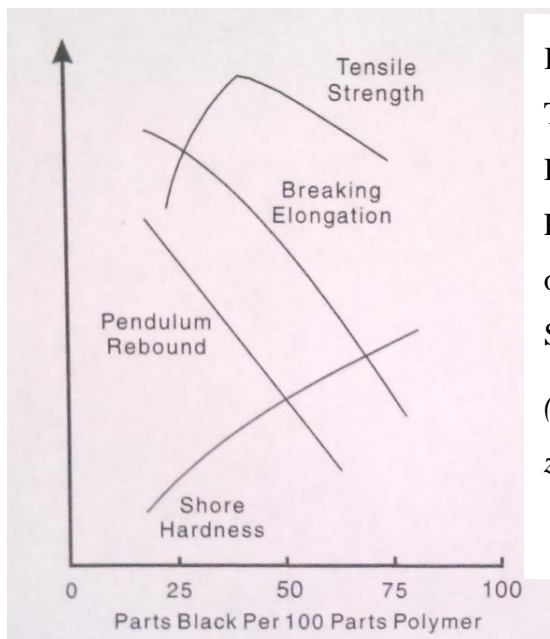
Z uvedeného lze vyvodit, že pro snížení dráhy potřebné pro zastavení je nutno využít směsi pryže s vysokou hystereseí a nízkou tvrdostí [7].

Měkčí pryž se projevuje vyššími hodnotami součinitele adheze jak za sucha, tak za mokra. Na druhou stranu se pak ale pneumatika z měkčí pryže projevuje nižší životností [17].

Obecně lze složení pryže pneumatik popsat jako směs: 1.) kaučuku, jednoduchého polymeru nebo směsi polymerů s vysokou molekulární hmotností; 2.) antidegradanty; 3.) plniva, směsi rozličných sazí, silika, nebo novější alternativní plniva; 4.) malé množství přísad napomáhajících zpracování jako jsou změkčovadla, plastifikační činidla nebo regenerát; 5.) chemická vulkanizační činidla, která zpravidla obsahují urychlovače, síru a oxid zinku a 6.) další chemikálie, jako jsou antioxidanty a antiozonanty [7].

Při takto velkém množství ingrediencí je obtížné nalézt takové složení pryžové směsi, která by byla přijatelným kompromisem požadovaných vlastností. Například tuhost a tvrdost lze ovlivnit množstvím sazí, změkčovadel, jemností části sazí a jinými možnostmi [7].

Skoro všechna plniva používaná při výrobě pneumatik zvyšují tuhost nebo tvrdost. Saze jsou zajímavé tím, že kromě uvedeného zvyšují výrazně i pevnost v tahu, odolnost proti trhlinám a proti opotřebení [7].



Kde:

Tensile strength – pevnost v tahu

Breaking elongation – tažnost

Pendulum rebound – odraz (se snižujícím se odrazem stoupá hystereze)

Shore hardness – tvrdost

(Vertikální osa reprezentuje zvyšování každé z měřených vlastností)

Obr. 20 Efekt zvyšování obsahu sazí [7]

Z uvedeného vyplývá že:

- 1.) zvyšování obsahu sazí v pryži zvyšuje pevnost v tahu jen do určité míry, poté tento účinek upadá
- 2.) s tím, jak se pryž zpevňuje, snižuje se její tažnost
- 3.) zvyšováním obsahu sazí se pryž stává tvrdší
- 4.) zvyšováním obsahu sazí se zvyšuje hystereze pryže

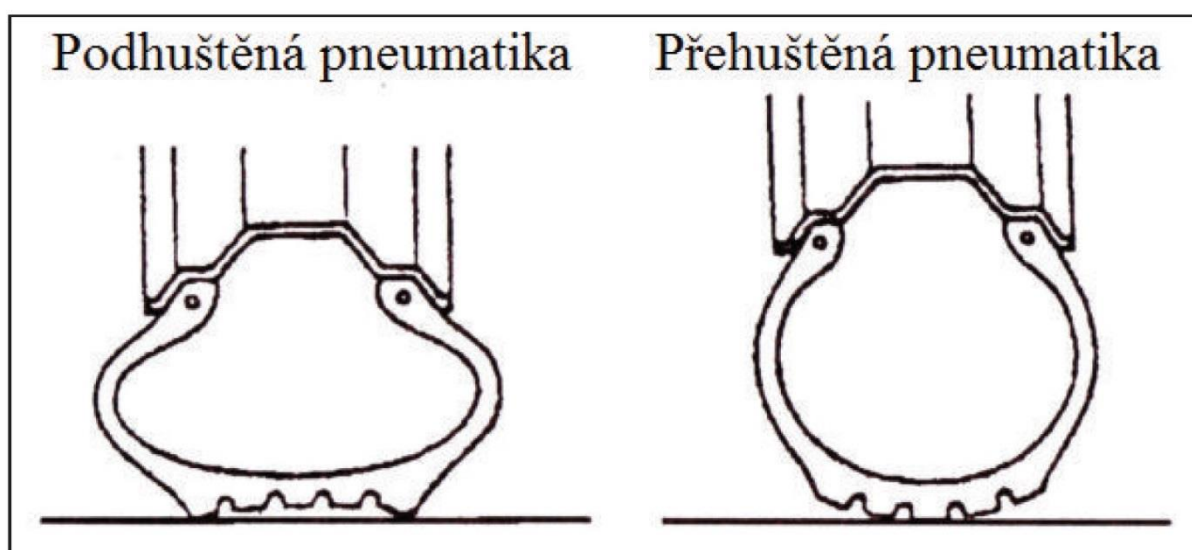
Saze v kombinaci se silikou v poměrech saze/silika od 25/75 až po 50/50 produkují dobrou odolnost proti opotřebení a zvyšují trakci za mokra.

Podstatným krokem při výrobě pryže je vulkanizace, což je proces, při kterém se vytváří vazby mezi molekulami polymeru a částicemi plniv. Tento proces je závislý na správné teplotě a době, po kterou vulkanizace probíhá, čímž se dají ovlivnit různé parametry směsi pryže [7].

2.4.14 Huštění pneumatik

Při snížení přetlaku v pneumatice dochází ke zvýšení stykové plochy pneumatiky a vozovky, čímž lze za sucha dosáhnout zvýšení využitelné adhezní síly. Na mokré vozovce je pak vliv huštění závislý i na dalších činitelích a nelze tak uvést jednoznačnou závislost [17].

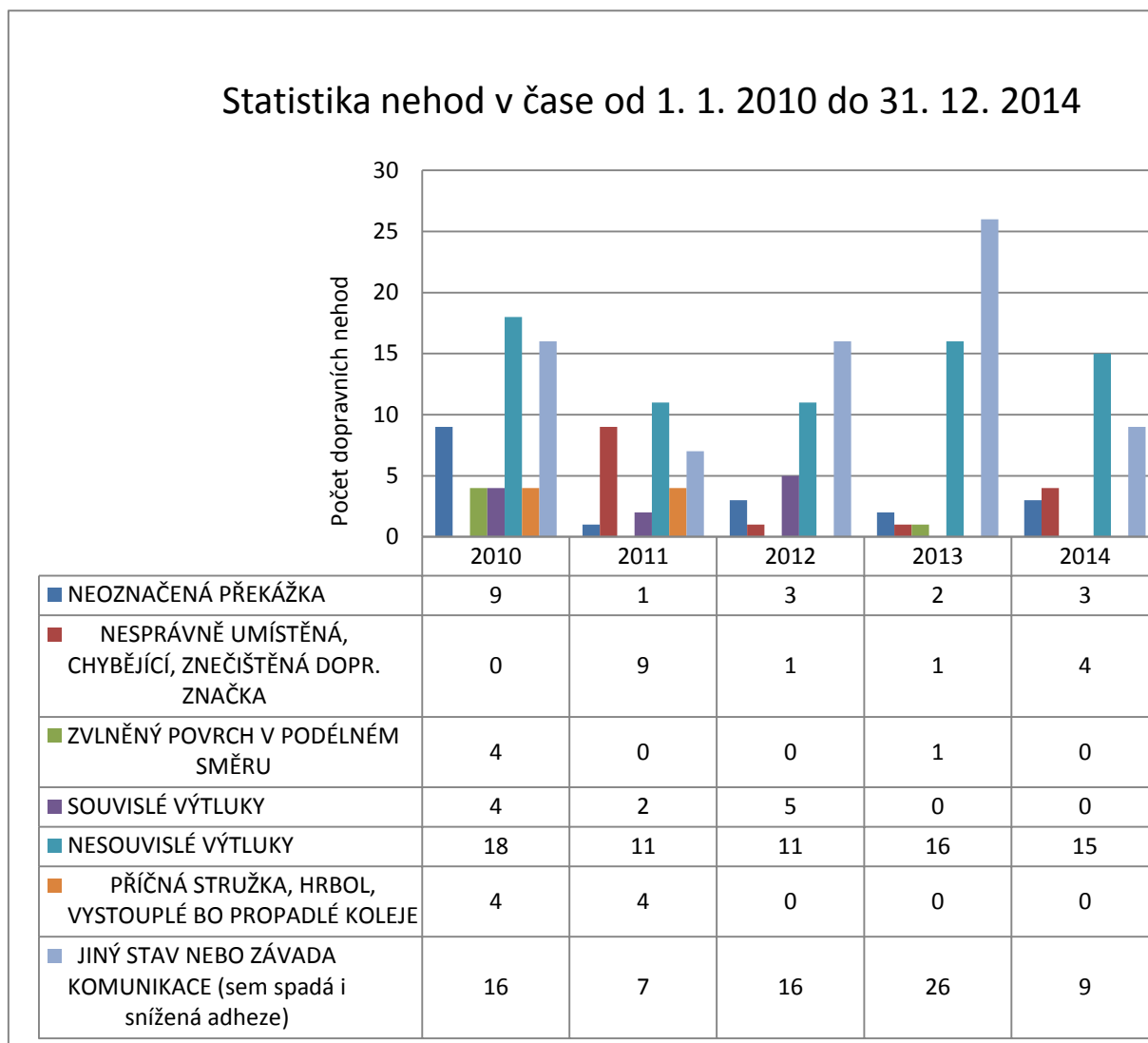
Dále mohou nastat dva případy. Při přehuštění se styková plocha pneumatiky a vozovky zmenší směrem k centru, při výrazném podhuštění se pak zmenšuje směrem od středu [17].



Obr. 21 Vliv huštění pneumatiky na velikost stykové plochy [20]

2.5 STATISTIKA NEHODOVOSTI

Význam kvalitního povrchu vozovky s dobrými adhezními vlastnostmi je patrný v následující statistice, která zobrazuje nehody ve městě Brně a jejich příčinu v letech 2010-2014.



Graf č. 1 Statistika příčiny dopravních nehod v Brně od 1. 1. 2010 do 31. 12. 2014 [8]

Jak je patrné ze statistik, mezi nejčastější příčiny dopravních nehod patří nesouvislé výtluky na vozovce a příčina nehody uváděná jako Jiný stav nebo závada komunikace, pod kterou spadá právě i snížená adheze komunikace.

Zejména každoroční počet dopravních nehod, způsobený výše zmíněnými příčinami má pak vypovídající hodnotu ať už o stavu pozemních komunikací ve městě Brně, nebo o nedodržení přiměřené rychlosti řidiči vozidel.

3 METODY MĚŘENÍ

3.1 BRZDNÁ ZKOUŠKA

Při provádění vyšetřovacích pokusů v analýze silničních nehod pro účely řešení znaleckých posudků, je někdy potřeba zjistit brzdné schopnosti předmětného vozidla v místě dopravní nehody, případně ověřit adhezni vlastnosti povrchu vozovky. Důležité je, aby stav a vlastnosti vozovky při provádění vyšetřovacího pokusu odpovídaly stavu v době dopravní nehody. Jedním z těchto pokusů je brzdná zkouška, která se provádí s využitím přístrojů, schopných zaznamenávat dosažené zpomalení vozidla (těmito přístroji jsou např. XL Meter a RaceLogic) [21].

3.1.1 XL Meter

XL Meter je bateriově napájený univerzální přístroj s alfanumerickým LCD displejem, měřící zrychlení a zpomalení v podélném a příčném směru. Obsahuje software pro vyhodnocení velikosti zpomalení, provozní brzdy nebo velikosti akcelerace a rozhraní, umožňující propojení s PC. Přístroj se skládá ze tří částí a to hlavní jednotky obsahující elektronickou část, vakuové přísavky a kloubového ramena, umožňujícího přizpůsobitelné upevnění na libovolném hladkém povrchu (nejčastěji na ploše předního skla automobilu) [11].

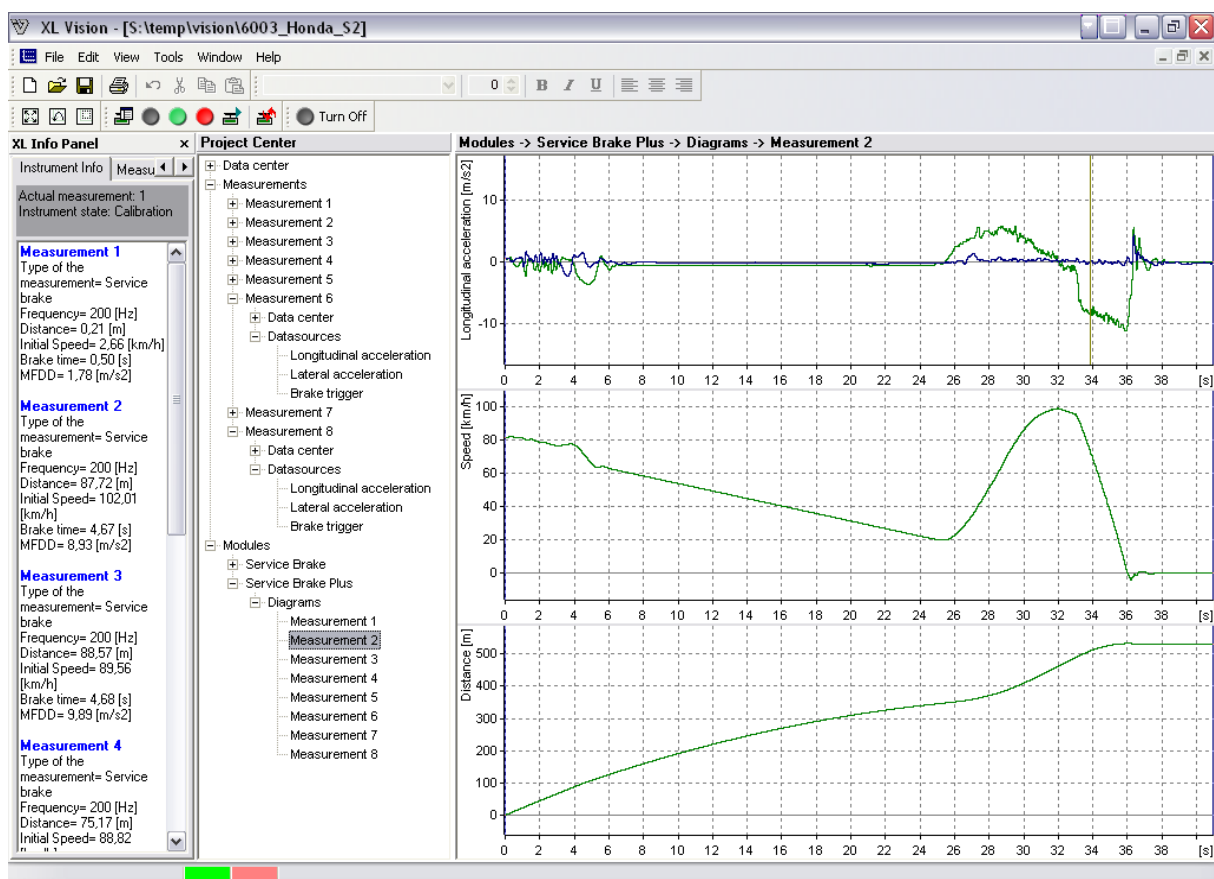


Obr. 22 Měřicí přístroj XL Meter [11]

Na přístroji je možné provést až 8 měření (3x80 s + 5x40 s) o rozsahu $\pm 12,7 \text{ m/s}^2$ a vzorkovací frekvenci až 200 Hz.

Vyhodnocení naměřených dat je pak provedeno pomocí softwaru XL Vision, jež je dodáván společně se samotným přístrojem. Tento software pak umožňuje analýzu a grafické vyhodnocení naměřených dat. Měření provádí přístroj automaticky, měřené veličiny jsou pak ukázány přímo na displeji.

Jak přístroj, tak software je vyvinut maďarskou společností Inventure Automotive Electronics Research & Development, Inc.



Obr. 23 Ukázka dat vyhodnocených softwarem XL Vision [11]

3.1.2 Racelogic performancebox

Zařízení PerformanceBox společnosti Racelogic měří rychlost, čas, brzdovou dráhu a další parametry, pomocí vysoce výkonného systému GPS, měřícího s frekvencí 10 Hz s připojenou anténou. Pro měření je možné upnout přístroj na čelní sklo vozidla pomocí přísavky.

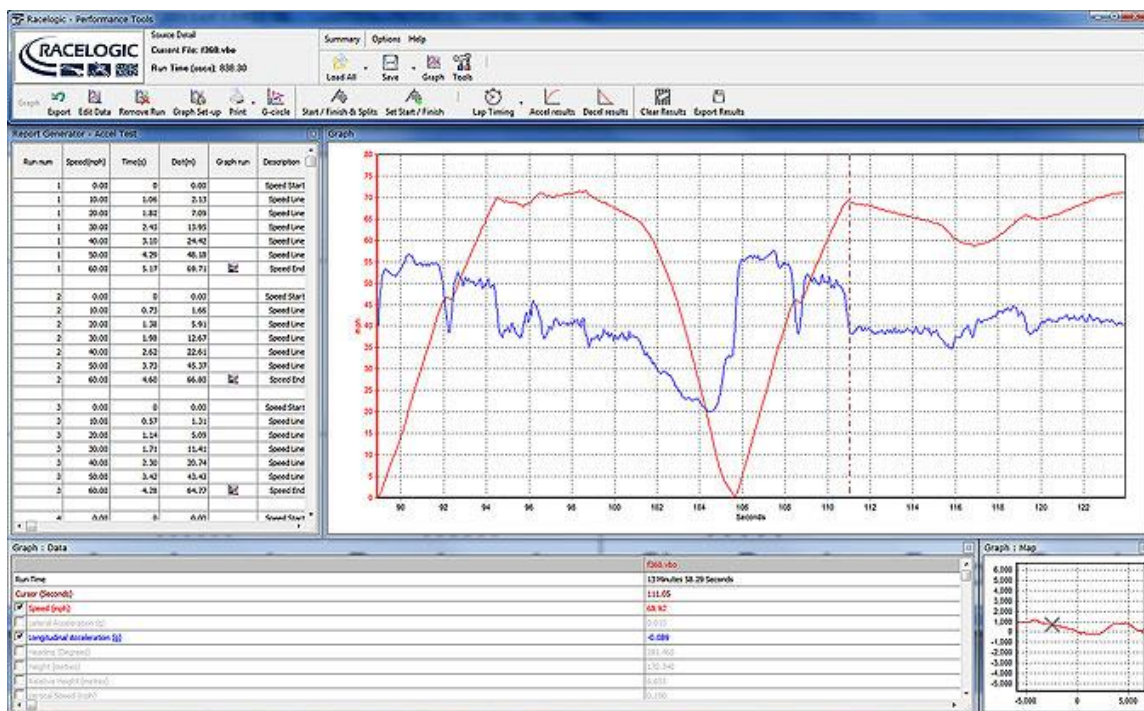
Přístroj měří rychlost s přesností na 0,2 km/h a to od rychlosti 0,1 km/h s rozlišením na 0,01 km/h. Vzdálenost je pak měřena s přesností 0,05% s rozlišením na centimetry. Velikost paměti přístroje je omezena použitou SD kartou.

Všechny měřené parametry jsou ukládány na SD paměťovou kartu desetkrát za vteřinu pro další zpracování [14].



Obr. 24 Zařízení PerformanceBox společnosti Racelogic [14]

Po dokončení jízdních zkoušek se všechna data, uložená na SD kartě přenesou do počítače a zpracují pomocí softwaru Performance Tools.



Obr. 25 Ukázka vyhodnocení naměřených dat pomocí softwaru Performance Tools [14]

3.2 MĚŘENÍ SOUČINITELE PODÉLNÉHO TŘENÍ

Součinitel podélného tření slouží jako hodnotící kritérium stavu pozemní komunikace ve stavebním průmyslu při převzetí povrchu vozovky pro uvedení úseku do provozu a posouzení povrchu vozovky na konci záruční doby. Požívá se pak jako podklad pro správce komunikace k přijetí náležitých opatření, vedoucích ke zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky v místech, která jsou měřením vyhodnocena jako nevyhovující. Tato místa jsou pak do doby provedení opatření osazena dopravní značkou A 8 „Nebezpečí smyku“ s dodatkovou tabulkou E 6a „Za mokra“ a dále je na tomto úseku snížena dovolená rychlost dopravní značkou B 20a „Nejvyšší dovolená rychlost“. Měření součinitele tření je prováděno např. pomocí multifunkčního zařízení TRT [3].

3.2.1 Multifunkční zařízení TRT (Tatra Runway Tester)

Jedná se o národní referenční zařízení, jež měří protismykové vlastnosti vozovek dle přílohy B ČSN 73 6177. Měřeny jsou dva parametry a to součinitel podélného tření a podélné nerovnosti v podobě mezinárodního indexu nerovnosti IRI (parametr podélné nerovnosti, stanovený simulací jízdy dvoumotového referenčního odezvového systému po podélných nerovnostech).

Vývoj měřicího zařízení TRT

Původně sloužilo toto zařízení pro testování protismykových vlastností povrchů letištních drah a pro měření sloužil upravený osobní automobil Tatra 613-3, do něž bylo nainstalováno samotný měřicí agregát. (odtud doposud používaný název).



Obr. 26 Původní měřicí zařízení TRT [15]

Měření bylo prováděno (stejně jako v současnosti) pomocí přídavného pátého kola, které bylo umístěno v prostoru zadních sedadel a doplněného o další, referenční kolo. To sloužilo pro záznam rychlosti a ujeté dráhy, sloužící pro výpočet definované hodnoty skluzu. V závěsu měřicího kola pak byly namontovány snímače horizontální a vertikální síly, z jejichž záznamů byl vypočítán součinitel podélného tření. Pro testování samotné bylo zařízení vybaveno samoskrápěcím systémem a nádržemi o celkové kapacitě 400 l [15].

V současné době slouží pro měření upravené vozidlo Ford Transit, vybavené hydraulickým zařízením, poháněným motorem Tatra 613.



Obr. 27 Multifunkční zařízení TRT [13]

Měření samotné je prováděno pomocí pátého kola, připevněného pod vozidlem. Měřicí kolo nemá žádný vzorek a navíc je celé měření prováděno na mokré vozovce pro simulaci co nejnepříznivějších jízdních podmínek. Měřicí kolo je pod vozidlem uloženo volně a pro potřeby měření je přitlačováno k vozovce pomocí hydraulického systému zvolenou přitlačnou silou (tu je možno zvolit v rozsahu 800 – 1200 N). Hodnota přitlačné síly je měřena čidlem tlaku v hydraulickém válci. Vodorovná síla, působící na měřicí kolo je zaznamenávána pomocí tenzometrického snímače, umístěného v paralelogramu [10].



Obr. 28 Detail pátého kola [4]

Měřicí kolo je pak dále pro potřeby měření hydraulicky přibrzdováno na hodnotu konstantního skluzu, což umožňuje provádění měření v několika režimech jízdy (při různých rychlostech a obvykle skluzu 25%, při speciálním měření protismykových vlastností povrchu vozovky je skluz 15% [13].



Obr. 29 Hydraulické zařízení a jeho pohonná jednotka - motor Tatra 613 [4]

V současné době se připravuje nástup nové generace multifunkčního zařízení TRT, ve které budou podchyceny některé z nedostatků současného zařízení. Jako základ bude sloužit vozidlo Mercedes-Benz Sprinter 319 CDI, FG, 4X2, 3250 s uživatelskou nástavbou [16].



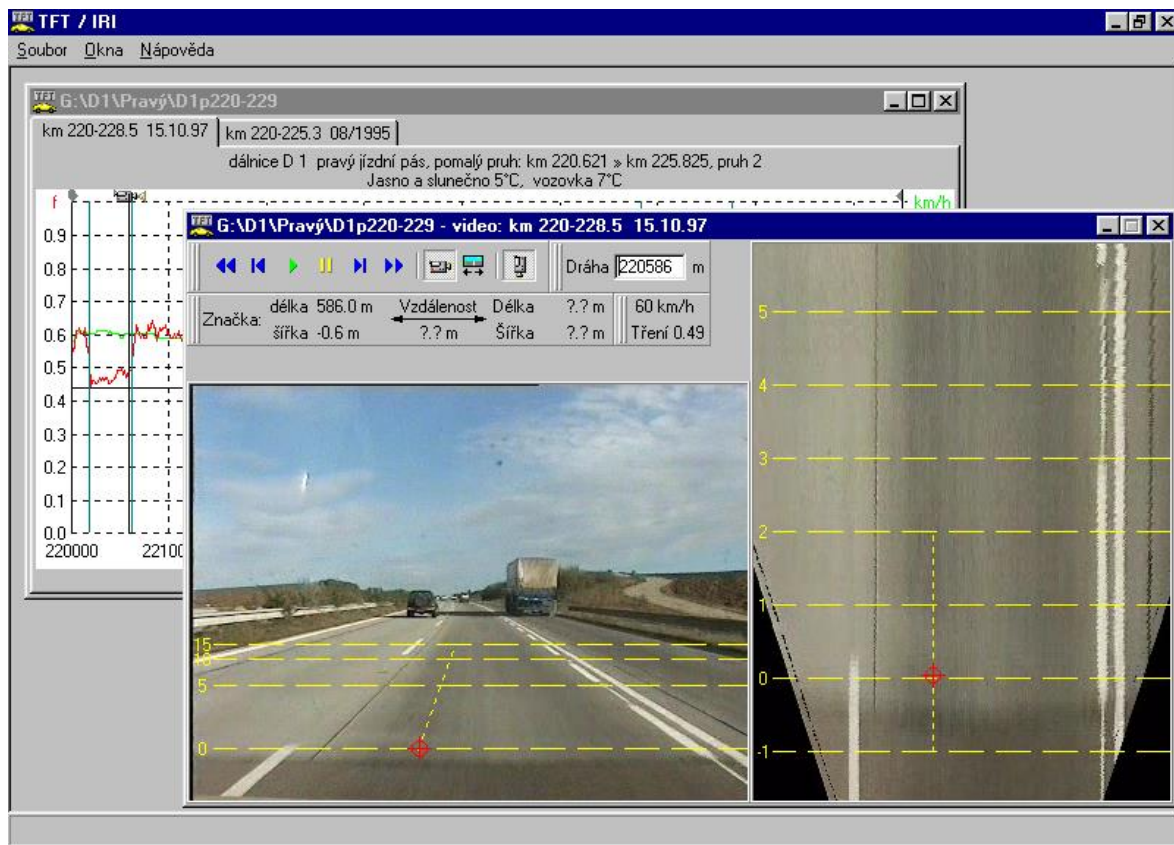
Obr. 30 Nová koncepce multifunkčního zařízení TRT [16]

Tato verze multifunkčního zařízení TRT bude pro brzdění měřicího kola (v rozsahu prokluzu 0 – 100%) využívat elektromagnetického retardéru TELMA AF50-90 24 V, který umožňuje zejména přesnější měření v režimu proměnného prokluzu s cílem najít optimální procento prokluzu, při kterém je dosaženo nejvyššího brzdného účinku. Pro přítlak měřicího kola byl pak zvolen vzduchový měch Mercedes-Benz, který (oproti hydraulickému systému) zajišťuje přesnější a stabilnější přítlak. Dále byla zvýšena i kapacita nádrže na vodu a to na 700 l, což umožní provádění delšího souvislého měření [16].

Popis měření multifunkčního zařízení TRT

Minimální vzdálenost měřeného úseku vozovky musí být minimálně 20 m, bez nečistot na povrchu vozovky. Nedoporučuje se měřit při teplotách nižších než +5°C nebo za hustého deště.

Výsledky měření jsou zaznamenávány v reálném čase jak graficky, tak numericky a je možné je vidět na obrazovce počítače, kde jsou zobrazovány součinitel podélného tření, velikost skluzu měřicího kola a aktuální rychlost vozidla. Všechny výsledky měření jsou zaznamenávány v paměti počítače pro účely dalšího zpracování naměřených veličin [13].



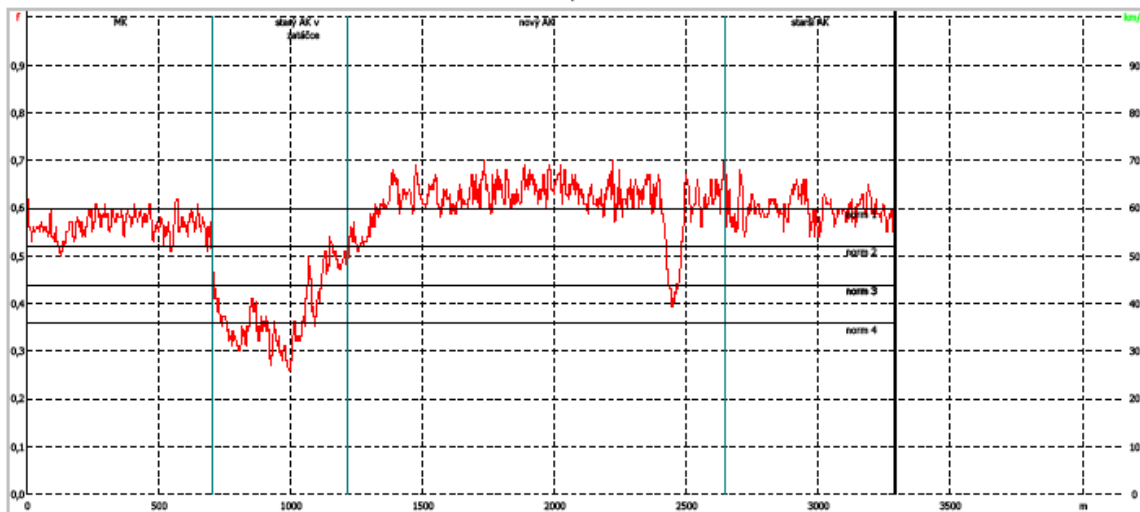
Obr. 31 Ukázka záznamu měření přístrojem TRT [13]

Měření PVV
 Zkušební laboratoř č.193
 L. Nekulová, J. Písař
 Hýbešova 36
 682 01 Vyškov

Diagram závislosti f_p na ujeté dráze

Měřeno zařízením TRT dne 8.5.2010
 Oprava na teplotu -0,02

Sil.č. I/43: Závist » Černá Hora
 Oblačno 13°C, vozovka 17°C



Dráha 0=3292m Průměr: součinitel tření 0,56±0,10 rychlost 60km/h

Obr. 32 Ukázka grafického výstupu měření PVV [13]

Vyhodnocení výsledků naměřeného součinitele podélného tření jsou vyrovnány na zvolenou měřicí rychlost podle čl. 9.6.1 ČSN 73 6177:2009 a jsou přepočteny na nejnižší roční teplotu povrchu mokré vozovky v rozmezí 0°C – 30 °C dle čl. 9.6.2 ČSN 73 6177:2009. V případě, že je teplota povrchu vozovky vyšší než 30°C, ponechá se průměrná hodnota součinitele podélného tření bez korekce.

Při hodnocení kontinuálního měření, se hodnoty součinitele podélného tření, upravené dle měřicí rychlosti a přepočtené na nejnižší roční hodnotu zprůměrují po 20 m. Nejnižší zprůměrované hodnoty součinitele podélného tření v těchto úsecích se porovnávají dle hodnotícího kritéria, uvedeného v tabulce A. 4 přílohy A ČSN 73 6177 pro příslušnou měřicí rychlost a jsou jim přiřazeny odpovídající klasifikační stupně (1 – 5) [3].

Tabulka 5 Požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [3]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
Požadavek na zvýšené protismykové vlastnosti					
D, R, RMK, Silnice, MK					
	Přejímka povrchu po uvedení vozovky do provozu				
	Posouzení povrchu na konci záruční doby				
	Plán souboru opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky				
	Provedení souboru opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky				

Kde:

D – dálnice

R – rychlostní silnice

RMK – rychlostní místní komunikace

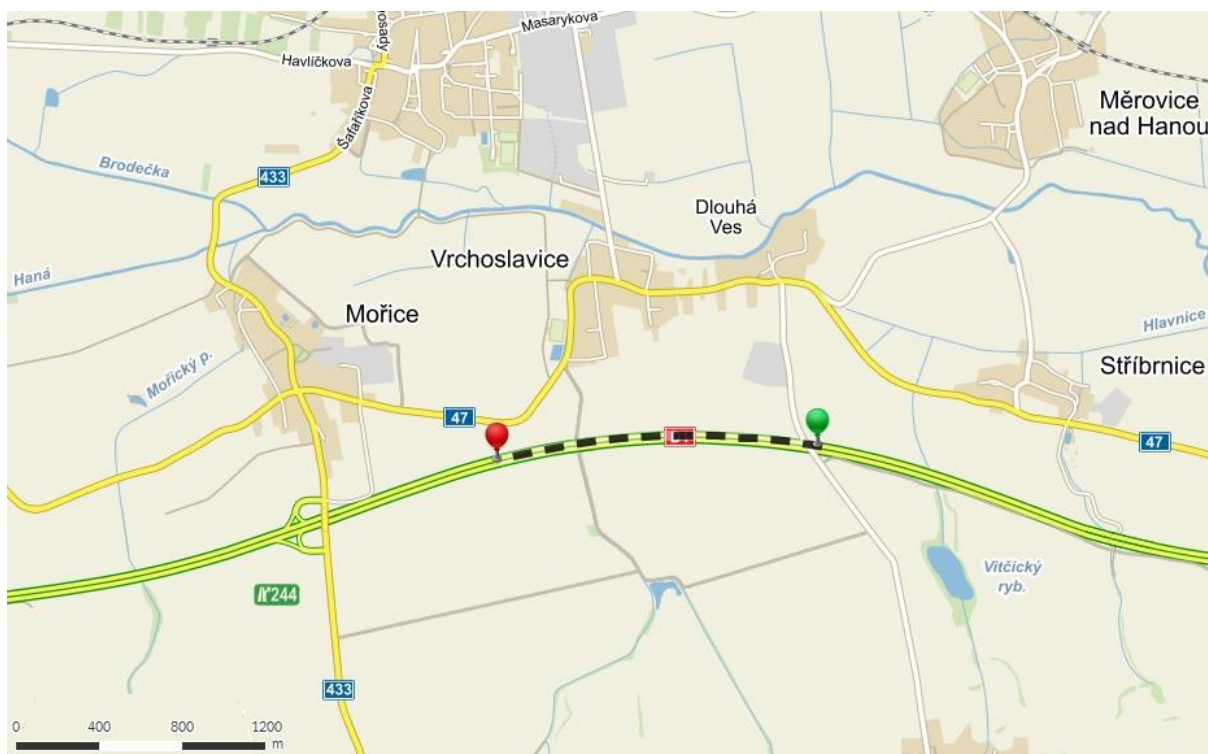
MK – místní komunikace

4 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno dne 4. 5. 2015 dvěma různými metodami - brzdou zkouškou, provedenou za použití vozidla Škoda Octavia II Combi, vybaveného měřicími přístroji XL Meter a RaceLogic a měřením protismykových vlastností vozovky za pomoci multifunkčního zařízení TRT.

4.1.1 Úsek č. 1

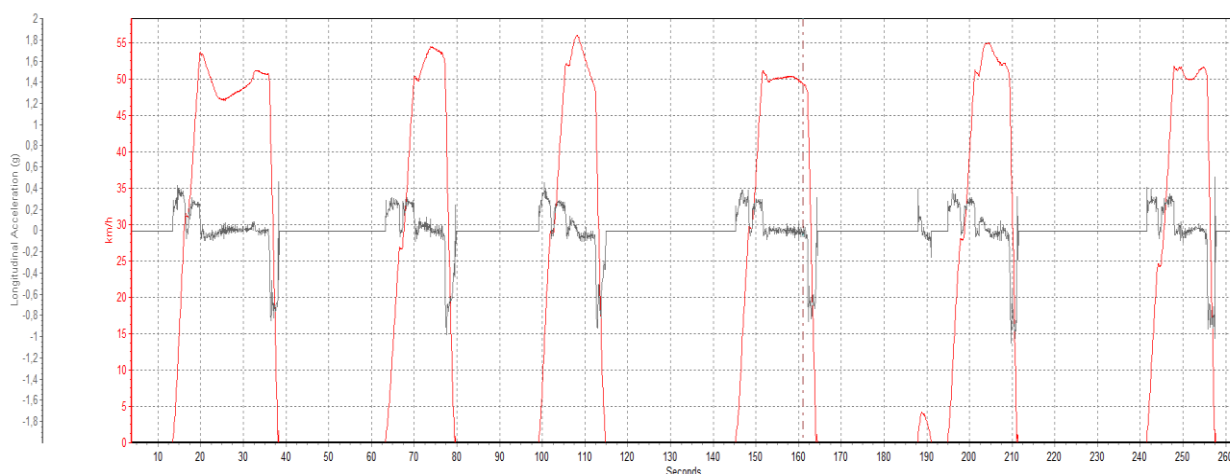
První série měření byla provedena na dálnici D1 v úseku Mořice - Vyškov (konkrétně km 247-245), pomalý jízdní pruh. Tento úsek poskytoval jak betonový, tak asfaltový povrch, navíc se zde nacházelo několik pokusných úseků s obnovou protismykových vlastností cementobetonového krytu vozovky (dále jen CBK).



Obr. 33 Měřený úsek dálnice D1 [22]



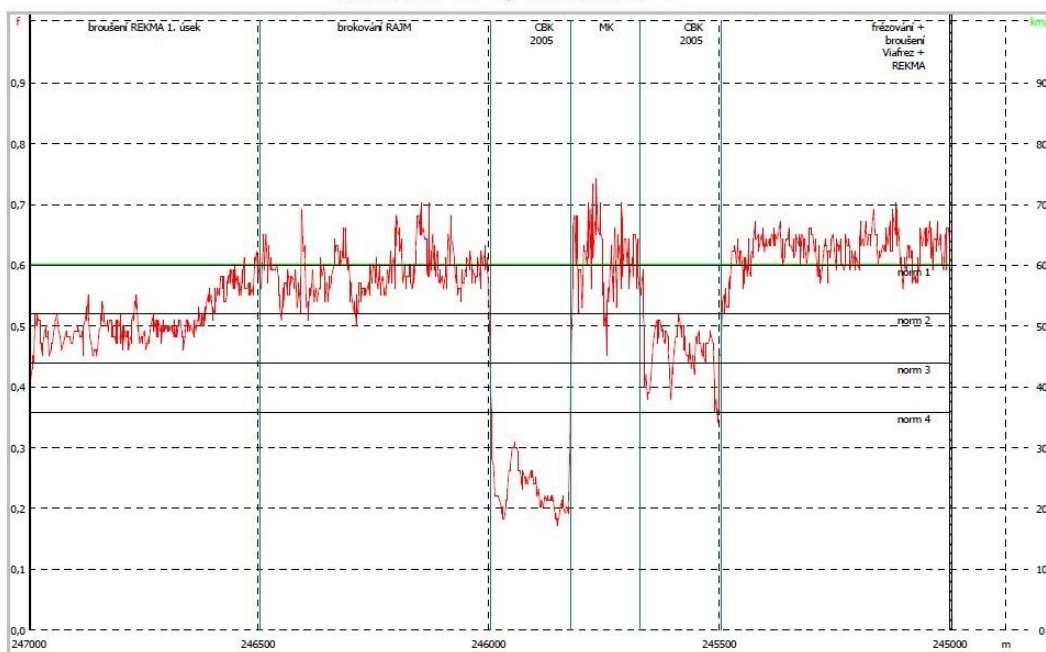
Obr. 34 Pohled na první měřený úsek [4]



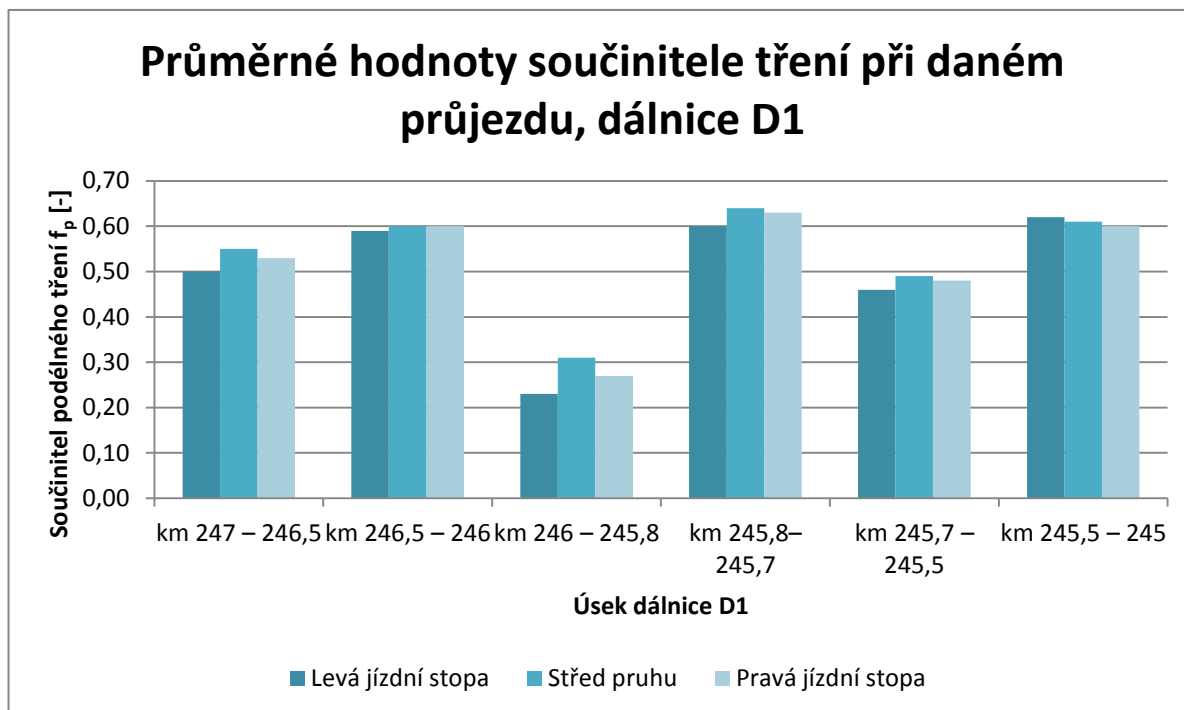
Obr. 35 Záznam výchozích rychlostí a zpomalení ze zařízení RaceLogic na prvním měřeném úseku [4]

Na prvním měřeném úseku byla brzdňá zkouška provedena z rychlosti pohybující se kolem 50 km/h , měření pomocí multifunkčního zařízení TRT bylo na tomto úseku provedeno za konstantní rychlosti 60 km/h .

Dálnice D 1, levý jízdní pás, pomalý pruh, levá jízdní stopa: km 247,0 » 245,0
 povrch CBK MK, položen 2005
 Zataženo 18 °C, vozovka 21 °C



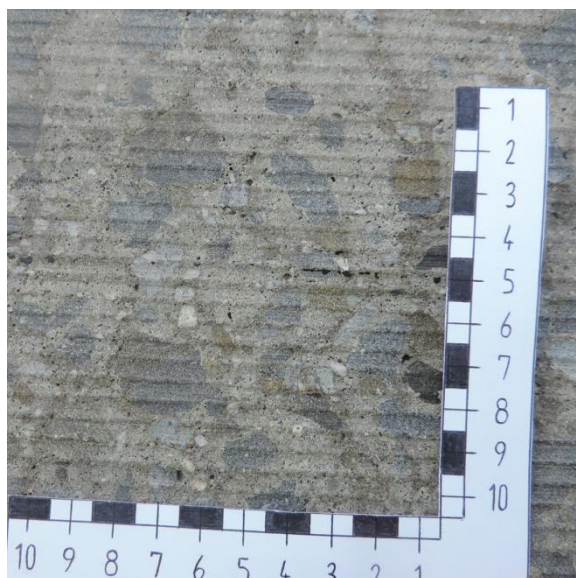
Obr. 36 Diagram závislosti součinitele tření na ujeté dráze na prvním měřeném úseku [9]



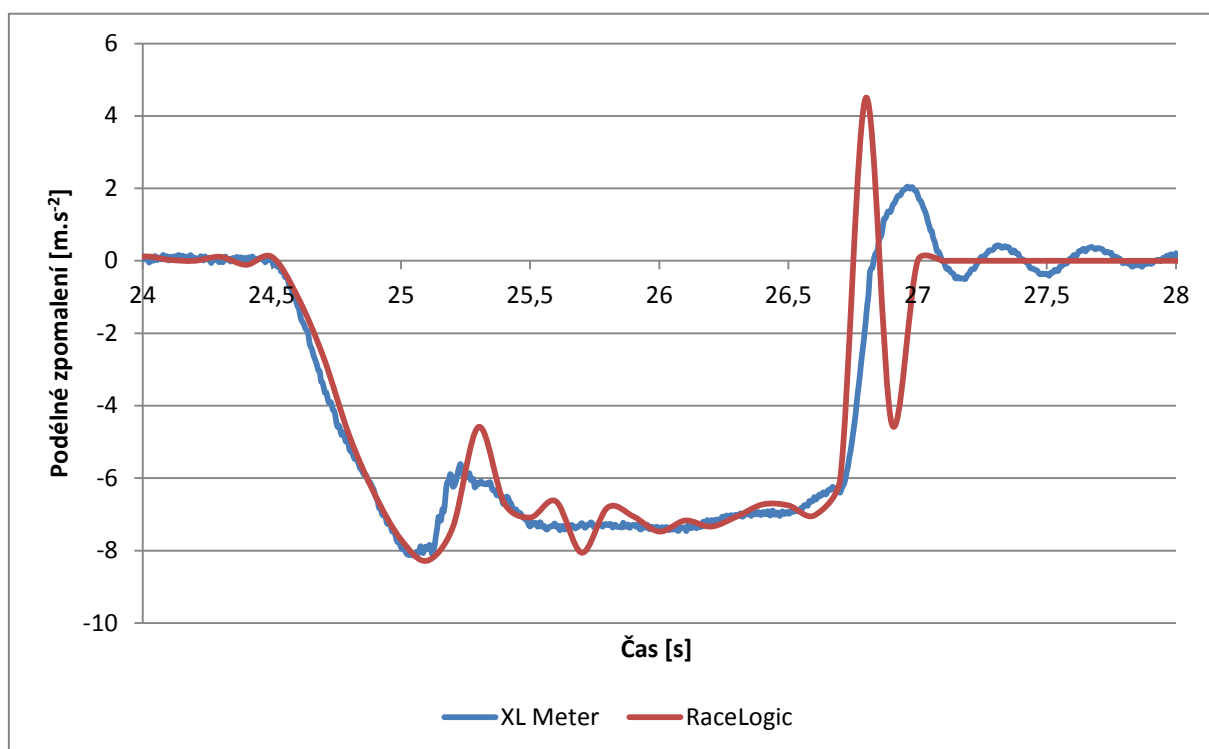
Graf č. 2 Průměrné tření naměřené multifunkčním zařízením TRT v jednotlivých úsecích dálnice D1 v různých polohách jízdního pruhu [9]

Km 247 – 246,5

Na tomto úseku byla provedena obnova protismykových vlastností povrchu vozovky za použití broušení diamantovými kotouči.



Obr. 37 Detail povrchu CBK vozovky na dálnici D1
(km 247 – 246,5) [4]



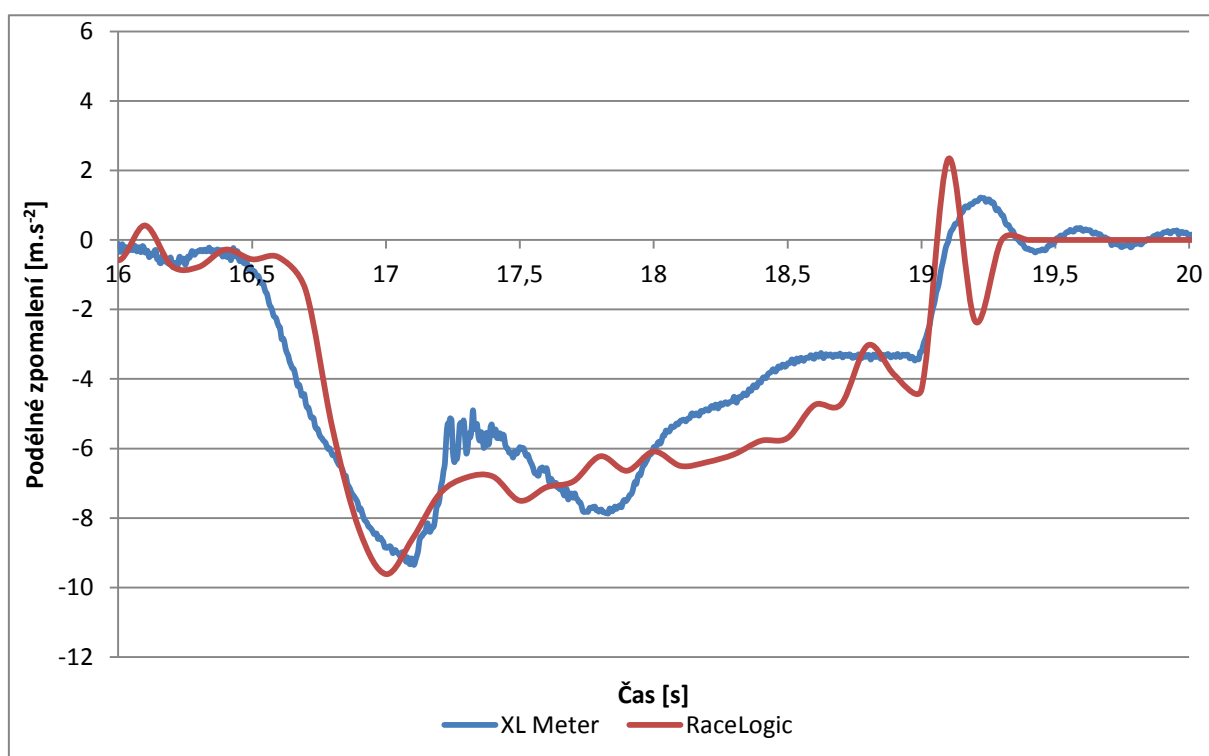
Graf č. 3 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (km 247 – 246,5) [4]

Km 246,5 – 246

Na tomto úseku byla provedena obnova protismykových vlastností povrchu vozovky brokováním ocelovými broky.



Obr. 38 Detail povrchu CBK vozovky na dálnici D1
(km 246,5 - 246) [4]



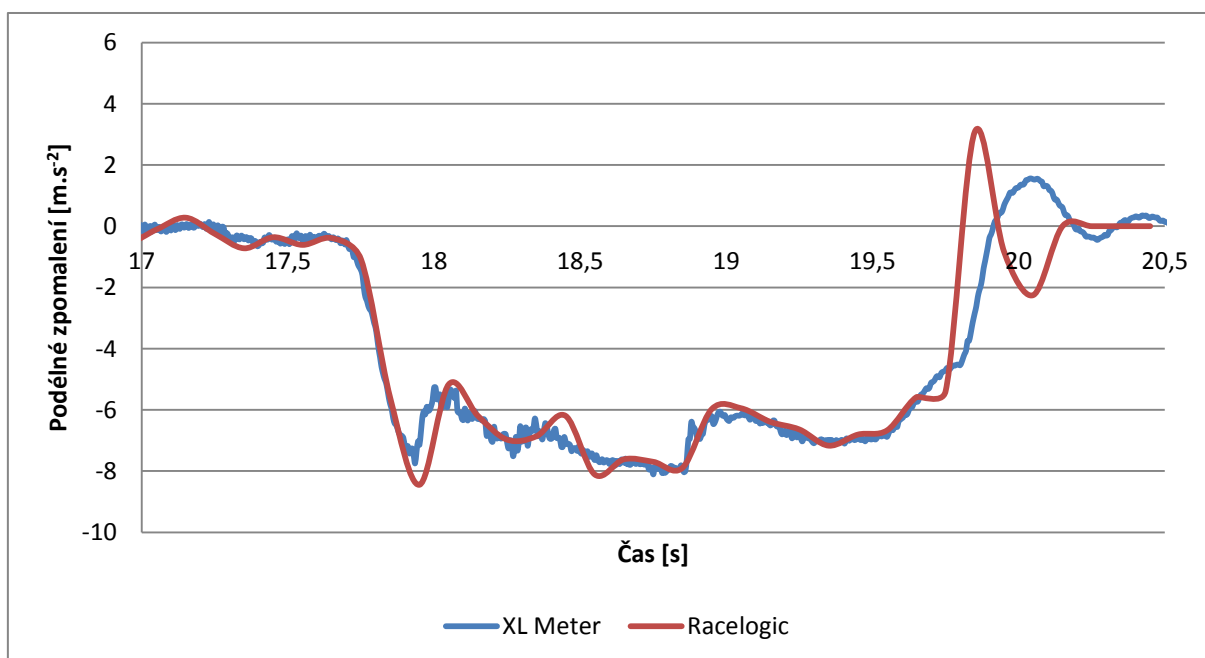
Graf č. 4 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (km 246,5 - 246) [4]

Km 246 – 245,8

Tento úsek tvořil původní CBK dálnice z roku 2005, bez provedení obnovy protismykových vlastností povrchu vozovky.



Obr. 39 Detail povrchu CBK vozovky na dálnici D1
(*km 246 – 245,8*) [4]



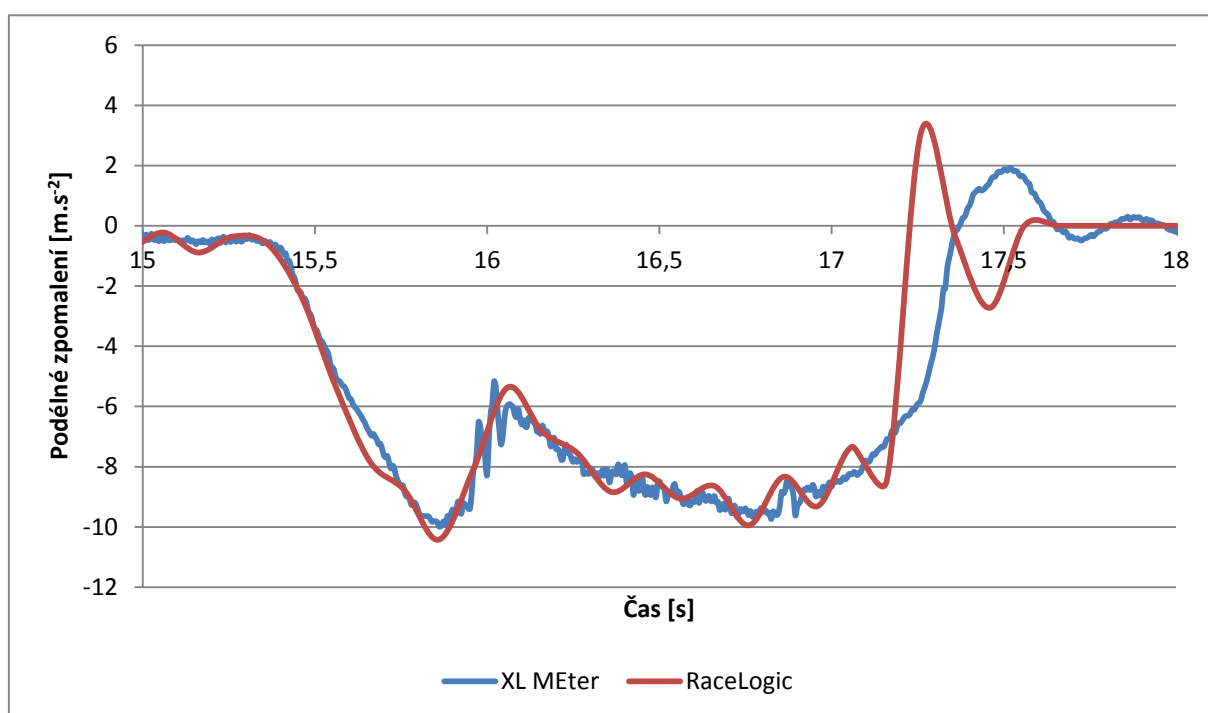
Graf č. 5 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (*km 246 – 245,8*) [4]

Km 245,8– 245,7

Tento úsek tvořil krátký most, jehož povrch tvořil asfaltový kryt s mikrokobercem.



Obr. 40 Detail povrchu asfaltového krytu vozovky na dálnici D1
(*km 245,8 – 245,7*) [4]



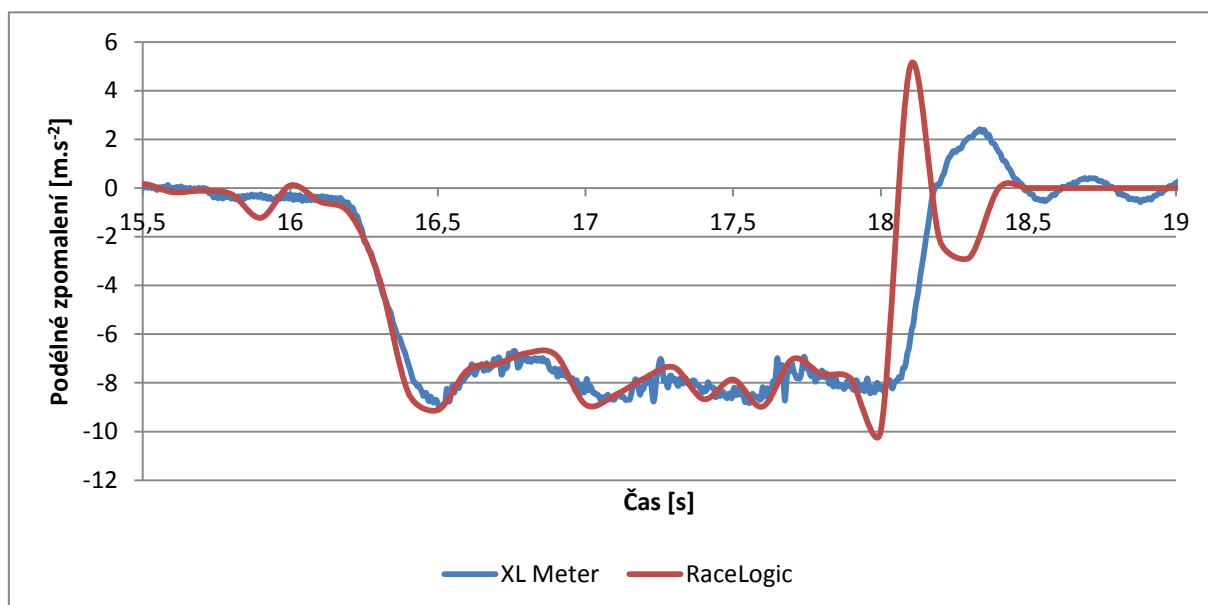
Graf č. 6 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (*km 245,8 – 245,7*) [4]

Km 245,7 – 245,5

Tento úsek tvořil opět původní CBK dálnice z roku 2005, bez obnovy protismykových vlastností povrchu vozovky.



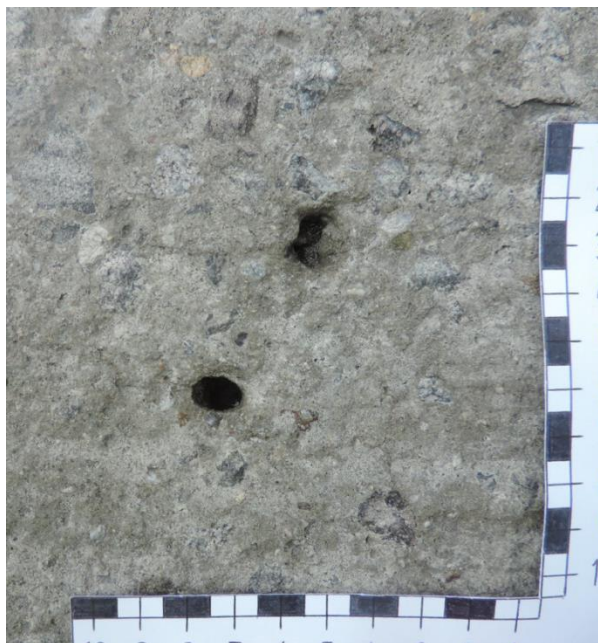
Obr. 41 Detail povrchu CBK vozovky na dálnici D1
(*km 245,7 – 245,5*) [4]



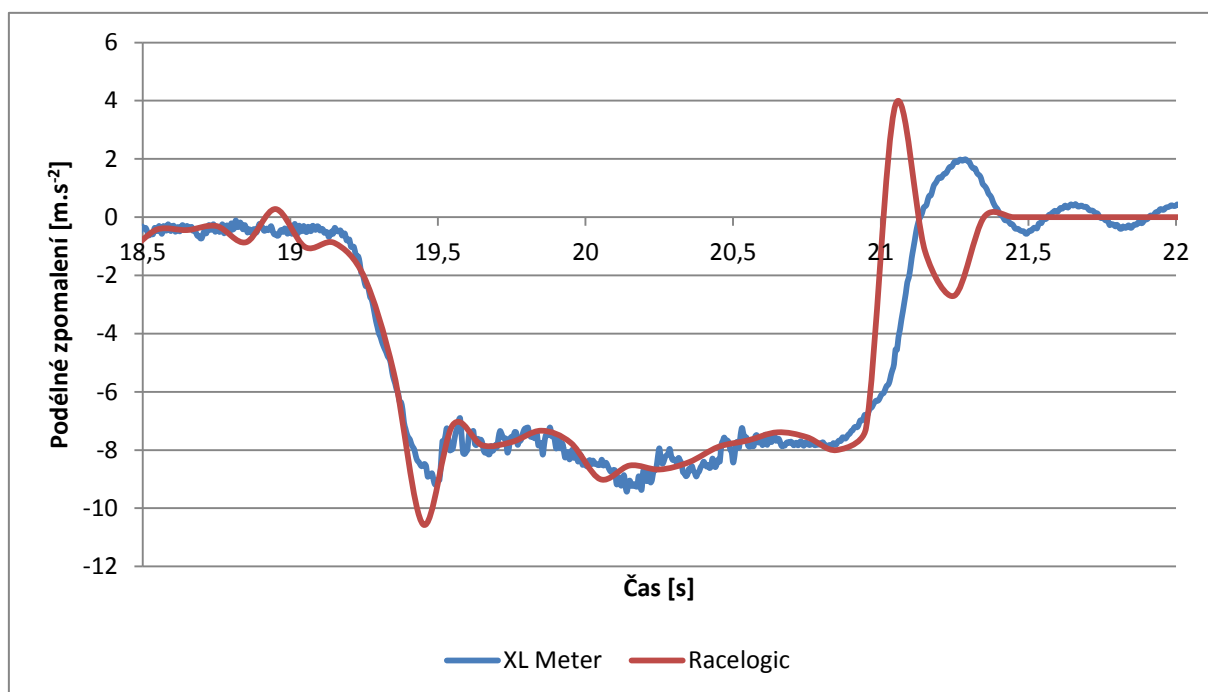
Graf č. 7 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (*km 245,7 – 245,5*) [4]

Km 245,5 – 245

Na tomto úseku byla provedena obnova protismykových vlastností povrchu vozovky jemným frézováním a broušením.



Obr. 42 Detail povrchu CBK vozovky na dálnici D1
(*km 245,5 - 245*) [4]



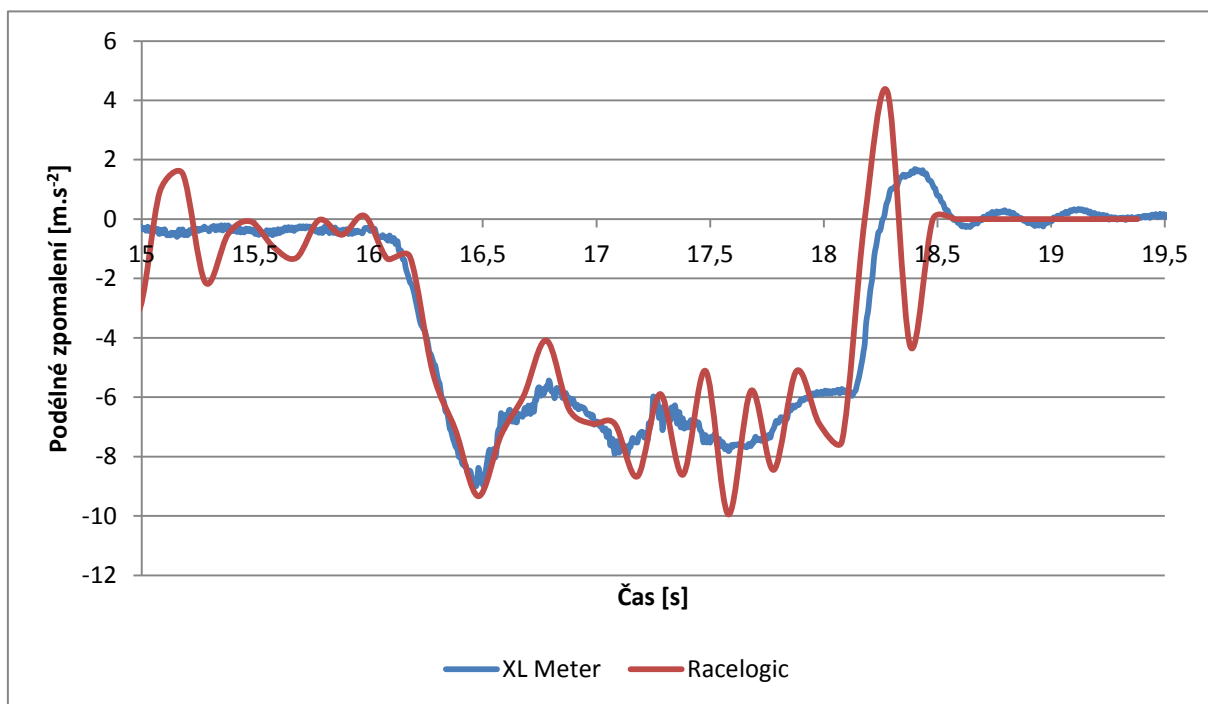
Graf č. 8 Průběh zpomalení při prvním měření na dálnici D1 (*km 245,5 - 245*) [4]

4.1.2 Úsek č. 2

Jako další měřený úsek byla zvolena ulice Kníničská v Brně, jejíž povrch je tvořen asfaltovou pokrývkou, tento úsek byl zvolen pro častý výskyt dopravních nehod s chodci.



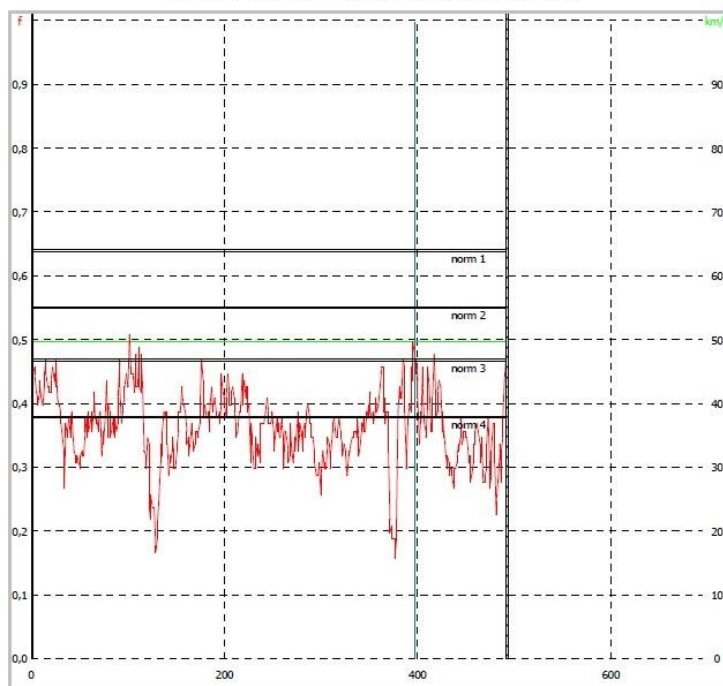
Obr. 43 Pohled na místo měření na druhém měřeném úseku a detail měřeného povrchu [4]



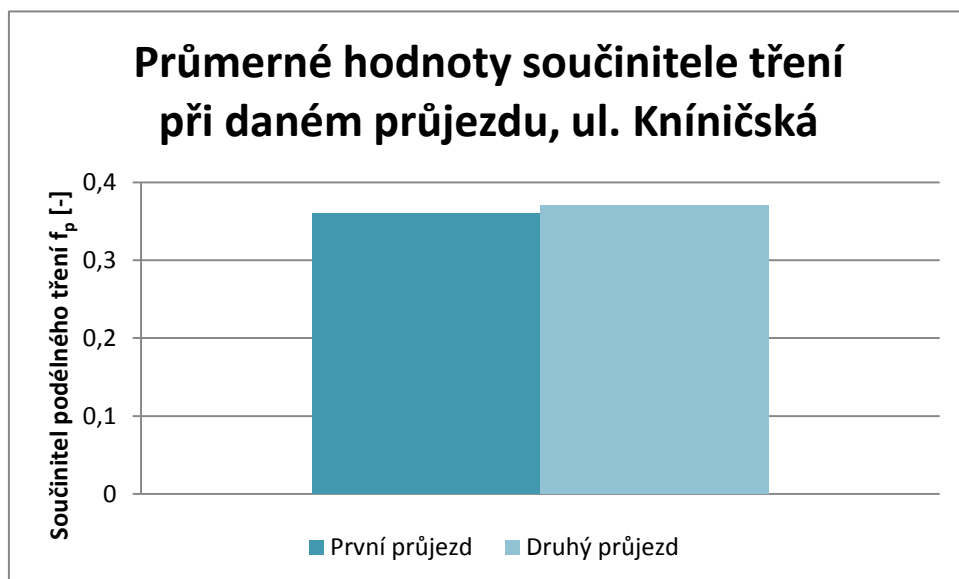
Graf č. 9 Průběh zpomalení při prvním měření na úseku č. 2 [4]

U měření, provedeném na druhém měřeném úseku se výchozí rychlost brzdě zkoušky pohybovala kolem 50 km/h, měření provedené multifunkčním zařízením TRT bylo provedeno při konstantní rychlosti 50 km/h (rychlost byla omezena maximální povolenou rychlostí v obci).

Brno, ulice Kníničská, pomalý pruh, levá jízdní stopa: směr Bystrc » Komín
 povrch AB
 Zataženo 15°C, vozovka 20°C
 modrý kurzor - přechod pro chodce



Obr. 44 Diagram závislosti součinitele tření na ujeté dráze na druhém měřeném úseku [9]



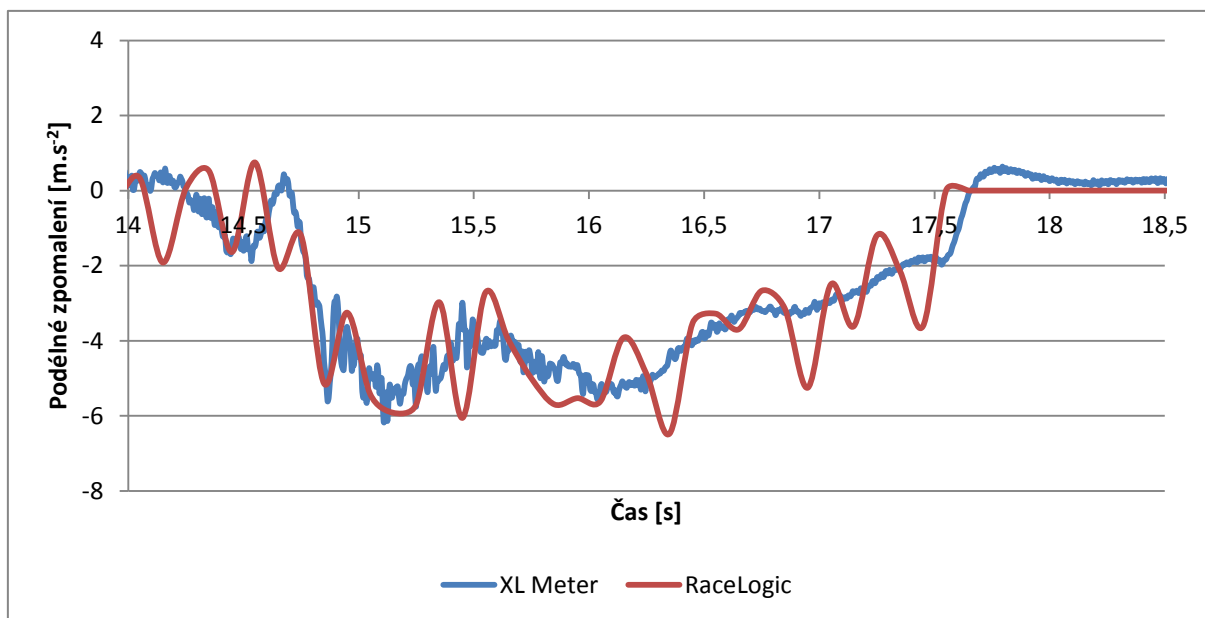
Graf č. 10 Průměrné hodnoty součinitele tření na druhém měřeném úseku [9]

Úsek č. 3

Jako poslední měřený úsek byl zvolen most na ulici Fryčajova v Brně, jehož povrch je tvořen žulovými dlažebními kostkami. Tento úsek byl zvolen pro zajištění dostatečné rozmanitosti měřených povrchů.



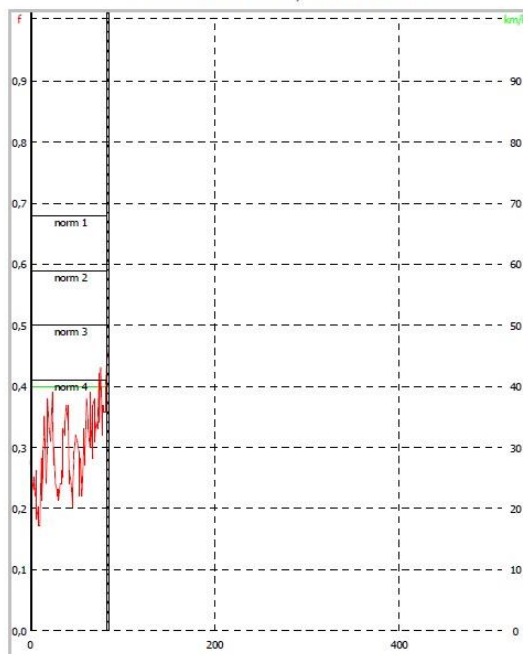
Obr. 45 Pohled na místo měření na třetím měřeném úseku a detail měřeného povrchu [4]



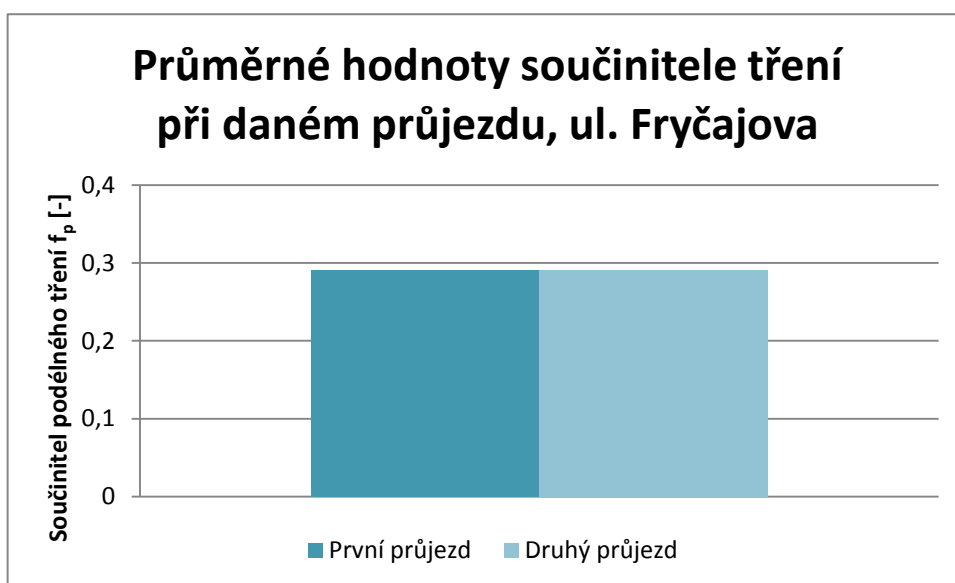
Graf č. 11 Průběh zpomalení při prvním měření na úseku č. 3 [4]

U měření třetího úseku se výchozí rychlost brzděné zkoušky pohybovala opět kolem 50 km/h, měření provedené multifunkčním zařízením TRT bylo provedeno při konstantní rychlosti 40 km/h (rychlost byla omezena délkou mostu a tím dráhou potřebnou pro bezpečné zpomalení měřicího zařízení TRT před křižovatkou, nacházející se za mostem).

Brno, ulice Fryčajova, sil. II/374, levá jízdní stopa: směr Bílovice n.Sv. » Obřany
 povrch drobná dlažba
 Zataženo 18°C, vozovka 24°C



Obr. 46 Diagram závislosti součinitele tření na ujeté dráze na třetím měřeném úseku [9]



Graf č. 12 Průměrné hodnoty součinitele tření na třetím měřeném úseku [9]

5 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Výsledná hodnota adheze byla vyhodnocena s využitím průměrného zpomalení, dosaženého před zásahem systému ABS zaznamenaného jak přístrojem XL Meter, tak RaceLogic na každém z měřených úseků. Hodnoty součinitele podélného tření jsou pak udány jako průměrné hodnoty, naměřené při jednotlivých průjezdech multifunkčního měřicího zařízení TRT příslušnými úseky.

5.1 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

V následujících tabulkách jsou zaznamenány hodnoty zpomalení zaznamenané jednotlivými přístroji, pokles zpomalení, který nastal po zásahu systému ABS a výsledné průměrné hodnoty adheze a součinitele podélného tření, příslušné jednotlivým měřeným úsekům.

Tabulka č. 6 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici D1
(km 247 – 246,5) [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,20	6,05	6,69	0,84
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,49	5,44	6,13	0,87
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,53

Tabulka č. 7 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici D1 (km 246,5 – 246) [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
9,10	7,10	7,33	0,93
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
9,81	7,50	6,87	1,00
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,60

Tabulka č. 8 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici D1 (km 246 – 245,8) [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
7,35	6,05	7,45	0,75
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,19	5,79	6,97	0,84
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,27

Tabulka č. 9 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici D1 (km 245,8– 245,7) [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,75	6,65	8,31	0,89
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
9,47	5,89	8,58	0,97
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,62

**Tabulka č. 10 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici
D1 (km 245,7 – 245,5) [4, 9]**

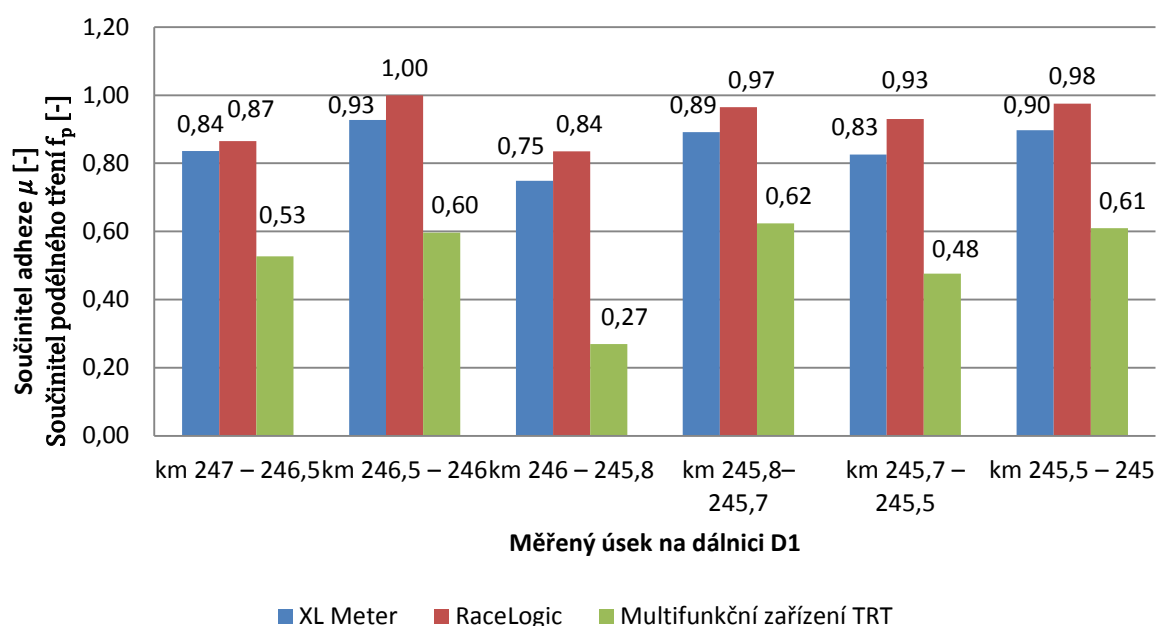
Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,85	7,55	7,85	0,83
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
9,12	6,87	7,85	0,93
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,48

**Tabulka č. 11 Hodnoty, naměřené jednotlivými metodami na dálnici
D1 (km 245,5 – 245) [4, 9]**

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,80	7,65	8,04	0,90
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
9,56	7,26	7,90	0,98
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,61

Při přenesení naměřených hodnot do společného grafu, je zde patrná podobnost vývoje hodnot, naměřených pomocí brzdné zkoušky a hodnot, naměřených multifunkčním zařízením TRT, až na výraznější rozdíl na úseku původního CBK dálnice (km 246 – 245,8), který je vyšší oproti ostatním.

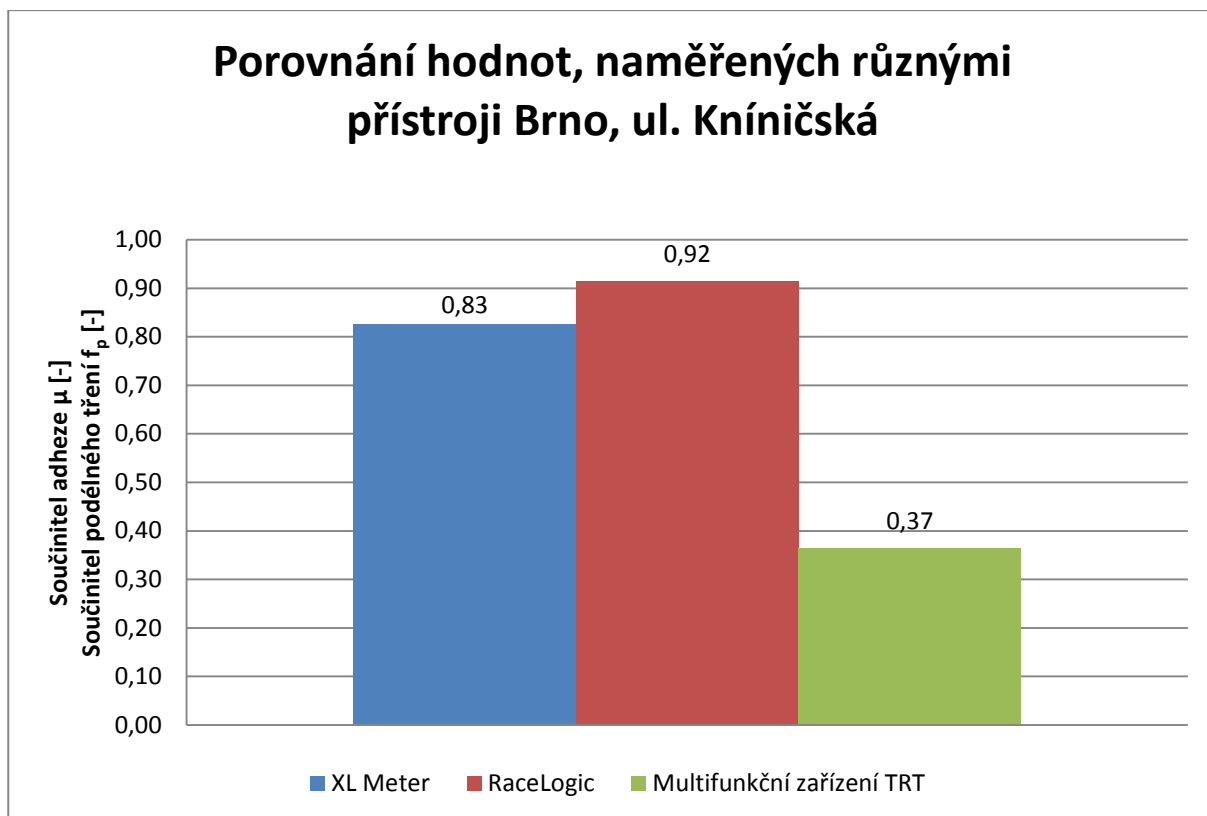
Porovnání hodnot, naměřených různými přístroji na jednotlivých úsecích dálnice D1



Graf č. 13 Porovnání jednotlivých naměřených hodnot na měřených úsecích dálnice D1 [4, 9]

Tabulka č. 12 Hodnoty naměřené jednotlivými metodami Brno, ulice Kníničská [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,10	5,55	7,03	0,83
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
8,98	4,56	6,92	0,92
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,37

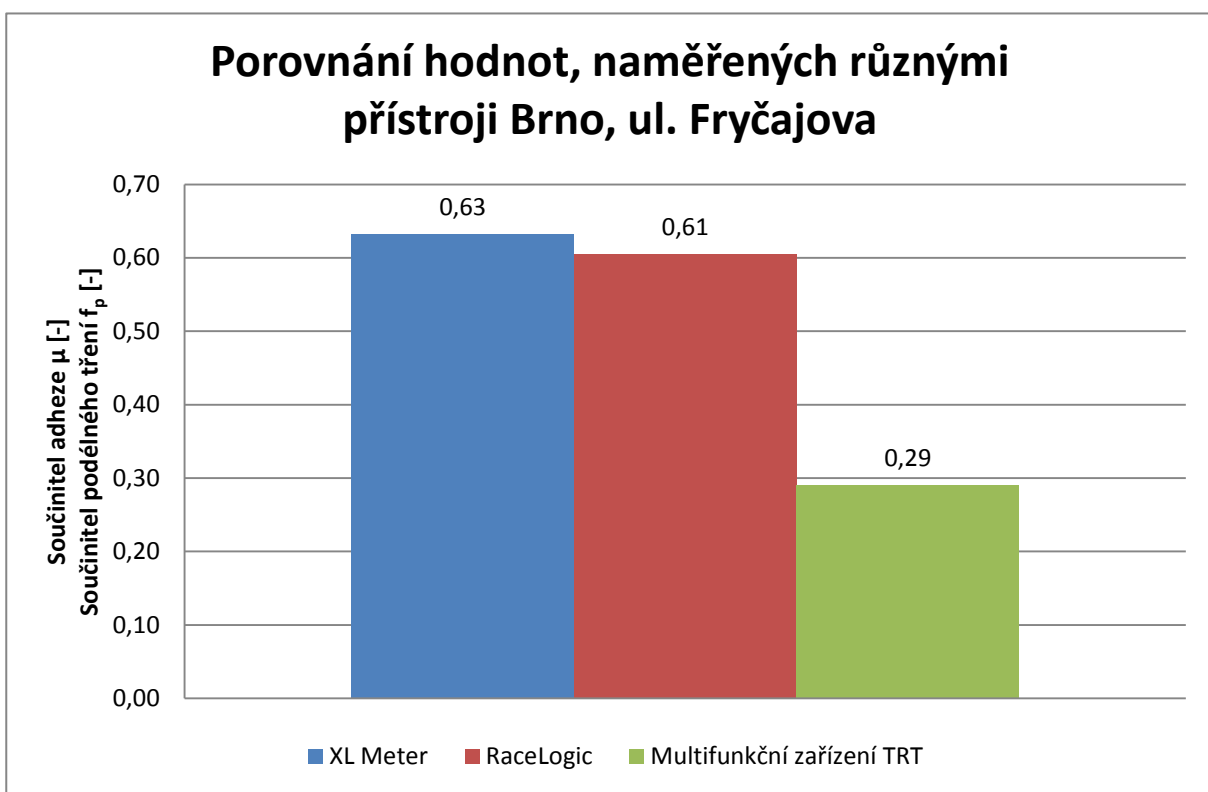


Graf č. 14 Porovnání jednotlivých naměřených hodnot Brno, ulice Kníničská [4, 9]

Při porovnání hodnot na tomto úseku je zajímavý vyšší rozdíl hodnot naměřených jednotlivými metodami. Jednalo se o asfaltový povrch vozovky, podobně jako byl měřený úsek dálnice D1 (km 245,8 – 245,7), nicméně oproti měřenému úseku dálnice byl rozdíl naměřených hodnot poměrně vyšší.

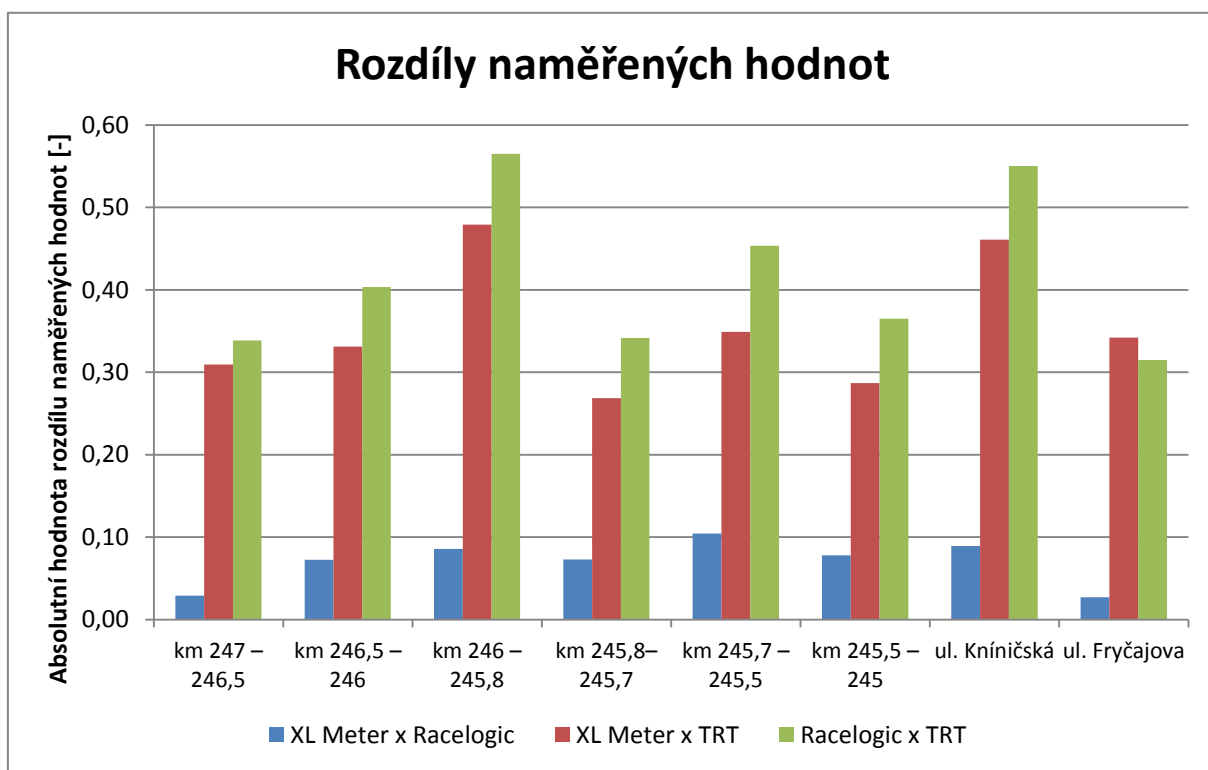
Tabulka č. 13 Hodnoty naměřené jednotlivými metodami Brno, ulice Fryčajova [4, 9]

Hodnoty naměřené přístrojem XL Meter			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
6,20	4,15	5,19	0,63
Hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic			
Zpomalení před zásahem ABS [m.s ⁻²]	Pokles zpomalení na [m.s ⁻²]	Průměrné zpomalení [m.s ⁻²]	Adheze [-]
5,94	3,29	4,61	0,61
Hodnoty naměřené multifunkčním zařízením TRT			
Součinitel tření [-]			0,29



Graf č. 15 Porovnání jednotlivých naměřených hodnot Brno, ulice Fryčajova [4, 9]

V následujícím grafu je zobrazen rozdíl hodnoty naměřených přístroji XL Meter a RaceLogic a dále rozdíly hodnot, naměřených těmito přístroji a hodnot, naměřených multifunkčním zařízením TRT.



Graf č. 16 Rozdíly hodnot, naměřených jednotlivými přístroji [4, 9]

Z uvedeného grafu je vidět, že hodnoty naměřené přístrojem RaceLogic jsou jen málo odlišné od hodnot, získaných přístrojem XL Meter. Tento rozdíl je z největší pravděpodobností dán nižší vzorkovací frekvencí záznamu přístroje RaceLogic.

Dále je vidět, že až na dvě odchylky, jsou hodnoty získané měřením pomocí multifunkčního zařízení TRT rozdílné podobně od hodnot, naměřených přístrojem XL Meter.

Přesnou příčinu zmíněných odchylek (konkrétně se jedná o úsek dálnice D1 km 246 – 245,8 a ulici Kníničskou v Brně) se nepodařilo objasnit, s největší pravděpodobností je způsobena rozdílným vyhodnocováním výsledků jednotlivých metod měření.

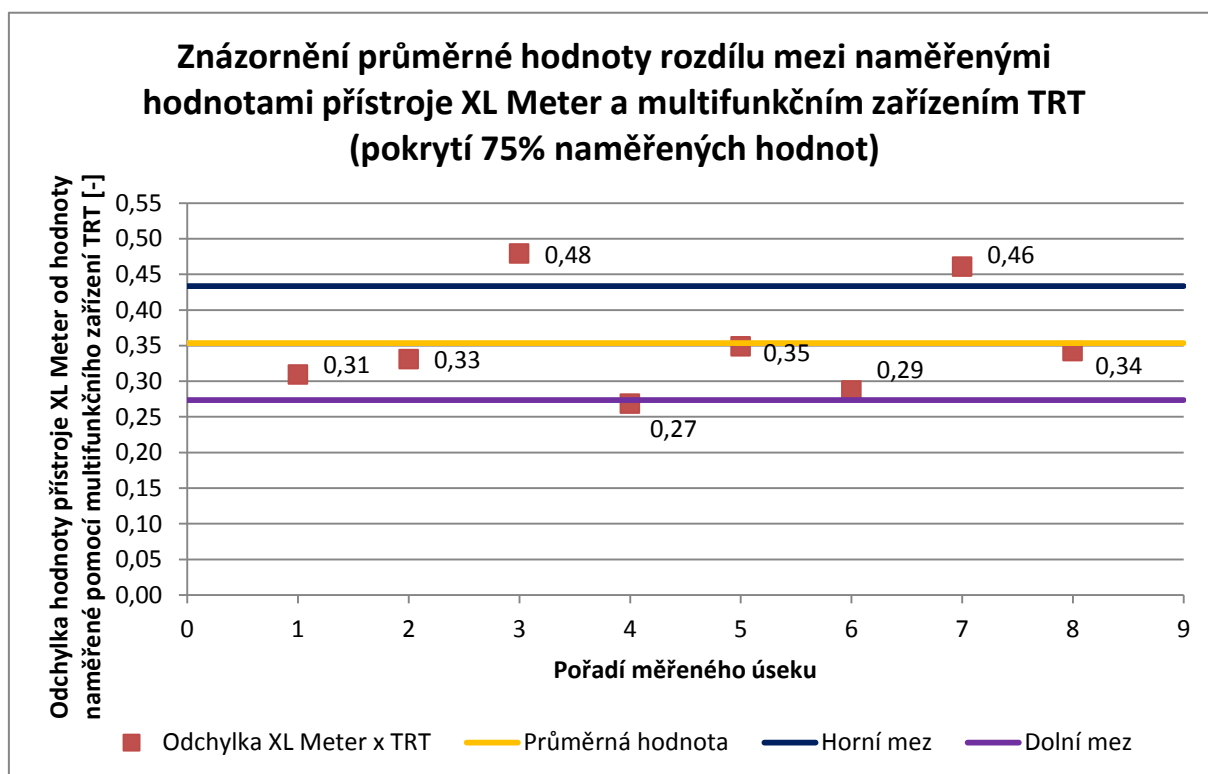
5.2 STANOVENÍ KONSTANTY ROZDÍLU VÝPOČTEM

V následující tabulce jsou vypsány jednotlivé rozdíly hodnot naměřených přístroji XL Merter a multifunkčním zařízením TRT. Dále je v tabulce vypočítána průměrná hodnota rozdílu naměřených hodnot.

Tabulka 14 Výpis rozdílů hodnot naměřených přístrojem XL Meter a multifunkčním zařízením TRT [4, 9]

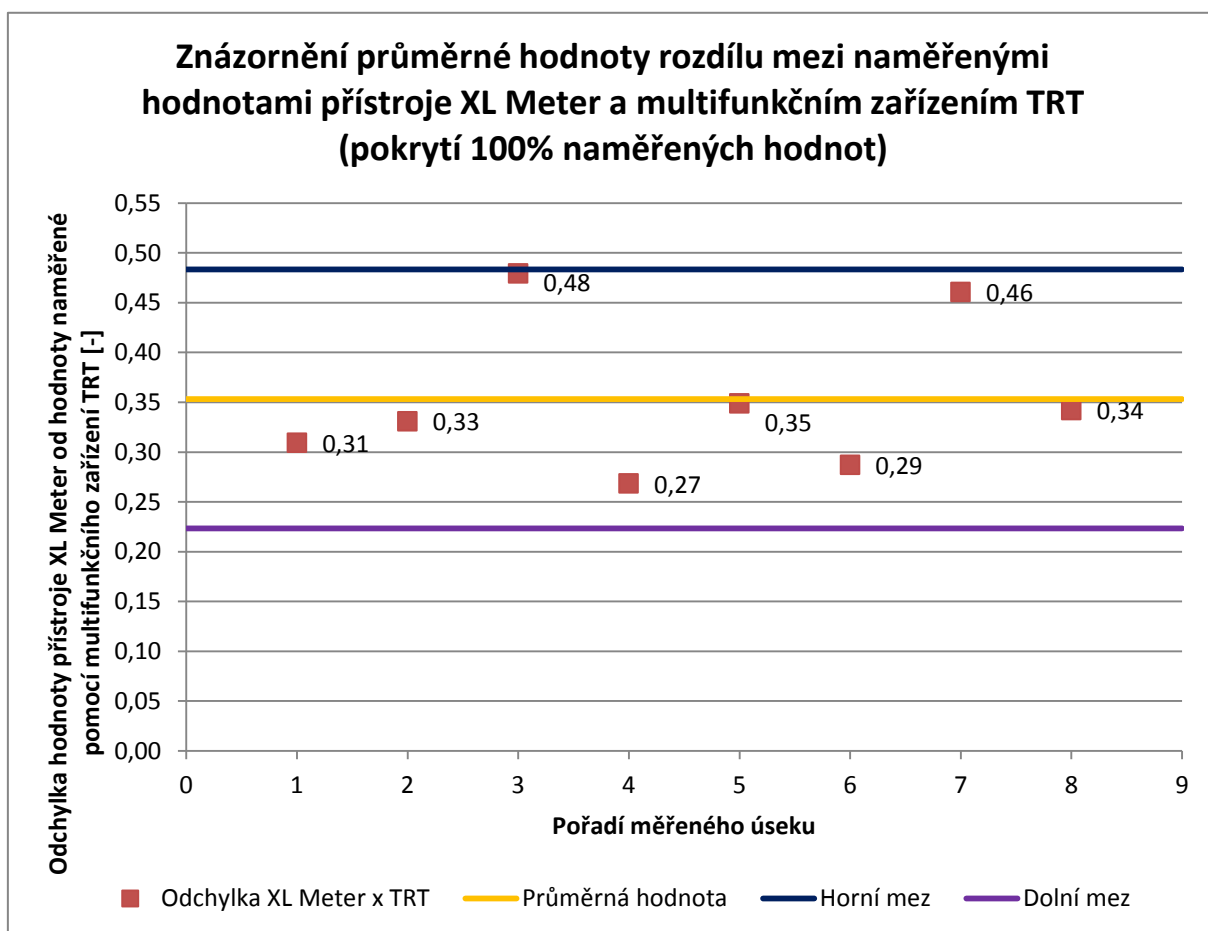
Měřený úsek	XL Meter x Multifunkční zařízení TRT
D1 km 247 - 246,5	0,31
D1 km 246,5 - 246	0,33
D1 km 246 - 245,8	0,48
D1 km 245,8 - 245,7	0,27
D1 km 245,7 - 245,5	0,35
D1 km 245,5 - 245	0,29
Brno, ulice Kníničská	0,46
Brno, ulice Fryčajova	0,34
Průměrná hodnota	0,35

Při použití vypočítané průměrné hodnoty lze říci, že u 75% naměřených případů se hodnoty, naměřené přístrojem XL Meter liší od hodnot, naměřených multifunkčním zařízením TRT o konstantu $0,35 \pm 0,08$.



Graf č. 17 Průměrná hodnota rozdílu hodnot přístroje XL Meter a multifunkčního zařízení TRT se znázorněnou tolerancí $\pm 0,08$ [4, 9]

Při použití stejné úvahy lze pak určit, že pro to, aby tato konstanta pojmul 100% naměřených hodnot, bylo by nutné zvýšit toleranci konstanty na $0,35 \pm 0,13$, jak je znázorněno v následujícím grafu.



Graf č. 18 Průměrná hodnota rozdílu hodnot přístroje XL Meter a multifunkčního zařízení TRT se znázorněnou tolerancí $\pm 0,13$ [4, 9]

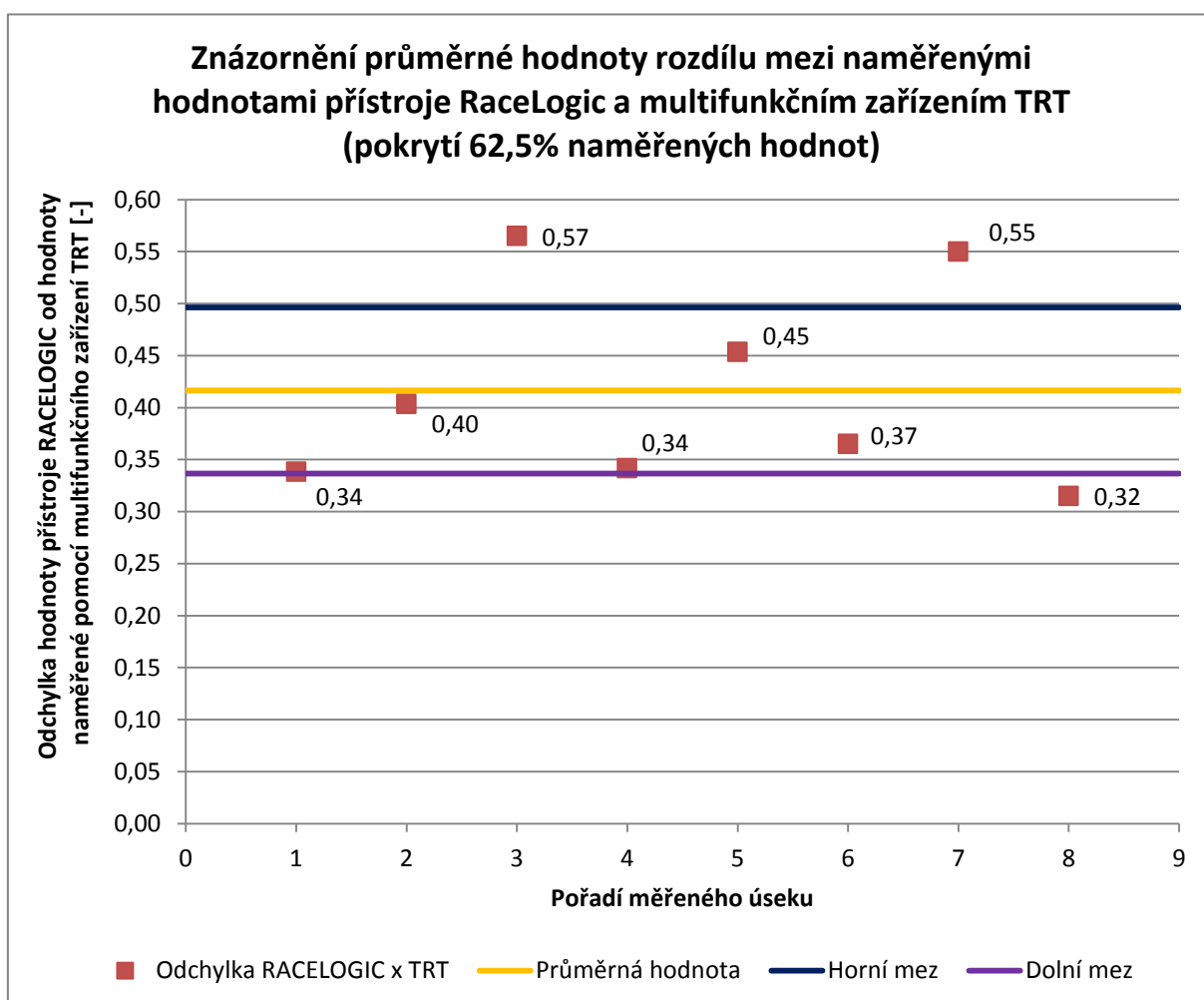
Při porovnání naměřených hodnot mezi přístrojem RaceLogic a multifunkčním zařízením TRT bylo použito opět stejné úvahy, jako v předchozím případě. Kvůli nižší vzorkovací frekvenci přístroje RaceLogic jsou však naměřená data zatížena vyšší nepřesností měření, což způsobuje vyšší rozptýl jednotlivých hodnot. Z tohoto důvodu je pak těžší určit konstantu, o kterou by se hodnoty z přístroje RaceLogic lišily od hodnot naměřených multifunkčním zařízením TRT.

Následující tabulka zobrazuje jednotlivé rozdíly hodnot naměřených přístroji RaceLogic a multifunkčním zařízením TRT. Dále je v tabulce vypočítána průměrná hodnota rozdílu naměřených hodnot.

**Tabulka 15 Výpis rozdílů hodnot naměřených přístrojem
RaceLogic a multifunkčním zařízením TRT [4, 9]**

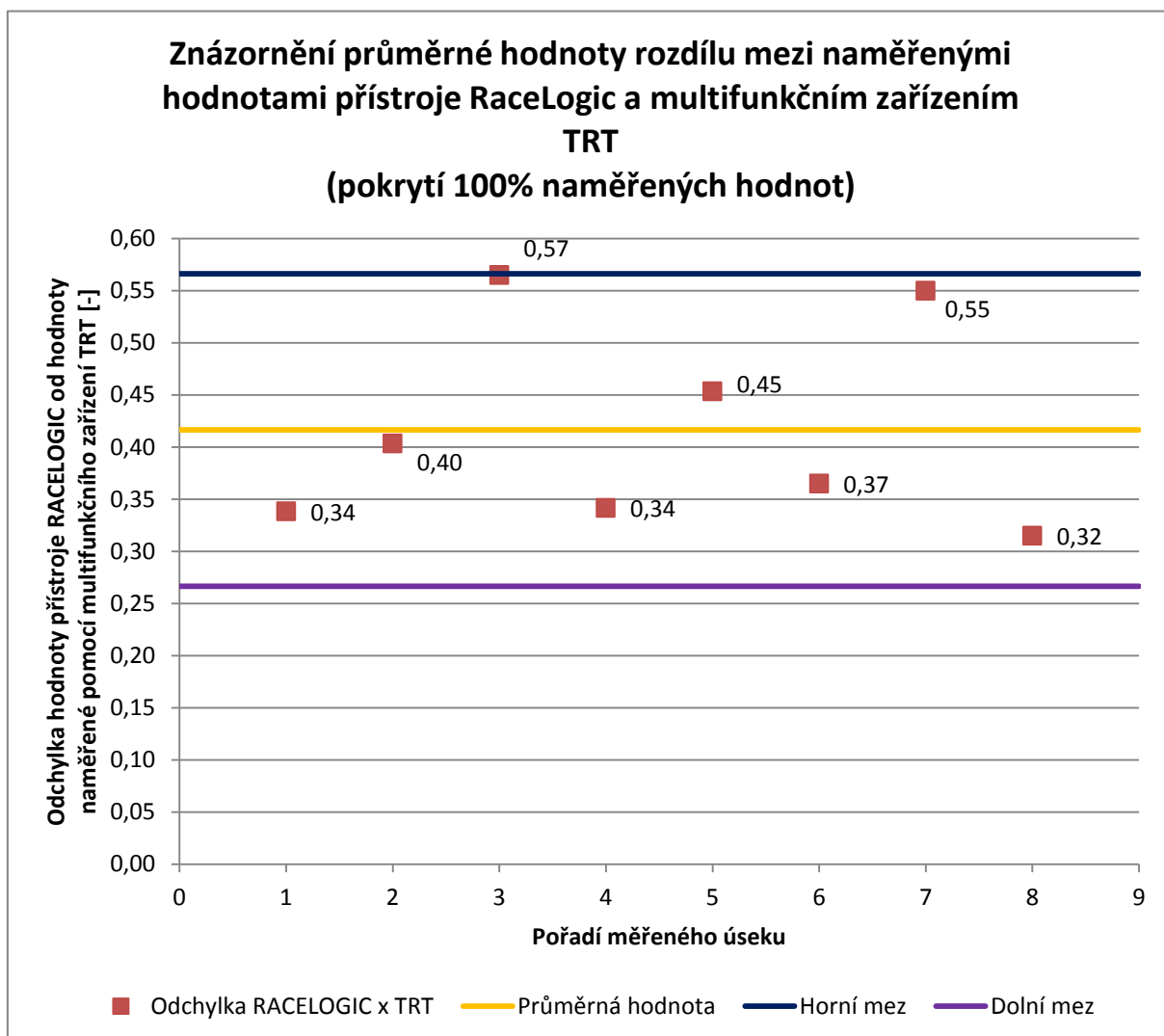
Měřený úsek	RaceLogic x Multifunkční zařízení TRT
D1 km 247 - 246,5	0,34
D1 km 246,5 - 246	0,40
D1 km 246 - 245,8	0,57
D1 km 245,8 - 245,7	0,34
D1 km 245,7 - 245,5	0,45
D1 km 245,5 - 245	0,37
Brno, ulice Kníničská	0,55
Brno, ulice Fryčajova	0,32
Průměrná hodnota	0,42

Při konstantě $0,42 \pm 0,08$ je pokryto pouze 62,5% naměřených hodnot, jak je znázorněno v následujícím grafu.



Graf č. 19 Průměrná hodnota rozdílu hodnot přístroje RaceLogic a multifunkčního zařízení TRT se znázorněnou tolerancí $\pm 0,08$ [4, 9]

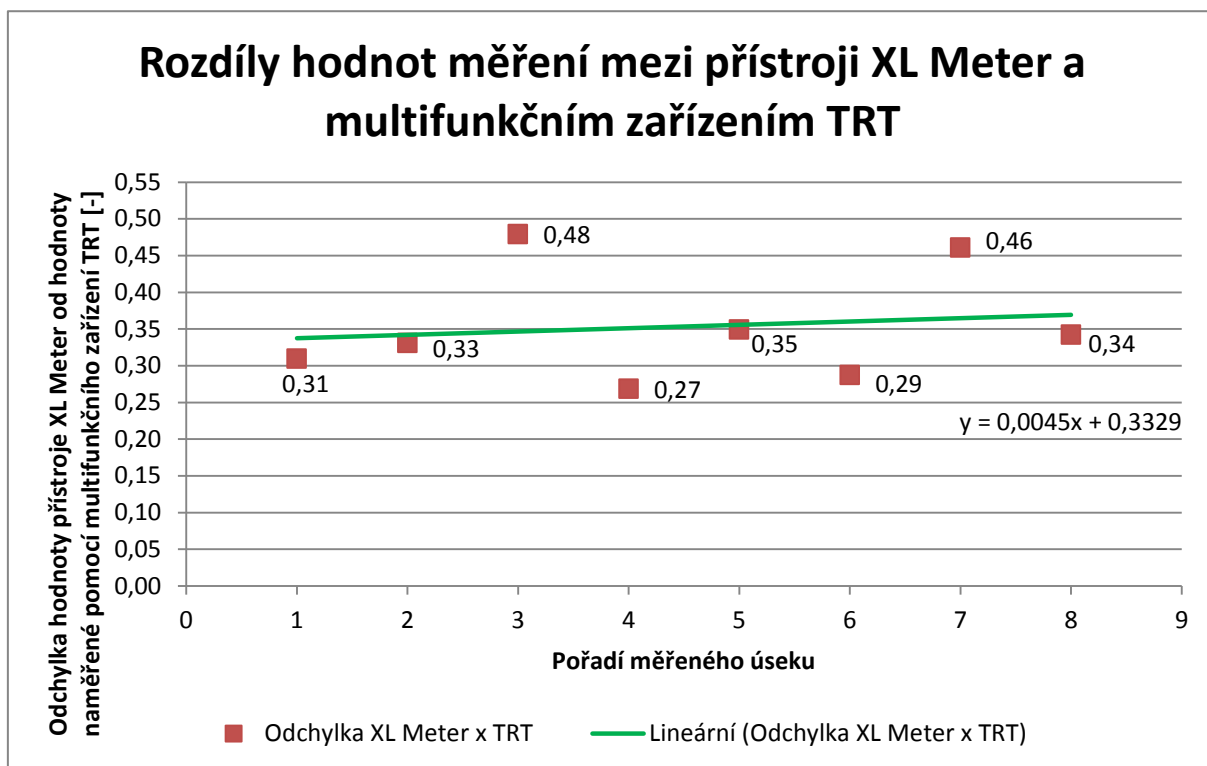
Pro pokrytí 100% naměřených hodnot by konstanta musela být tolerance konstanty zvýšena na $0,42 \pm 0,15$, jak znázorňuje následující graf.



Graf č. 20 Průměrná hodnota rozdílu hodnot přístroje RaceLogic a multifunkčního zařízení TRT se znázorněnou tolerancí $\pm 0,14$ [4, 9]

5.3 STANOVENÍ KONSTANTY ROZDÍLU PROLOŽENÍM PŘÍMKY

Alternativou k prostému výpočtu průměrné hodnoty a určení tolerancí je proložení rozdílů hodnot přímkou a určení rovnice této přímky. To je možné provést například s pomocí programu MS Excel.



Graf č. 21 Proložení rozdílů hodnot přístroje XL Meter a multifunkčního zařízení TRT přímkou [4, 9]

Přímka, kterou byly proloženy rozdíly hodnot, naměřených přístrojemi XL Meter a multifunkčním zařízením TRT má následující rovnici:

$$y = 0,0045x + 0,3329 \quad (11)$$

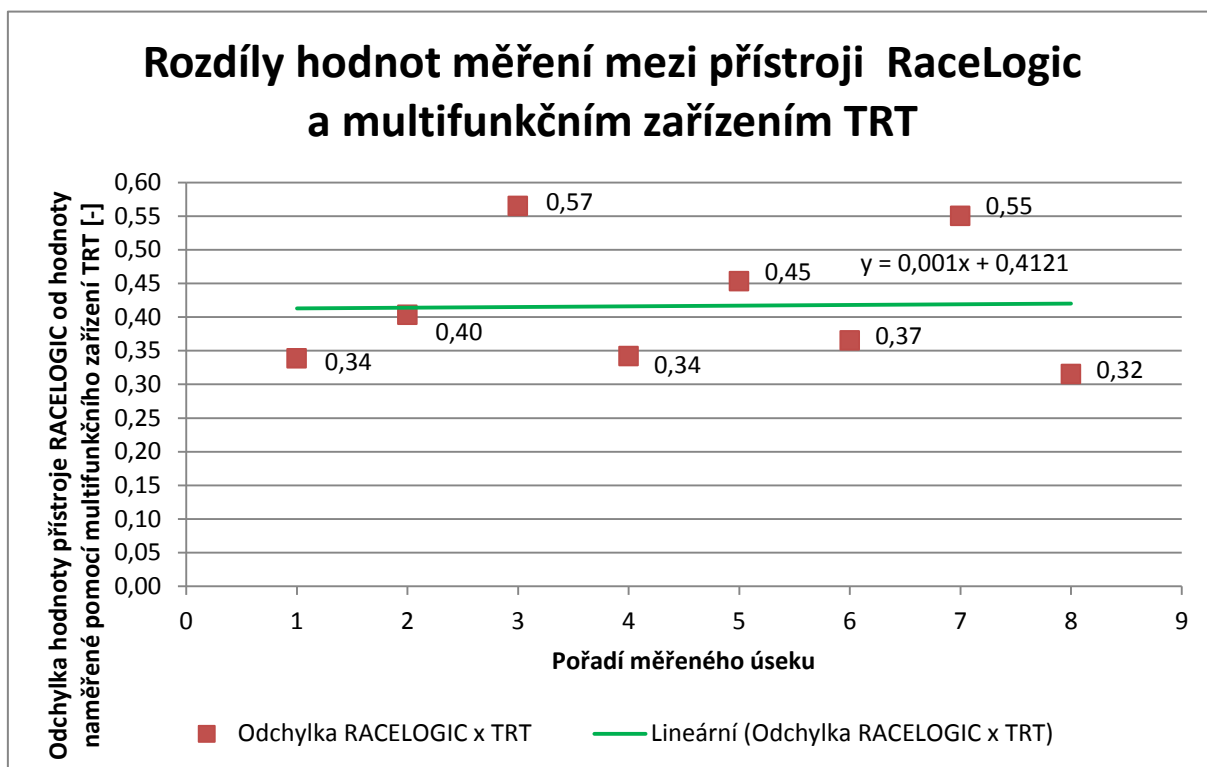
Při použití konstanty z této rovnice pro přepočtení hodnoty podélného tření na adhezi vznikne rovnice:

$$y = x + 0,33 \quad (12)$$

Kde při dosazení hodnoty podélného tření za x vyjde hodnota adheze jako y .

Konstanta 0,3329, o kterou je výsledná hodnota posunuta, je oproti konstantě, získané výpočtem průměrné hodnoty rozdílů naměřených hodnot (0,35) bližší většině (v tomto případě 75%) rozdílů naměřených hodnot, pohybujících se v rozmezí od 0,27 do 0,35.

Zbylé dva případy, u kterých je rozdíl hodnot vyšší než u ostatních měření však tato metoda vyhodnocení výsledků stále neřeší.



Graf č. 22 Proložení rozdílů hodnot přístroje RaceLogic a multifunkčního zařízení TRT přímkou [4, 9]

Při použití této metody vyhodnocení výsledků na porovnání měření přístroji RaceLogic a multifunkčním zařízením TRT se pak dostane rovnice:

$$y = 0,001x + 0,4121 \quad (13)$$

Při použití konstanty z této rovnice pro přepočet hodnoty podélného tření na adhezi vznikne rovnice:

$$y = x + 0,41 \quad (14)$$

Kde při dosazení hodnoty podélného tření za x vyjde hodnota adheze jako y .

Konstanta 0,4121, o kterou je výsledná hodnota posunuta, je s konstantou, získanou výpočtem průměrné hodnoty rozdílů naměřených hodnot (0,42) podobná, nicméně kvůli většímu rozptylu hodnot měření, způsobenou nižší přesností měření zařízením RaceLogic hůře použitelná než ta, získaná z analýzy měření přístrojem XL Meter.

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo nalezení funkční závislosti mezi výsledky, získaných pomocí různých metod měření protismykových vlastností povrchu vozovky, používaných v automobilové a stavební praxi. Pro srovnání byly vybrány brzdňá zkouška, provedená s pomocí přístrojů XL Meter a RaceLogic a měření protismykových vlastností povrch pomocí multifunkčního zařízení TRT.

Práce obsahuje popis základních fyzikálních veličin, měřených těmito různými metodami, jejich porovnání mezi sebou a také podstatné vlastnosti, které mají na tyto veličiny vliv. Dále jsou zde popsány jednotlivé měřicí přístroje, použité pro získávání dat potřebných pro zpracování diplomové práce.

Měření bylo provedeno na různých typech povrchu vozovky a hledaná závislost mezi jednotlivými metodami měření tak byla brána z obecného hlediska, tedy použitelná pro libovolný povrch vozovky.

Mezi hodnotami, získanými z brzdňých zkoušek přístrojem XL Meter a multifunkčním měřicím zařízením TRT byla vyzorována jistá podobnost. Rozdíly ve výsledcích měření těmito metodami byly přibližně stejně velké (v rozmezí od 0,27 do 0,35) až na dvě hodnoty (úsek původního CBK dálnice km 246 – 245,8 s rozdílem 0,48 a ulice Kníničská v Brně s rozdílem 0,46).

Hodnoty získané brzdňými zkouškami pomocí přístroje RaceLogic měly také podobný průběh, jako hodnoty získané multifunkčním zařízením TRT, nicméně kvůli nižší přesnosti přístroje, danou nižší frekvencí záznamu dat byl rozptýl hodnot vyšší. Rozdíly výsledků naměřených těmito metodami se pohybovaly v rozmezí od 0,34 do 0,45 opět až na dva případy (úsek původního CBK dálnice km 246 – 245,8 s rozdílem 0,57 a ulice Kníničská v Brně s rozdílem 0,55).

Konkrétní příčinu, výskytu těchto případů, se nepodařilo s jistotou objasnit (k těmto odchylkám došlo na jiných typech povrchů, ale za stejných podmínek měření) a je s největší pravděpodobností dána rozdílným způsobem vyhodnocování výsledků dat jednotlivých metod. Z tohoto důvodu nebyly tyto hodnoty vyloučeny z vyhodnocování a bylo s nimi dále počítáno.

Vyhodnocení bylo provedeno pomocí výpočtu průměrných hodnot a odchylek jednotlivých metod měření s přidáním tolerancí (u porovnání přístrojů XL Meter a multifunkčního zařízení TRT byla hodnota konstanty $0,35 \pm 0,08$). V případech, kdy jsou tolerancemi pojaty všechny naměřené hodnoty, jsou však velikosti těchto tolerancí poměrně vysoké a jejich použití v praxi by pak bylo zatíženo chybou.

Alternativně pak bylo provedeno vyhodnocení proložením rozdílů hodnot získaných jednotlivými měřeními přímkami. Konstanty těchto přímek pak znamenají posunutí hodnot jednoho měření od druhého. V případě porovnávání měření XL Meter a multifunkčního zařízení TRT byla výsledná konstanta (0,33) bližší většině rozdílů hodnot měření opět až na dva případy. V případě porovnání zařízení RaceLogic a multifunkčního zařízení TRT byla konstanta, získaná z rovnice přímky téměř stejná té, získané výpočtem průměrné hodnoty rozdílů hodnot měření a její přesnost tak byla opět nižší.

Z provedených měření lze vyvodit, že přístroj XL Meter je vhodnější pro přesnější provedení analýzy brzdění oproti přístroji RaceLogic, který má oproti přístroji XL Meter nižší vzorkovací frekvenci záznamu dat, což je zřetelné na několika grafech, zobrazujících průběhy zpomalení, naměřených oběma přístroji.

Je možné, že by jednotlivé metody byly lépe porovnatelné, pokud by se měření brzdou zkouškou provedlo na mokřem povrchu, vzhledem k tomu, že je multifunkční zařízení TRT vybaveno kropícím zařízením, které zajišťuje měření vždy mokřem povrchu. Hodnoty adheze mokřem povrchu jsou za mokra vždy nižší oproti suchému povrchu a lze proto usoudit, že by byly shodnější s hodnotami podélného tření, které byly vždy nižší oproti naměřené adhezi.

Pro lepší porovnání jednotlivých měřicích metod by také mohlo sloužit provedení podstatně většího souboru měření např. na jednom konkrétním povrchu vozovky. Jelikož multifunkční zařízení TRT vyhodnocuje měřený úsek z hodnot, které jsou zaznamenávány průběžně v celé délce měřeného úseku, bylo by účelné, pokud by byla brzdá zkouška provedena podobným způsobem, tedy v několika úsecích jdoucích za sebou.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BACKFISCH, Klaus Peter. *Das große Reifenbuch: Technik, Sicherheit, Fahrdynamik, Tuning : alles über Reifen und Räder*. Königswinter: Heel Verlag, 2006, 272 s. ISBN 978-3-89880-656-5.
- [2] BRADÁČ, Albert a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- [3] ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009.
- [4] Fotodokumentace a data pořízená autorem dne 4. 5. 2015
- [5] HALLIDAY, David. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno/Praha: VUTIUM/PROMETHEUS, 2000, 1198 s. ISBN 80-214-1869-9.
- [6] *Handbook of Accident Reconstruction: [accident investigation, vehicle dynamics, simulation]*. 1st ed. [Washington: CreateSpace Independent Publishing Platform], 2013, 14, xvi, 475 s. ISBN 978-149-2328-421.
- [7] HANEY, Paul. 2003. *The racing and high-performance tire: Using the tires to tune for grip and balance*. Springfield: TV MOTORSPORT, 286 s. ISBN 07-680-1241-4.
- [8] Informace o nehodách, poskytnuté Policií České republiky (Krajské ředitelství Jihomoravského kraje)
- [9] Leoš Nekula – poskytnutí dat naměřených dne 4. 5. 2015 zařízením TRT (Měření PVV, Hybešova 36, Vyškov) dne 18. 5. 2015
- [10] Leoš Nekula – ústní sdělení (Měření povrchových vlastností vozovek, Hybešova 36, Vyškov) dne 9. 3. 2015
- [11] Návod k použití: XL Meter, Inventure. In: *NEHODÁŘ.CZ* [online]. 1997 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>
- [12] NEKULA, L., a kolektiv, Školení technických norem a předpisů STEPS: STEPS 3 – Údržba a opravy vozovek, povrchové vlastnosti vozovek, Sdružení provýstavbu silnic Praha, Praha, 2010.
- [13] NEKULA, Leoš. MĚŘENÍ PVV. *Souhrnný popis multifunkčního zařízení TRT*. Vyškov, 2012.
- [14] PerformanceBox. *VBOX Motorsport* [online]. c2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/performancebox>
- [15] Popis zařízení 613 - 3 TRT. *Tatrula.aircooled.cz* [online]. 2002 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://tatrula.aircooled.cz/CZ/T613%20Menu/613-TRT.html>

- [16] STRYK, Josef a Leoš NEKULA. CESTI. *MĚŘICÍ VOZIDLO OSAZENÉ RŮZNÝMI DIAGNOSTICKÝMI TECHNIKAMI PRO MĚŘENÍ PARAMETRŮ VOZOVEK A JEJICH BLÍZKÉHO OKOLÍ, MĚŘENÍ ZA VYSOKÝCH RYCHLOSTÍ* [online]. 2014 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2014/2014_WP6_TL6_1_2.pdf
- [17] ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod*, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znaleství v dopravě, 2008.
- [18] Tyre safety. *Quality tires* [online]. 2014 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.qualitytyre.co.nz/tyre-safety.html>
- [19] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*, 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ A VYDAVATELSTVÍ VLK, Brno, 2000. 34 str. ISBN 80-238-5273-6
- [20] VLK, František a Miroslav TESAŘ. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [21] BRADÁČ, A.; KREJČÍŘ, P.; GLIER, L. *Znalecký standard č. II - Vybrané metody zajišťování podkladů pro technickou analýzu průběhu a příčin silničních dopravních nehod*. Znalecký standard č. II. Brno: VUT v Brně-ÚSI, Ministerstvo spravedlnosti, 1990.
- [22] Zobrazení měřeného úseku na www.mapy.cz

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

a	[m.s ⁻²]	Zrychlení
f	[-]	Koeficient tření
F_B	[N]	Síly přenášené v podélném směru
F_d	[N]	Dynamická třecí síla
f_d	[-]	Koeficient dynamického tření
F_N	[N]	Normálová síla
f_p	[-]	Součinitel podélného tření
F_R	[N]	Výsledná síla
F_S	[N]	Boční síly
F_s	[N]	Statická třecí síla
f_s	[-]	Koeficient statického tření
F_S'	[N]	Setrvačná síla
F_T	[N]	Třecí síla
g	[m.s ⁻²]	Tíhové zrychlení
m	[kg]	Hmotnost
s	[°]	Úhel směrové úchyly
S	[kN]	Zatížení pneumatiky
v	[km.h ⁻¹]	Rychlost
v_{krit}	[km.h ⁻¹]	Kritická rychlost
μ	[-]	Součinitel adheze
μ_x	[-]	Součinitel adheze v podélném směru
μ_y	[-]	Součinitel adheze v příčném směru
σ_B	[%]	Brzdný skluz

Zkratky

ABS	protiblokovací systém
BR	polybutadienový kaučuk
CBK	cementobetonový kryt
EPDM	etylen-propylenový kaučuk

GPS	globální polohový systém
NR/BR	přírodní kaučuk/polybutadienový kaučuk
PVV	protismykové vlastnosti povrchu
SBR	butadien-styrenový kaučuk
SBR/BR	butadien-styrenový kaučuk/polybutadienový kaučuk
TRT	tatra runway tester

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Grafy průběhu zpomalení, zaznamenané přístroji XL Meter a RaceLogic při druhých průjezdech jednotlivých úseků

Příloha B – kompletní záznam měření provedený multifunkčním zařízením TRT, dodaný v elektronické podobě na přiloženém CD