



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Adam Hoffmann

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ SKIDOMETRU T2GO V SOULADU  
S ČSN 73 6177**

Diplomová práce

**2023**



**K622..... Ústav soudního znalectví v dopravě**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Adam Hoffmann**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Možnosti využití skidometru T2Go v souladu s ČSN 73 6177**

Název tématu (anglicky): Possibilities of Using the T2Go Skidometer in Accordance with ČSN 73 6177

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Proveďte rešerši týkající se řešené problematiky včetně aktuálně platné legislativy
- Definujte faktory mající vliv na hodnotu součinitele adheze a jeho měření
- Popište princip fungování a zásady měření se skidometrem T2Go
- Proveďte experimentální srovnání vybraných v tuzemsku používaných měřicích zařízení se skidometrem T2Go
- Formulujte závěry plynoucí z vyhodnocení a interpretace dat získaných při srovnávacím měření



Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího práce

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

Seznam odborné literatury: ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silničních nehod, Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě, 2008  
ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Zdeněk Svatý, Ph.D.**

**Ing. Tomáš Kohout**

Datum zadání diplomové práce:

**6. července 2022**

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

Datum odevzdání diplomové práce:

**15. května 2023**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

vedoucí

Ústavu soudního znalectví v dopravě



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Adam Hoffmann

jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 6. července 2022

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce a také své rodině za vytvoření studijních podmínek a přítelkyni za veškerou podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia a během tvorby této práce.

Zvláště pak děkuji vedoucím mé práce panu Ing. Tomáši Kohoutovi a Ing. Zdeňku Svatému, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za cenné rady, které mi poskytli během mého studia a při vedení této práce. Děkuji také panu Ing. Čestmíru Kopřivovi, ze společnosti Ředitelství silnic a dálnic ČR, za umožnění uskutečnění experimentu srovnávacího měření se skidometrem T2GO v rámci akce Národního srovnávacího měření, stěžejního ke zhotovení této práce. Dále děkuji Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. a Ing. Ondřeji Rynešovi, z Fakulty stavební ČVUT, za zapůjčení a asistenci při měření kyvadlovým zařízením SRT.

V neposlední řadě děkuji také kolektivu Ústavu soudního znalectví v dopravě za vstřícnost, umožnění cenného kontaktu s praxí a za zapůjčení potřebné techniky.

## Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 15. května 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters, positioned above a horizontal dotted line.

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## MOŽNOSTI VYUŽITÍ SKIDOMETRU T2GO

### V SOULADU S ČSN 73 6177

Diplomová práce

Květen 2023

Bc. Adam Hoffmann

#### ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je ověření přesnosti měření skidometru T2GO v porovnání s dynamickými měřicími zařízeními standardně využívanými v České republice a současně stanovení míry korelace s těmito zařízeními, na základě dat získaných v rámci akce Národního srovnávacího měření. Dále jsou popsány základní fyzikální souvislosti třecích sil, respektive adhezních sil a jsou zmíněny faktory ovlivňující charakteristiky součinitelů tření a jejich měření. Práce se věnuje taktéž zjištění možností využití skidometru T2GO v souladu s českou legislativou a jeho možného zanesení do adekvátních norem. Závěrem diplomové práce jsou představeny výsledky srovnávacích měření, jejich interpretace a návrh postupu pro budoucí umožnění využití skidometru T2GO v praxi.

#### KLÍČOVÁ SLOVA

adheze, součinitel tření, dynamická měřicí zařízení, skidometr T2GO, srovnávací měření, ověření přesnosti, stanovení korelace

**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

Faculty of Transportation Sciences

**POSSIBILITIES OF USING THE T2GO SKIDOMETER IN ACCORDANCE  
WITH ČSN 73 6177**

Master thesis

May 2023

Bc. Adam Hoffmann

**ABSTRACT**

The subject of this master thesis is to verify the accuracy of the T2GO measurement in comparison with dynamic measuring devices standardly used in the Czech Republic and at the same time to determine the degree of correlation with these devices, based on data obtained within the National Comparative Measurement event. Furthermore, the basic physical context of friction forces and adhesion forces is described and the factors influencing the characteristics of friction coefficients and their measurement are mentioned. The thesis is also focused on determining the possibilities of using the T2GO skidometer in accordance with Czech legislation and its possible inclusion in adequate standards. Finally, the thesis presents the results of comparative measurements, their interpretation, and a suggestion for the future use of the T2GO skidometer in practice.

**KEY WORDS**

adhesion, friction coefficient, dynamic friction testers, skidometer T2GO, comparative measurements, accuracy evaluation, determination of the correlation

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>DEFINICE TŘENÍ, ADHEZE A PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ</b> .....	<b>10</b>
2.1	TŘENÍ.....	10
2.1.1	<i>Tření statické</i> .....	11
2.1.2	<i>Tření valivé</i> .....	11
2.1.3	<i>Tření smykové</i> .....	12
2.2	ADHEZE .....	12
2.2.1	<i>Hysterezní tření</i> .....	13
2.2.2	<i>Adhezní tření</i> .....	14
2.3	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VELIKOST SOUČINITELE ADHEZE A JEHO MĚŘENÍ.....	16
2.3.1	<i>Faktory ovlivňující texturu povrchu vozovky</i> .....	17
2.3.1.1	Roční období .....	17
2.3.1.2	Stáří vozovky .....	17
2.3.1.3	Volba jízdni stopy .....	18
2.3.1.4	Znečištění povrchu vozovky .....	18
2.3.2	<i>Faktory ovlivňující vlastnosti pneumatik</i> .....	18
2.3.2.1	Typ pneumatiky.....	18
2.3.2.2	Huštění pneumatiky.....	19
2.3.2.3	Ojetí dezénu pneumatiky.....	19
2.3.2.4	Teplota .....	20
2.3.3	<i>Faktory ovlivňující míru interakce pneumatiky s vozovkou</i> .....	20
2.3.3.1	Rychlost .....	20
2.3.3.2	Skluz pneumatiky .....	21
2.3.3.3	Zatížení kola .....	22
2.3.3.4	Vodní film .....	23
2.4	VLIV MIKRO A MAKRO TEXTURY .....	23
2.5	VLIV ADHEZE NA BEZPEČNOST NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH.....	24
<b>3</b>	<b>VÝVOJ METOD A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ADHEZE NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH</b> .....	<b>28</b>
3.1	KLASICKÉ METODY PRO MĚŘENÍ ADHEZE .....	28
3.2	MODERNÍ METODY KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ ADHEZE .....	34
3.3	ZPŮSOB ZANESENÍ DYNAMICKÝCH MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ DO NORMATIVNÍCH DOKUMENTŮ .....	38
3.3.1	<i>Způsob zanesení v EU</i> .....	38
3.3.2	<i>Způsob zanesení v USA</i> .....	39
<b>4</b>	<b>SKIDOMETR T2GO</b> .....	<b>40</b>
4.1	POPIS ZAŘÍZENÍ A PARAMETRY .....	40
4.2	KALIBRACE ZAŘÍZENÍ.....	42
4.3	PROBLEMATIKA ZANESENÍ MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ T2GO DO NOREM.....	43
4.4	DOSTUPNÉ KORELACE SKIDOMETRU T2GO .....	44
<b>5</b>	<b>EXPERIMENT SROVNÁVACÍHO MĚŘENÍ SE SKIDOMETREM T2GO</b> .....	<b>47</b>
5.1	PODMÍNKY MĚŘENÍ A REFERENČNÍ POVRCHY .....	47

5.2	ZÁSADY A PRŮBĚH MĚŘENÍ .....	50
5.3	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	53
5.4	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ .....	55
5.4.1	<i>Vyhodnocení opakovatelnosti měření skidometrem T2GO.....</i>	<i>55</i>
5.4.2	<i>Vyhodnocení vlivu teplot a ročního období na měření skidometrem T2GO .....</i>	<i>57</i>
5.4.3	<i>Stanovení míry korelace skidometru T2GO se standardními dynamickými měřicími zařízeními .....</i>	<i>59</i>
5.4.3.1	Asfaltový povrch 1F.....	59
5.4.3.2	Cementobetonový povrch 2F .....	60
5.4.3.3	Vodorovné dopravní značení 4F, bez balotinového posypu.....	62
5.4.3.4	Vodorovné dopravní značení 5F, s balotinovým posypem .....	63
5.4.3.5	Bezpečnostní protismyková úprava 6F .....	64
5.4.4	<i>Souhrnné vyhodnocení stanovení míry korelace.....</i>	<i>66</i>
5.5	DOPLŇKOVÉ SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ SKIDOMETREM T2GO A KYVADLOVÝM ZAŘÍZENÍM SRT .....	69
5.5.1	<i>Rozsah a průběh měření .....</i>	<i>70</i>
5.5.2	<i>Zpracování naměřených dat .....</i>	<i>71</i>
5.5.3	<i>Vyhodnocení naměřených dat a interpretace výsledků .....</i>	<i>72</i>
5.6	SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU SROVNÁVACÍHO MĚŘENÍ SE SKIDOMETREM T2GO .....	76
<b>6</b>	<b>MOŽNOSTI ŘEŠENÍ VEDOUcí K VYUŽITí SKIDOMETRU T2GO V PRAXI.....</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>INFORMAČNí ZDROJE .....</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>90</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>91</b>



## Seznam použitých zkratk

SRT – skid resistance tester (kyvadlové zařízení)

MTD – střední hloubka textury

PTV – pendulum test value (výsledná hodnota kyvadlového zařízení)

RCR – runway condition reading

DFT – dynamic friction tester

CFME – continuous friction measuring equipment

VDZ – vodorovné dopravní značení

ASTM – American Society for Testing and Materials

TRT – Tatra Runway Tester

TP – technické podmínky

# 1 Úvod

Posuzování bezpečnostních kvalit povrchů vozovek, letištních ploch, ale i povrchů pěší a cyklistické infrastruktury je jedním z nejvýznamnějších způsobů vedoucích k zajištění adekvátní úrovně bezpečnosti povrchů, a tedy i ke snižování celospolečenských ztrát způsobených právě nevyhovujícím charakterem daného povrchu. Je totiž obecně známo, že mezi rizikem vzniku dopravní nehody a povrchovými vlastnostmi, nejen vozovek, existuje určitá úměra, kdy s klesajícími protismykovými vlastnostmi povrchu roste délka brzdné dráhy a tím i riziko vzniku dopravní nehody. [8]

V současné době je jednou z nejvyužívanějších metod, k posuzování kvalit povrchů, měření kontinuálními dynamickými měřicími zařízeními, které stanovují součinitel tření jízdy měřicího kola po daném povrchu a jsou tak schopna měření relativně dlouhých linií (v řádu desítek km) v krátkém čase. Nevýhodou většiny těchto zařízení je však samotná měřicí rychlost, která odpovídá rychlostem běžného provozu na pozemních komunikacích, s čímž související komplikace jako například nutnost realizace dopravních uzávěr z důvodu zachování konstantní měřicí rychlosti, nemožnost realizace měření ve stísněných poměrech z důvodu potřeby adekvátního prostoru pro dosažení měřicí rychlosti, vysoká spotřeba kroupí vody, či náročnost zařízení na provoz. [16]

Tyto nevýhody odstraňují tzv. CFME zařízení pracující při rychlosti chůze, jakým je například právě skidometr T2GO, se schopností kontinuálního měření součinitele tření povrchu při rychlosti chůze, což sice limituje měření tímto zařízením na dlouhých vzdálenostech, avšak naopak disponuje schopností měření ve stísněných prostorech, v lokálních místech dopravních nehod, či na chodnících nebo přechodech pro chodce. Skidometr T2GO tudíž může výborně fungovat jako doplňující měřicí zařízení standardních dynamických měřičů pro specifická místní šetření.

Komplikací je však fakt, že tato dynamická zařízení nejsou jakkoliv zanesena do českého normativního systému a v současné době je tedy nelze oficiálně využívat pro měření součinitele tření povrchů vozovek.

Uvedenou problematikou se zabývá právě tato diplomová práce, která nejprve definuje základní fyzikální souvislosti týkající se tření obecně, dále se věnuje vlivu adheze na bezpečnost na pozemních komunikacích jakož i vývoji metod a zařízení, která jsou používána právě pro měření součinitele tření na pozemních komunikacích.

S tím souvisí navazující část práce, která se věnuje způsobu zanesení dynamických měřících zařízení do příslušných normativních dokumentů. Stěžejní částí této práce je pak samotný experiment srovnávacího měření skidometru T2GO se standardními dynamickými měřícími zařízeními, jehož cílem je především ověření přesnosti měření skidometru T2GO, stanovení míry korelace jeho měření se standardními dynamickými měřícími zařízeními a zároveň prověření možných způsobů vedoucích k reálnému využití skidometru T2GO v praxi, v souladu s českými normami.

## 2 Definice tření, adheze a protismykových vlastností

Při kvalifikovaném posuzování protismykových vlastností povrchů vozovek je zcela zásadní znalost veličin a fyzikálních jevů, které se vyskytují v rámci této problematiky. Pro kontakt pneumatiky vozidla s vozovkou jsou těmi nejzásadnějšími síly třecí a adhezní. Kombinace jejich působení, společně s vlastnostmi pneumatik vozidla, charakterem povrchu vozovky a povětrnostními podmínkami, zajišťuje výslednou charakteristiku protismykových vlastností. [9]

### 2.1 Tření

V této kapitole budou shrnuty základní zákonitosti silových účinků tření pro dvě tuhá tělesa. Tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky těmito fyzikálními zákonům (Amonton – Coulombovým zákonům) o tření dvou tuhých těles neodpovídá, jelikož závisí na parametrech, jako je rychlost skluzu, přítláčná síla, či velikost styčné plochy. Mezitím, Amonton – Coulombovy zákony stanovují, že smykové (kinetické) tření nezávisí na velikosti stykové plochy, v jistých mezích na vzájemné rychlosti těles ( $0,5$  až  $5 \text{ ms}^{-1}$ ) a zároveň je přímo úměrné přítláčné síle mezi těmito tělesy. Z toho vyplývá, že platí pouze pro tření dvou tuhých těles. Veličinou pro stanovení velikosti tření je tzv. součinitel tření  $f$ , který je stanoven jako poměr tečné síly k síle normálové. Vztah (1) pro jeho výpočet se nachází pod tímto odstavcem. Součinitel tření je bezrozměrnou konstantou a závisí na jakosti třených povrchů (např. drsnosti povrchů). [4][9][14]

$$f = \frac{T}{N} \quad (1)$$

kde  $[T]$  = třecí síla,

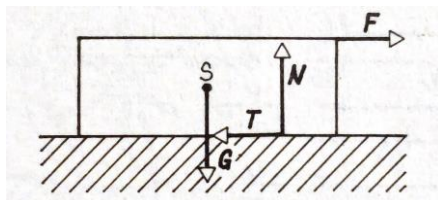
$[N]$  = normálová síla (tlaková),

$[f]$  = součinitel kinetického smykového tření, jinak také součinitel adheze.

Třecí síly se skládají ze tří základních složek, které se vyskytují při kontaktu dvou tuhých těles. Při pohybu na tělesa působí třecí síly smykové a valivé, zatímco v klidu třecí síly statické (klidové). [4][9][14]

### 2.1.1 Tření statické

Třecí síla statická neboli klidová, se vyskytuje v momentě, kdy se snažíme určité těleso uvést z klidu do pohybu vůči tělesu druhému. Pokud se těleso nachází v klidu, pak jsou také všechny síly a momenty sil v rovnováze, což znázorňuje následující obrázek. [14]



Obrázek 1 - Rovnováha sil tření ve vodorovném stavu (zdroj: [15])

Z obrázku výše je patrné, že třecí síla  $T$  obecně působí proti tažné síle  $F$ , tudíž pro uvedení tělesa do pohybu musí být tažná síla  $F$  větší než třecí síla  $T$ . Prakticky však pro uvedení tohoto tělesa do pohybu je zapotřebí tažné síly  $F$ , která je větší, než je síla třecí  $T_0$ , která je úměrná normálové síle  $N$  a podle vztahu (2) větší než síla  $T$ . To je dáno velikostí součinitele statického tření  $f_0$ , který je větší než součinitel tření kinetický, tedy  $f_0 > f$ . To platí pouze do momentu, než je těleso uvedeno do pohybu, skluzu, při kterém pak již platí součinitel smykového tření  $f$ . [14][15]

$$T_0 > T = f * N \quad (2)$$

### 2.1.2 Tření valivé

Valivé tření vzniká při pohybu tělesa kruhového průřezu po podložce, ke které je přitlačováno silou  $N$ . Proti tomuto pohybu je pak kladen odpor od podložky, kdy dochází k určité deformaci obou těles a v místě kontaktu kruhového tělesa s podložkou se tvoří prohlubeň, následně po odvalení mizející. Reakce podložky na pohyb tělesa, tedy její deformace, není okamžitá a dokonalá, čímž dochází ke zpoždění vyrovnání deformace a současně k odchýlení výslednice reakce  $R$ , kdy  $R = N$ , od svislice o určitý úhel, ve směru pohybu. Tím vzniká vztah  $D = N * \xi$  definující snahu otáčet valícím se tělesem proti směru pohybu, přičemž pro uvedení tohoto tělesa do pohybu je zapotřebí síly  $P$  větší, než je síla  $D$ , dle následujícího vztahu (3). [4][14][15]

$$P \geq T_v = \frac{N}{r} * \xi \quad (3),$$

kde  $[T_v]$  = síla valivého tření, přímo úměrná normální tlakové síle, nepřímo úměrná poloměru valícího se tělesa a obecně nepřímo úměrná rameni hybné síly,

$[N]$  = normálová tlaková síla,

$[\xi]$  = součinitel valivého tření,

$[r]$  = poloměr valeného tělesa.

Valivé tření se v případě vozidla uplatňuje v případě, že nedochází ke skluzu elementů pneumatiky, ale pouze k odvalování povrchu pneumatiky po povrchu vozovky. Velikost součinitele valivého tření je v klidu vždy větší než v pohybu, avšak s rychlostí roste, na rozdíl od součinitele kinetického tření. Valivé tření závisí také na tvrdosti a pružnosti materiálů pneumatik a vozovky, přičemž součinitel valivého tření kinetického se při rychlosti 80 km/h na asfaltu pohybuje okolo hodnoty 0,025, na betonu 0,015 a například při kontaktu ocelového kola s kolejnicí pouze 0,003. [4][14][15]

### 2.1.3 Tření smykové

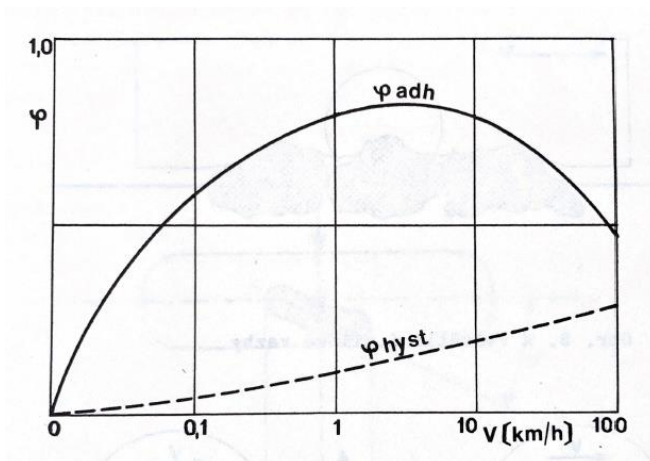
V případě smykového tření je uvažováno, že se dvě tuhá tělesa vůči sobě již vzájemně pohybují, smýkají a platí tedy součinitel smykového tření  $f$ , nikoliv větší součinitel klidového tření  $f_0$ . Ke smýkání dochází v případě, že dojde k přesažení velikosti třecí síly, které jsou daná tělesa schopna odporovat, stanovené na základě vztahu výše (1). Za pomoci tohoto vztahu lze stanovit také rozsah horní meze třecí síly pneumatiky po vozovce, tedy maximální třecí síly vyvolané zrychlením, či zpomalením vozidla. [14][9]

## 2.2 Adheze

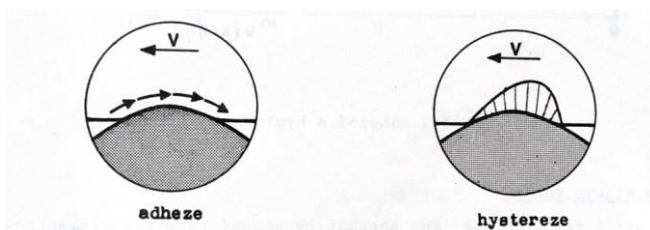
Při kontaktu, resp. pohybu dvou tuhých těles platí pro definování způsobu přenosu sil zákonitosti tření, uvedené výše. V kontaktu pneumatiky s vozovkou hovoříme o tření pouze v případě, kdy dochází ke smýkání (tření smykové) pneumatiky po povrchu vozovky, či při stavu pneumatiky v klidu (tření statické). V případě pohybu pneumatiky po vozovce, s nepatrným, či žádným smýkáním (tedy při odvalování), hovoříme o adhezi, stavu přilnavosti mezi pneumatikou a vozovkou. Některé zákonitosti však platí zároveň jak v případě adheze, tak v případě tření a jejich vztah není přímo vyhraněn. [9]

Vzhledem k povaze pneumatiky – měkké pryžové směsi, je charakter silové vazby s vozovkou, oproti dvěma tuhým tělesům, zcela odlišný a dochází k určitému způsobu prolínání běhounu pneumatiky s texturou povrchu vozovky. Toto prolínání je tvořeno

dvěma základními složkami, adhezním a hysterezním třením. Podíl adhezní a hysterezní složky tření závisí na míře smýkání částic pneumatiky po vozovce, jak je uvedeno na obrázku níže. S rostoucí rychlostí roste podíl hysterezní složky tření a jejího maxima lze dosáhnout přibližně okolo rychlosti 150 km/h, tedy při plně smýkaném kole. Naopak podíl adhezní složky roste s klesající rychlostí skluzu. [4][10]



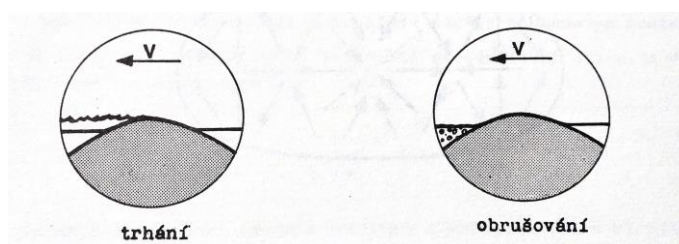
Obrázek 2 – Znárodnění podílu adhezní a hysterezní složky tření vztáženě k rychlosti (zdroj: [10])



Obrázek 3 - Znárodnění adhezního a hysterezního pohybu (zdroj: [10].)

### 2.2.1 Hysterezní tření

Hysterezní složka tření je způsobena hysterezními ztrátami pryže při zaboření a pomyslném obtékání fragmentů povrchu (kameniva) do povrchu běhounu, čímž následně dochází k obrušování a trhání pryžového materiálu z běhounu pneumatiky, jejichž výsledkem je opotřebení, které je znázorněno na obrázku pod odstavcem. [4][10]



Obrázek 4 - Procesy součástí hystereze (zdroj: [10])

### 2.2.2 Adhezní tření

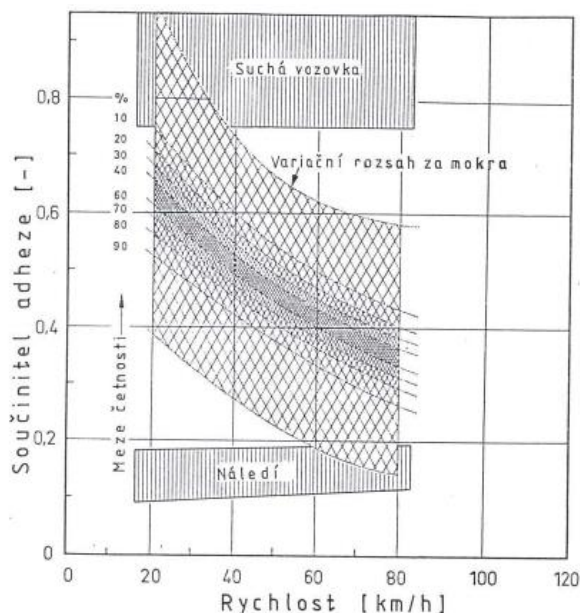
Adhezní složka tření vzniká působením molekulárních vazeb pryže s povrchem vozovky a její velikost je definována součinitelem adheze, který je obecně dán poměrem adhezní síly vzhledem k radiálnímu zatížení pneumatiky od vozidla. Součinitel adheze je závislý na mnoha faktorech, jako například kvalitě (složení) a opotřebením materiálu pneumatiky, huštění pneumatiky, charakteru povrchu vozovky, velikosti styčné plochy, velikosti vodního filmu na vozovce, rychlosti pohybu, velikosti skluzu, rozložení sil a v neposlední řadě také na teplotě. Součinitel adheze se ve většině případů pohybuje v rozmezí hodnot do velikosti 1 – 1,1. V některých případech však bývá i výrazně větší než 1 a to například na závodních okruzích se speciální penetrací, v kombinaci s poddajnou směsí pryže pneumatik, kdy pak může součinitel adheze nabývat hodnot až okolo 2,5. V tabulce č. 1 níže je uveden orientační souhrn rozsahů součinitele adheze pro různé povrchy, přičemž hodnoty je třeba vždy uvažovat s rezervou, z důvodu odlišnosti charakteristiky každého jediného povrchu a pneumatiky konkrétního vozidla. Toto platí obzvláště, pokud se jedná o hodnoty součinitele adheze stanovené pro mokré povrchy, vzhledem k faktu, že rozptyl hodnot může být násobně větší oproti suchému povrchu, vlivem různých textur vozovky, velikosti vodního filmu a podobně. Takové chování součinitele adheze, nejen na mokřém povrchu, je znázorněno na obrázku č. 5.

[4][9][10]



Tabulka 1 - Orientační hodnoty součinitele adheze pneumatiky vůči různým povrchům vozovek  
(zdroj: [13])

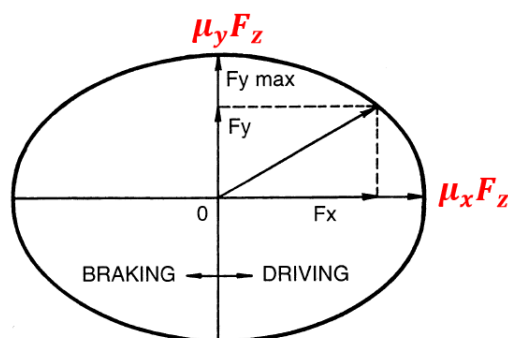
Description of road surface	dry <48 km/h	dry >48 km/h	wet <48 km/h	wet >48 km/h
portland cement:				
new, sharp	0.80–1.20	0.70–1.00	0.50–0.80	0.40–0.75
travelled	0.60–0.80	0.60–0.75	0.45–0.70	0.45–0.65
traffic polished	0.55–0.75	0.50–0.65	0.45–0.65	0.45–0.60
asphalt, tar:				
new, sharp	0.80–1.20	0.65–1.00	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



Obrázek 5 - Graf součinitele adheze v závislosti na rychlosti a charakteru povrchu (zdroj: [10])

Míru interakce pneumatiky s povrchem vozovky je možné zobrazit také prostřednictvím adhezní elipsy (obrázek č. 6), jejíž výsledný vektor součinitele adheze (vektorový součet adhezních sil v podélném a příčném směru, v součinu s normálovou silou k povrchu vozovky) určuje maximální adhezní možnosti, tedy

mezní hodnotu adheze. Pokud by došlo k překročení mezních hodnot adhezní elipsy, dochází pak ke ztrátě adheze a následnému smyku. [4][9][10][12]



Obrázek 6 - Adhezní elipsa (zdroj: [11])

Z obrázku výše je patrné, že využití adhezních možností v podélném a příčném směru může být různé. Pokud však dojde k plnému využití adhezních možností např. v podélném směru (brzdění či zrychlení), nebude pneumatika schopna přenést jakékoliv síly v bočním směru (zatáčení). Naopak pokud budou využity veškeré adhezní možnosti pro síly v příčném směru, nezbyvají žádné adhezní možnosti pro síly v podélném směru. Následkem nadměrných adhezních nároků tedy dochází k převýšení adhezních možností, což vede k následnému skluzu pneumatiky po povrchu vozovky. [9][10]

### 2.3 Faktory ovlivňující velikost součinitele adheze a jeho měření

S ohledem na stanovení velikosti součinitele adheze je nutno říci, že samotný součinitel adheze není v současné době jednoznačně stanovenou hodnotou, nýbrž empiricky měřeným intervalem hodnot pro různé povrchy, podmínky a materiály. To je dáno jednak faktem, že měření součinitele adheze je ovlivňováno značným množstvím faktorů, z nichž některé lze ovlivnit, či sledovat a zároveň skutečností, že neexistuje jednotný způsob, či zařízení, pro měření součinitele adheze. Výsledky jednotlivých měření adheze tak bývají v praxi často porovnávány mezi různými typy měřících zařízení, za účelem zvýšení přesnosti měření, přičemž v současné době stále nejpřesnějším měřícím zařízením je kyvadlové měřící zařízení, se kterým se snaží korelovat většina měřících zařízení provozovaných v Evropě. [16]

Faktory ovlivňující adhezní podmínky a velikost součinitele adheze lze rozdělit do tří základních kategorií:

- Faktory ovlivňující texturu povrchu vozovky
- Faktory ovlivňující vlastnosti pneumatik
- Faktory ovlivňující míru interakce pneumatiky s vozovkou

### 2.3.1 Faktory ovlivňující texturu povrchu vozovky

#### 2.3.1.1 Roční období

Charakteristika povrchu vozovky se v průběhu roku mění v závislosti na teplotě a vlhkosti (u cementobetonových vozovek jen v závislosti na vlhkosti, jelikož jsou značně odolnější teplotním vlivům), čímž dochází k určitým dlouhodobým i krátkodobým změnám. Tou nejzásadnější změnou je změna drsnosti povrchu v průběhu roku. V letním suchém období se povrch vozovky stává nejhladším, vlivem větší míry obrušování částeczek povrchu, které se následně zatlačují do prohlubní a teplem roztavené živice. Naopak v období, kdy je značné vlhko, se obrušované částecčky s vodou odplavují směrem ke krajnici a povrch vozovek se tím vyčistí. U živičných povrchů zároveň dochází za nízkých teplot ke křehnutí a povrch se stává drsnějším. Výsledkem toho je povrch nejdrsnější především na konci zimy a na jaře, a tedy i součinitel adheze se v tomto období nepatrně zvyšuje. Za účelem standardizace součinitele adheze byly stanoveny koeficienty, za pomoci kterých, lze přibližně přepočítat součinitel adheze na nejnižší letní hodnoty. Tyto koeficienty jsou shrnuty v tabulce č.2 níže. [4][9]

Tabulka 2 - Koeficient přepočtu součinitele adheze na nejnižší letní hodnoty (zdroj:[9])

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Asf.	0,86	0,87	0,87	0,88	0,92	0,98	1,00	1,00	0,96	0,90	0,87	0,86
Beton	0,91	0,91	0,92	0,94	0,96	0,99	1,00	1,00	0,97	0,92	0,92	0,91

kde Asf. = asfaltový kryt vozovky  
 Beton = cementobetonový kryt vozovky

#### 2.3.1.2 Stáří vozovky

Stáří vozovky je významným faktorem taktéž ovlivňující součinitel adheze. Degradace vozovky je způsobena jednak celkovým opotřebením povrchu, a také sezónními změnami charakteristiky povrchu. Charakteristickým průběhem hodnot součinitele adheze živičného povrchu, po jeho dokončení, je mírné zlepšení adhezních podmínek

po krátké době provozu (vlivem ojetí uhlazené vrstvy a živičného pojiva) s následným dlouhodobým mírným poklesem kvality adhezních podmínek spolu s opotřebením povrchu, v kombinaci se sezonními změnami. V případě cementobetonového povrchu, který je již od počátku zdrsňen charakteristickým rýhováním, dochází pouze k dlouhodobému poklesu kvalit adhezních podmínek spolu s působením sezonních změn, přičemž tento pokles je oproti živičným povrchům výrazně mírnější. [4][9]

### **2.3.1.3 Volba jízdní stopy**

Povrchy pozemních komunikací vykazují značné ohlazení v místech odpovídajících nejčastěji rozvoru kol nákladních vozidel, přičemž míra tohoto ojetí závisí na kategorii pozemní komunikace. Proto je důležité, s ohledem na různé opotřebení komunikace v příčném směru, především při kontinuálním měření adheze, volit správnou stopu měření. Tou by měla být vždy nejvíce opotřebená stopa, kterou zpravidla bývá stopa pravého kola vozidla, v případě vícepruhových komunikací v pravém jízdním pruhu, z důvodu vyššího procenta výskytu nákladních vozidel. [4][9]

### **2.3.1.4 Znečištění povrchu vozovky**

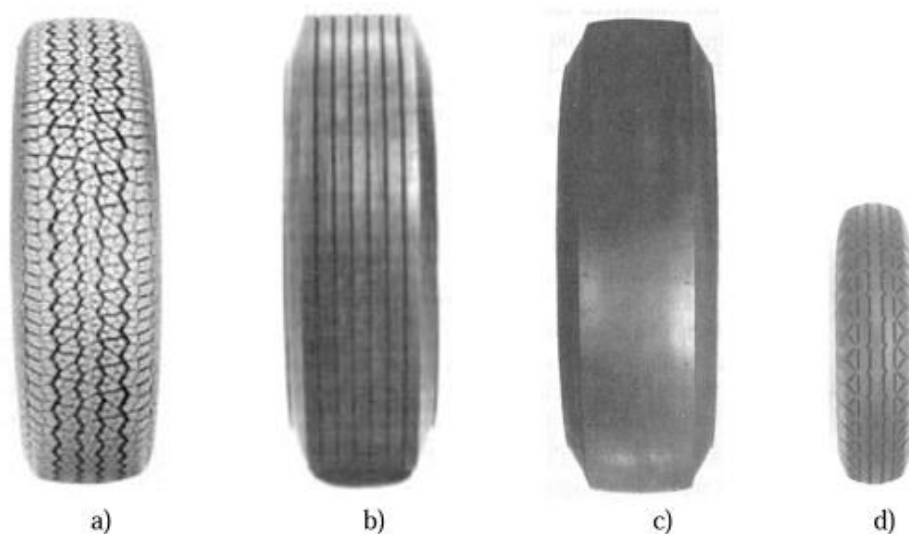
Vliv znečištění vozovky na adhezní podmínky závisí na míře a typu znečištění. Například, pokud se na komunikaci nachází směs jemného prachu a dojde k jeho navlhčení, vzniká velice kluzká směs bláta, která se svými adhezními vlastnostmi blíží charakteristice sněhu či ledu. Podobně nebezpečné může být větší množství písku, které se při pojíždění kolem vozidla volně přesouvá a není schopno vozidlu zajistit potřebné adhezní nároky. [4][9]

## **2.3.2 Faktory ovlivňující vlastnosti pneumatik**

### **2.3.2.1 Typ pneumatiky**

Míra adheze mezi povrchem vozovky a pneumatikou je dána mimo jiné plochou pneumatiky, která je v kontaktu s povrchem vozovky. Proto velice záleží na typu pneumatiky, která je použita, respektive na chemickém složení pryže běhounu a struktuře dezénu. Pro měření součinitele adheze se proto v současnosti používá několik standardizovaných typů pneumatik, pro dosažení co nejvyšší přesnosti měření, napříč měřícími zařízeními. Těmi nejtypičtějšími jsou pneumatiky typu ASTM, konkrétně hladká pneumatika ASTM E524 o průměru 703 mm, drážkovaná pneumatika ASTM E501 taktéž o průměru 703 mm a pneumatika ASTM E1136 se vzorkem. Často využívané jsou také pneumatiky ASTM E1844-96 o průměru

258 mm pro měření Griptestery, nebo Švédskem využívané vzorkované pneumatiky Trelleborg T49, o průměru 420 mm. [4][8]



Obrázek 7 - Standardy měřících pneumatik – a) ASTM E1136 b) ASTM E501 c) ASTM E524 d) T49  
(zdroj: [8])

### 2.3.2.2 Huštění pneumatiky

Způsob huštění pneumatiky je významným parametrem, který taktéž ovlivňuje výsledné adhezní podmínky mezi povrchem vozovky a pneumatikou. Tlak pneumatiky nesmí být příliš vysoký ani nízký a závisí na typu pneumatiky a jejím zatížení od vozidla. Při přehuštění pneumatiky dochází ke zmenšování kontaktní plochy směrem od okrajů, zatímco při podhuštění dochází ke zmenšování kontaktní plochy pneumatiky směrem od středu. Pro měření adhezních podmínek standardizovanými pneumatikami ASTM se nejčastěji hustí pneumatiky tlakem v rozmezí od 140 kPa do 350 kPa, dle použitého měřícího zařízení. [4][9][16]

### 2.3.2.3 Ojetí dezénu pneumatiky

Při sledování adhezních podmínek je důležité sledovat taktéž míru opotřebení povrchu dezénu pneumatiky, jelikož s postupným opotřebováním dezénu se také mění i výsledný součinitel adheze. Hladký povrch pneumatiky poskytuje na suchu největší možné adhezní podmínky, avšak při přechodu na mokrý povrch součinitel adheze výrazně klesá, proto je důležité zachování dostatečně vysokého dezénu pneumatiky, alespoň 1,6 mm u běžných silničních pneumatik, pro adekvátní schopnost odvodu vody z kontaktní plochy mezi pneumatikou a povrchem vozovky. Při měření adhezních podmínek je důležité sledovat, kromě hloubky dezénu,

také poloměr pneumatiky, zmenšený vlivem ojetí jejího povrchu. Poloměr pneumatiky by se neměl zmenšit o více než 2 % z původního poloměru, přičemž tato 2 % jsou přímo úměrná chybě v měření součinitele adheze. [4][9]

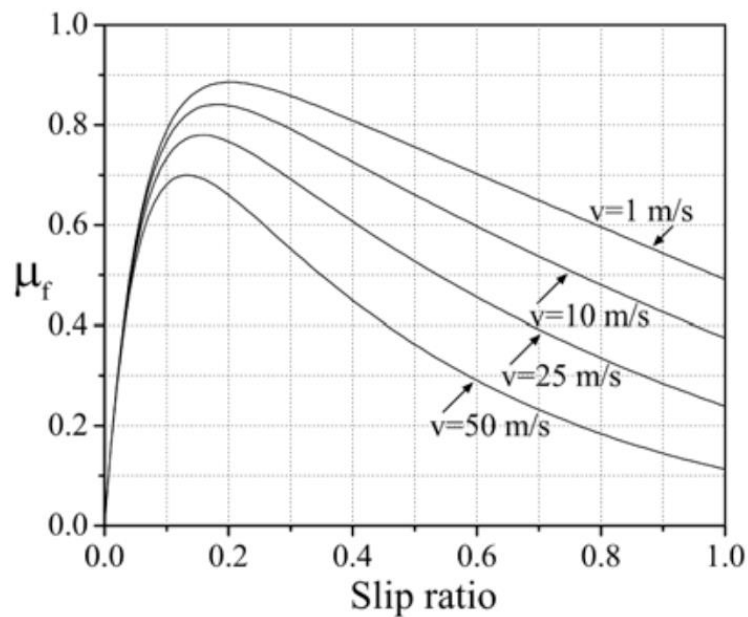
#### **2.3.2.4 Teplota**

Parametr teploty je přechodným faktorem, který ovlivňuje jak charakteristiku povrchu vozovky, tak vlastnosti pneumatiky. V případě povrchu vozovky je v současné době jako nejvýznamnější sledovaný faktor považováno roční období, tedy měsíc, kdy bylo prováděno měření dynamickým zařízením (viz. tabulka č. 2). V případě statického měření kyvadlovým přístrojem se pak sleduje přímo teplota povrchu vozovky, která je dále využita pro standardizaci výsledných hodnot PTV. Zásadní je ale také teplota pryžové pneumatiky, která značně mění její hysterezní schopnosti. S klesající teplotou pneumatiky klesá modul elasticity pryže a tím i její hysterezní schopnosti. Při pojíždění povrchu vozovky pneumatikou pak dochází k výrazně nižší deformaci pneumatiky než při vyšších teplotách, kdy naopak roste modul plasticity pneumatiky a s ním i hysterezní schopnosti. Toto chování pryžových pneumatik, v závislosti na teplotě je možné regulovat korekčním koeficientem pro sjednocení měřených hodnot při různých teplotních podmínkách. [4][7]

### **2.3.3 Faktory ovlivňující míru interakce pneumatiky s vozovkou**

#### **2.3.3.1 Rychlost**

Rychlost, kterou se pohybuje pneumatika po vozovce, vždy ovlivňuje míru interakce mezi nimi, a tedy i hodnotu součinitele adheze. Součinitel adheze na suché vozovce je závislý na rozdílu rychlosti jízdy vozidla a obvodové rychlosti pneumatiky, čímž je dána míra skluzu běhounu pneumatiky po povrchu vozovky. Na mokré vozovce součinitel adheze stanovit takovýmto způsobem nelze, a proto je stanovován na základě prováděných měření. S rostoucí rychlostí vždy klesá, avšak s různou strmostí, dle textury měřeného povrchu a výchozích adhezních podmínek. Součinitel adheze je nejčastěji stanovován právě na základě měření podélného tření částečně, či úplně zablokovaného kola, smýkaného po povrchu vozovky při určité rychlosti. Tuto rychlost je třeba dodržovat co nejpřesněji, k zamezení vzniku chyby v průběhu měření. Vliv míry smýkání měřícího kola po povrchu vozovky je znázorněn na obrázku č. 8. [4][9]

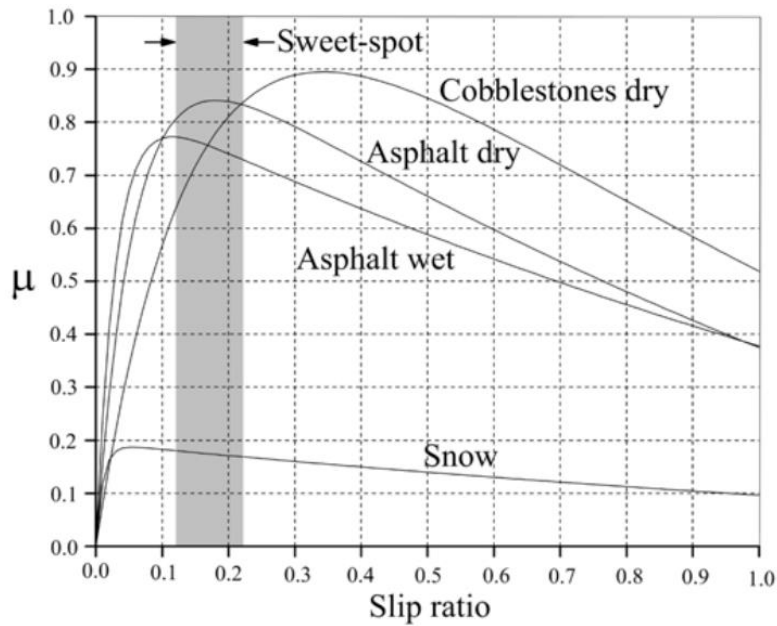


Obrázek 8 - Příklad závislosti charakteristiky součinitele adheze na skluzu, na suchém asfaltovém povrchu, v závislosti na rychlosti (zdroj: [17])

### 2.3.3.2 Skluz pneumatiky

Interakce mezi pneumatikou a povrchem vozovky je vždy ovlivněna mírou skluzu, čímž je ovlivněn také součinitel adheze. Jak již bylo obecně nastíněno v kontextu rychlosti, ke skluzu kola dochází v případě, že obvodová rychlost kola je značně menší než dopředná rychlost vozidla, tedy při brzdění. Naopak, k prokluzu dochází při akceleraci vozidla, kdy obvodová rychlost kola je vyšší než dopředná rychlost celého vozidla. [4][9]

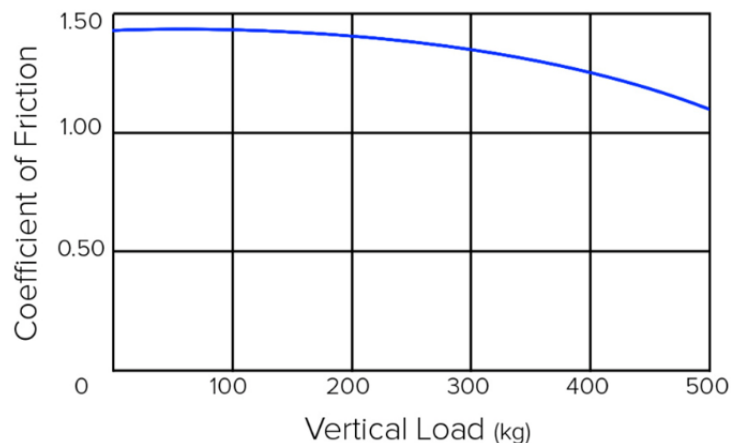
Pro měření adhezních podmínek je nutné přesné nastavení hodnoty skluzu měřícího kola po povrchu vozovky, aby nedocházelo k systémovému zkreslení výsledných hodnot součinitele adheze. Při plně zablokovaném kole, tedy ve 100 % skluzu – 100 % rozdíl mezi obvodovou rychlostí kola a rychlostí jízdy vozidla, je součinitel adheze nejnižší, zatímco maximální hodnota součinitele adheze se nachází při skluzu v rozmezí přibližně od 10 % do 30 % (tzv. sweet-spot, zobrazen v obrázku č. 9), v závislosti na konstrukci pneumatiky a případně konkrétního měřícího zařízení. V případě, že se pneumatika pohybuje po povrchu bez jakéhokoliv skluzu (či s minimálním), je součinitel adheze vždy větší než součinitel smykového tření při 100 % smýkání zablokovaného kola. Tato závislost na relativním skluzu kola je nazývána skluzovou charakteristikou. [4][9]



Obrázek 9 - Orientační charakteristiky součinitele adheze pro různé povrchy, při rychlosti 10 m/s a znázornění oblasti s maximální hodnotou adheze v oblasti tzv. sweet-spotu (zdroj: [18])

### 2.3.3.3 Zatížení kola

Zatížení pneumatiky od vozidla ovlivňuje výsledný součinitel adheze relativně mírně, avšak je velice úzce spjata s mírou skluzu kola. Obecně lze říci, že s rostoucí vertikální silou, kterou vozidlo zatěžuje pneumatiku, klesá součinitel adheze, ale zároveň roste přilnavost pneumatiky k vozovce. Při měření adhezních podmínek dynamickými zařízeními se používá zatížení v rozmezí od 1000 N do 3500 N, což přibližně odpovídá rozsahu zatížení jednotlivých kol běžného osobního automobilu. Zároveň při měření dochází ke krátkodobým změnám sil zatížení, vlivem nerovností a následného nadlehčení měřícího kola. Z tohoto důvodu je vhodné jednotlivá měření v daném úseku průměrovat, pro eliminaci takového zkreslení. [4][9][19]



Obrázek 10 - Vliv zatížení pneumatiky na součinitel adheze (zdroj: [19])



#### **2.3.3.4 Vodní film**

Přítomnost vodního filmu na povrchu vozovky významně ovlivňuje adhezní podmínky, tedy i součinitel adheze v závislosti na tloušťce vodního filmu a rychlosti vozidla. Tloušťka vodního filmu se popisuje dvěma způsoby, a sice jako výpočtová a vztažná tloušťka. Výpočtová tloušťka je směrodatným údajem jen v případě dokonale hladkého povrchu, bez textury a je stanovena podílem objemu vody a plochy vozovky. Vztažná tloušťka vodního filmu je charakterizována jako převýšení hladiny nad texturu povrchu vozovky a z toho důvodu může nabývat jak kladných, tak záporných hodnot. Samotná velikost součinitele adheze je ovlivněna množstvím vody na vozovce až od rychlosti přibližně 50 km/h, kdy pod běhounem pneumatiky vzniká vodní klín a svým působením, společně s tloušťkou vodního filmu a rychlostí, zmenšuje kontaktní plochu mezi pneumatikou a vozovkou až do míry, kdy dojde k úplné ztrátě kontaktní plochy a následnému aquaplaningu. K aquaplaningu tak může docházet při tloušťkách vodního filmu už od 2,5 mm – 10 mm, v závislosti na charakteru povrchu a rychlosti vozidla. Při měření adhezních podmínek je třeba pro zachování přesnosti měření dodržovat požadovanou tloušťku vodního filmu, která nejčastěji bývá předepsána na 0,5 až 1 mm. [4][9][16]

#### **2.4 Vliv mikro a makro textury**

Charakteristika povrchu vozovky má zcela zásadní vliv na adhezní podmínky a výslednou hodnotu součinitele adheze a je důležité ji měřit a upravovat pro dosažení optimálních vlastností povrchů vozovek, či vodorovného dopravního značení. Hrubost krytu vozovky lze definovat za pomoci textury stanovující morfologické uspořádání částic, které tvoří výsledný povrch vozovky, přičemž její charakteristika je zásadní zejména za mokra, pro zachování adhezních podmínek. Textura je dále dělena na čtyři základní kategorie, kterými jsou: mikrotextura, makrotextura, megatextura a nerovnosti. Vlnové délky těchto základních skupin jsou k nalezení v tabulce č. 3 níže. Mikrotextura definuje množství výstupků a jejich drsnost na jednotlivých zrnech kameniva krytu vozovky a svojí hrubostí zajišťuje funkci adhezních sil především při nízkých rychlostech, přibližně do 20 km/h. Naopak makrotextura je tvořena jednotlivými zrny a hrubostí samotného kameniva krytu vozovky a má významný vliv na kvalitu adhezních podmínek při vyšších rychlostech, stejně tak jako na drenážní schopnosti krytu při odvodu vodního filmu z povrchu vozovky. Z hlediska fyzikálního lze také říci, že mikrotextura přispívá

především k fungování adhezních sil, zatímco makrotextura a megatextura zajišťuje především fungování hysterezních sil. [4][7][9][16]

Tabulka 3 - Vlnové délky jednotlivých skupin textur povrchů vozovky (zdroj: [7])

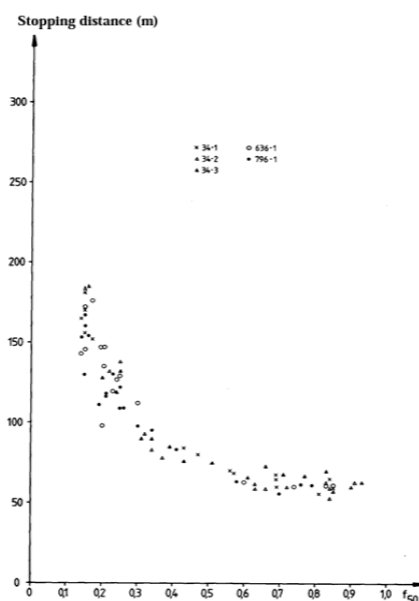
Texture	Wavelength (mm)
Microtexture	< 0.5
Macrotexture	0.5 - 50
Megatexture	50 - 500
Roughness	> 500

Povrch vozovky by v ideálním případě měl obsahovat vyvážené množství dostatečně hrubých zrn s adekvátní mikrotextrou, pro zajištění kvalitních adhezních podmínek, za společného působení. Pokud by povrch měl například pouze výraznou makrotexturu, bez jakékoliv mikrotextury (charakteristika oblázků), znamená to, že povrch bude za mokra kluzký nejen při nízkých rychlostech, kdy má mikrotextura největší vliv na adhezní podmínky, ale i při vysokých rychlostech, jelikož adhezní podmínky jsou vždy dány výchozími podmínkami a mají negativní korelaci s rostoucí rychlostí. Nadměrné zvyšování hrubosti, či drsnosti povrchu však již nevede k dalšímu zlepšování adhezních podmínek, ale pouze k zvýšenému opotřebení povrchu pneumatik a taktéž ke snížení životnosti povrchu vozovky, ať už zvýšenou obrusností jednotlivých zrn materiálu vozovky, či zanášením textury obrušovanými částicemi z pneumatik vozidel. [4][7][9][16]

## 2.5 Vliv adheze na bezpečnost na pozemních komunikacích

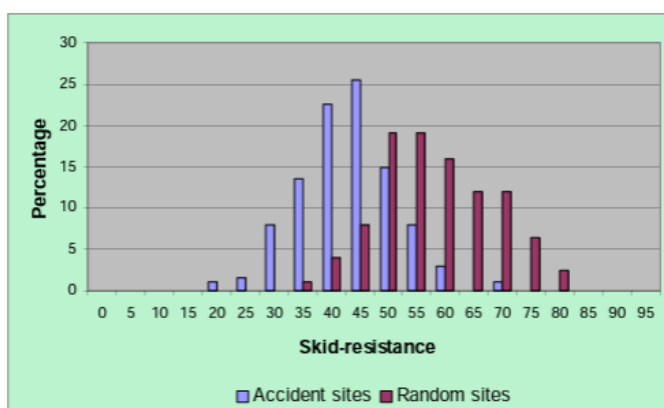
Adhezní podmínky mezi pneumatikou a povrchem vozovky jsou jedním ze zásadních faktorů, které ovlivňují bezpečnost na pozemních komunikacích. Obecně je pro zachování adekvátní úrovně bezpečnosti zapotřebí, aby řidiči přizpůsobovali styl jízdy na pozemních komunikacích, dle lokálních adhezních podmínek, a to především změnou rychlosti jízdy. Jedním z předpokladů pro odpovídající úpravu stylu jízdy je schopnost řidiče vnímat projevy vozovky pro orientační charakterizování povrchu, jako například hluk od povrchu vozovky, vibrace a vzhled povrchu. Často je ale tato schopnost vnímání projevů vozovky na poměrně nízké úrovni, což může být mimo jiné ovlivněno faktory jako je odhlučnění kabiny vozidla, či absorpce vlivů od povrchu komunikace, prostřednictvím moderních tlumičů podvozku.

Některé studie zabývající se měřením adhezních podmínek na různých površích uvádí jako zásadní domněnku, že pro zachování adekvátní úrovně bezpečnosti platí následující tvrzení: Pokud je délka brzdné dráhy na suché vozovce považována za indikátor bezpečné rychlosti, tak adekvátní přizpůsobení rychlosti zhoršeným adhezním podmínkám by mělo vyústit ke stejné délce brzdné dráhy jako na suché vozovce. Ve skutečnosti ale tento předpoklad není v praxi příliš využíván, jak potvrzuje měření, zabývající se přizpůsobením rychlosti dle podmínek, provedené Gudrun Öberg, ze Švédského národního institutu pro silniční a dopravní výzkum. Na základě tohoto měření bylo zjištěno, že na pozemní komunikaci s průměrnou rychlostí 85 až 95 km/h, která vykazuje za suchého stavu součinitel adheze 0,8, řidiči v zimních měsících, kdy je vozovka z větší části pokrytá ujetým sněhem a ledem, snižují rychlost pouze o 6 až 10 km/h. V tomto případě vozovka vykazuje součinitel adheze pouze 0,25 a brzdná dráha se prodlužuje (při reakční době řidiče 1 s) z původních 65 m (při 90 km/h) na suchém povrchu na téměř dvojnásobných 129 m (při snížení rychlosti na 80 km/h), na zledovatělém povrchu. Adekvátní snížení jízdní rychlosti, pro zachování původní délky brzdné dráhy, by přitom mělo být přibližně o 35 km/h. Komplexní zobrazení závislosti délky brzdné dráhy na součiniteli adheze je znázorněno na obrázku č. 11, ze kterého lze odvodit zvyšující se riziko vzniku dopravní nehody při snížených adhezních podmínkách povrchu, nedodržením bezpečné rychlosti, avšak není prokázána přímá úměra mezi těmito jevy z důvodu vlivu mnoha dalších faktorů. [8]



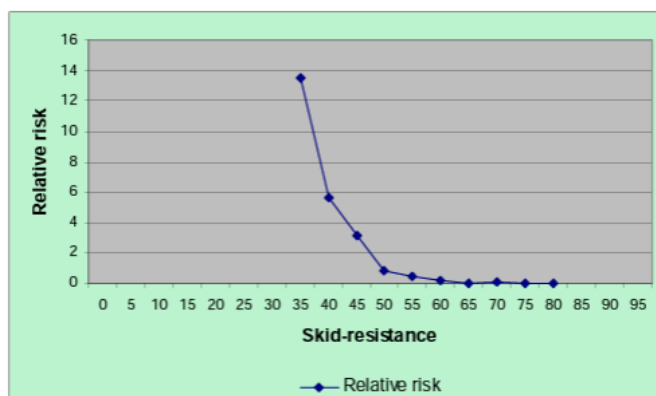
Obrázek 11 - Zobrazení délky brzdné dráhy na površích s různým součinitelem adheze, při jízdní rychlosti 90 km/h a reakční dobou řidiče 1 s (zdroj: [8])

Pro konkrétnější znázornění rizika vzniku dopravních nehod je možné uvést měření provedené kyvadlovým přístrojem SRT Londýnskou laboratoří Road Research Laboratory, srovnávající odolnost povrchů proti vzniku smyku (v mokrých podmínkách) v místě nehodových lokalit, se standardními lokalitami vybranými náhodně. Výsledkem tohoto měření je zobrazení procentuálního rozložení průměrné odolnosti povrchů vůči smyku (v obrázku č. 12), přičemž nehodové lokality vykazují průměrnou odolnost vůči smyku o hodnotě 45, zatímco náhodně vybrané standardní lokality vykazují odolnost vůči smyku až o hodnotě 60. [8]



Obrázek 12 - Procentuální rozložení odolnosti povrchů vůči smyku v nehodových a standardních lokalitách (zdroj: [8])

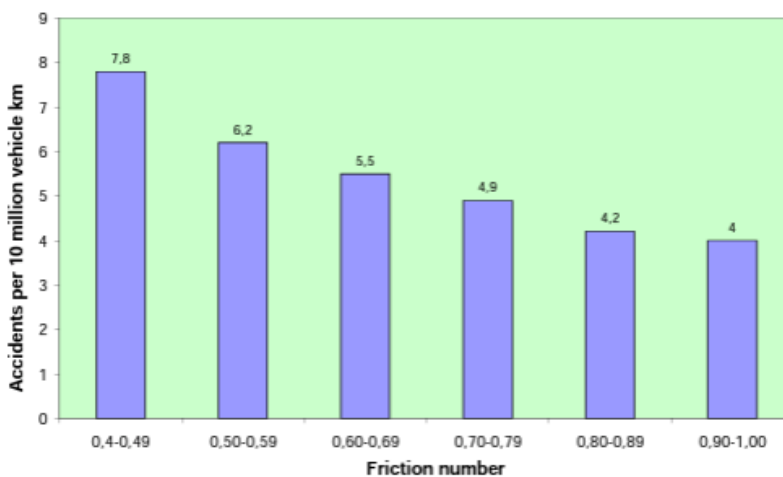
Z těchto hodnot lze následně odvodit zvyšující se pravděpodobnost vzniku dopravní nehody (relativní rizikovost) s klesající odolností povrchu vůči vzniku smyku, což znázorňuje obrázek č. 13, získaný na základě poměru procentuálního výsledku z nehodových lokalit pro každou hodnotu odolnosti povrchu vůči smyku k odpovídajícím hodnotám odolnosti povrchů vůči smyku v náhodně vybraných lokalitách. [8]



Obrázek 13 - Míra rizika vzniku dopravní nehody vztahovaná k odolnosti povrchu vůči smyku. (zdroj: [8])

Míra relativní rizikovosti je měřitelná přibližně od hodnoty odolnosti vůči vzniku smyku 65, přičemž od hodnot 50 až 55 se relativní rizikovost prudce zvyšuje. Výsledkem je fakt, že jakýkoliv výsledek nad hodnotou 60 udává poměrně bezpečný povrch, zatímco hodnoty pod 55 jsou přijatelné na komunikacích s nízkými intenzitami a hodnoty pod 45 indikují potenciálně kluzký, rizikový povrch, který je nevhodný pro jakékoliv intenzity, či geometrické uspořádání komunikace. [8]

Taktéž data získaná na základě reálných dopravních nehod, která byla zpracována skandinávským projektem TOVE, zabývající se dopravní bezpečností a vlastnostmi povrchu vozovek, potvrzují již zmíněnou tendenci, kdy s rostoucí hodnotou součinitele adheze klesá riziko vzniku dopravní nehody. Konkrétně v Dánsku byly tamním přístrojem pro měření součinitele adheze – Stratografem, naměřeny hodnoty součinitele adheze v nehodových lokalitách dvoupruhových asfaltových komunikací, přičemž se jednalo o dopravní nehody, jak s hmotnými škodami, tak se zraněním. Závislost počtu dopravních nehod vzhledem k součiniteli adheze je zobrazena na obrázku č. 14 níže. Na základě tohoto grafu lze říci, že v úseku se součinitelem adheze 0,40-0,49 je nehodovost téměř dvakrát vyšší než v úseku, kde součinitel dosahuje hodnot 0,90-1,00. [8]



Obrázek 14 - Vztah mezi počtem nehod a součinitelem adheze povrchu komunikace (zdroj:[8])

## 3 Vývoj metod a zařízení pro měření adheze na pozemních komunikacích

### 3.1 Klasické metody pro měření adheze

Počátek automobilismu sahá až do konce 19. století a množství automobilů celosvětově od té doby strmě roste. S tím souvisí jejich neustálý vývoj a modernizace ve všech směrech. Neméně potřeba je také přizpůsobení automobilové dopravní infrastruktury, kterou je potřeba modernizovat takovým způsobem, aby byla schopna uspokojit poptávku po přepravě, ale především, aby byla pro její uživatele co nejvíce bezpečná, a to ve všech ohledech. [2]

Jedním z mnoha zásadních faktorů pro bezpečnost pozemních komunikací všech kategorií je adheze, tedy přilnavost mezi pneumatikou vozidla a povrchem vozovky, jak již bylo zmíněno dříve. Posuzování protismykových vlastností vozovek lze provádět několika způsoby. Nepřímo lze stanovit kvalitu povrchu analýzou textury neznečištěného povrchu vozovky, zatímco přímé metody analýzy povrchu jsou založeny na měření velikosti tření mezi povrchem a měřícím zařízením. Nejrozšířenější a nejjednodušší metodou pro posouzení textury vozovky je tzv. odměrná (písková) metoda. Odměrná metoda slouží ke stanovení střední hloubky textury povrchu (MTD), jinými slovy, stanoví celkový objem prohlubní povrchu. Zkouška je prováděna za pomoci 25 cm<sup>3</sup> skleněných kuliček o velikosti 0,18 - 0,25 mm (dříve písku), které jsou vysypány na zkoumaný povrch, předem řádně očištěný drátěným kartáčem a smetáčkem. Skleněné kuličky jsou následně roztírány do plochy kruhového tvaru za pomoci pryžové stěrky, do té doby, než je celý objem materiálu zapracován do prohlubní vozovky a průměr kruhu se již neztvětšuje. Následně je změřen průměr kruhu alespoň na čtyřech místech a z průměru naměřených hodnot je následně vypočtena střední hloubka makrotextury (dle vzorce č. 4), jejíž hodnota je dále zařazena do jednoho z pěti klasifikačních stupňů dle ČSN EN 13036-1 pro odměrnou metodu (viz. tabulka č. 4). Touto metodou získaná úroveň kvality protismykových vlastností je částečně orientační, jelikož protismykové vlastnosti závisí také na charakteru mikrotextury kameniva daného povrchu, kterou tato metoda není z podstaty věci schopna zohlednit. Může se tak stát, že povrch s klasifikačním stupněm 3 (viz tabulka č. 4 níže) může mít teoreticky lepší protismykové vlastnosti (díky vhodné mikrotextuře), než povrch s klasifikačním stupněm 1, jehož mikrotextura je nevyhovující. [4][6]

$$MTD = \frac{4 * V}{p * D^2} \quad (4)$$

kde MTD je střední hloubka textury (mm);

[V] = objem materiálu (mm<sup>3</sup>)

[D] = aritmetický průměr změřených průměrů kruhové plochy vyplněné materiálem (mm)

Tabulka 4 -Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD  
(zdroj: [20])

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MTD	≥ 0,75	0,74 až 0,60	0,59 až 0,50	0,49 až 0,38	≤ 0,37

Ze skupiny metod přímého posuzování kvality povrchu měření tření je pravděpodobně nejstarší a nejjednodušší metodou měření pomocí kyvadlového přístroje SRT. Jeho sestavení zajistilo značný pokrok v měření protismykových vlastností povrchů již ve 40. letech 20. století, kdy byl v Británii tento přístroj sestaven (v originále nazýván Sigler Pendulum Tester nebo Portable Skid Resistance Tester), první zařízení pro měření adheze, prozatím pouze pro účely měření bezpečnostních kvalit podlah, v britských vládních budovách, proti uklouznutí. Toto kyvadlo sestrojil Percy Sigler okolo roku 1940 a přibližně o 10 let později bylo upraveno Britskou dopravní výzkumnou laboratoří pro komerční použití na silnicích, k měření protismykových vlastností, především v problematických směrových obloucích komunikací. Od roku 1970 do současnosti, je toto zařízení stále nejpřesnějším pro měření protiskluzových vlastností, byť nevýhodou této metody je lokální obraz o vlastnostech povrchu vozovky, což může být při nehomogenním charakteru povrchu zásadním nedostatkem. [1][2][4]



Obrázek 15 - Kyvadlový přístroj pro měření adheze (zdroj:[3])

Princip funkce kyvadlového zařízení je založen na Izodově zkoušce (rázové zkoušce), kdy rameno kyvadla se speciální pryžovou (odpruženou) botkou na jeho konci, je zdviženo do předem stanovené výšky a následně uvolněno. Pryžová botka následně naráží na předmětný podklad s mírným skluzem (podle druhu podkladu), přičemž tento pohyb imituje skluz patního podpatku. Závěrem se měří ztráta kinetické energie, která byla způsobena skluzem třecí patky po předmětném povrchu. Tato ztráta kinetické energie se následně projeví v délce kyvu na kalibrované stupnici kyvadlového zařízení. Následně je dle ČSN EN 13036-4 spočtena hodnota PTV z celkem pěti provedených kyvů, na základě stanovené rovnice č. 5 uvedené níže. Takto spočtené hodnoty se v praxi opravují na standardizovanou hodnotu odpovídající teplotě povrchu 20 °C. [1][4][21]

$$PTV = \frac{\sum(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5} \quad (5)$$

kde  $v_1$  až  $v_2$  jsou jednotlivé hodnoty každého kyvu;

nebo  $PTV = v_j$

kde  $v_j$  je konstantní hodnota dosažená po třech kyvech, pokud jsou počáteční hodnoty kyvů příliš odlišné

Tabulka 5 - Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV (zdroj: [20])

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
PTV	≥ 70	69 až 60	59 až 50	49 až 40	≤ 39

Další metodou pro měření protismykových vlastností je tzv. decelerometrie. Ta má své počátky v rozmezí let 1960 až 1970, kdy byla užívána především v USA, pro měření brzdných možností letadel. Decelerometr je zařízení, které zaznamenává brzdné zpomalení vozidla, jehož výsledkem je procentuální hodnota gravitačního zrychlení [%g]. Cílem těchto zařízení je zjišťování adhezních podmínek vzletové/přistávací dráhy (RCR), kdy typická hodnota maximálního brzdného zrychlení při suchých podmínkách je 7 m/s<sup>2</sup>, na mokřém povrchu 3,6 m/s<sup>2</sup> a na ledu pouhých 1,5 m/s<sup>2</sup>. Značnou problematikou této metody je však vypovídající hodnota výsledné hodnoty adheze, vzhledem k faktu, že se jedná pouze o průměrnou hodnotu z celého brzděného úseku, což značným způsobem zkresluje veškeré potenciální lokální vady protismykových vlastností povrchu. Další nevýhodou této metody je opakovatelnost měření a tedy i přesnost, jelikož průběh každého brzdění je mírně

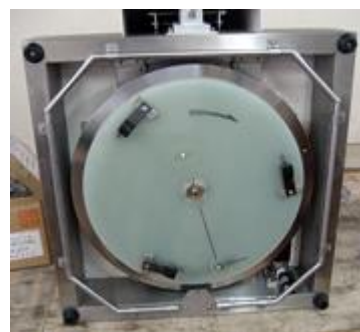


odlišný. Značným problémem je také dosažení vždy stejného stupně kropení vozovky, či teplotních podmínek před měřením decelerometrem. [4][7]

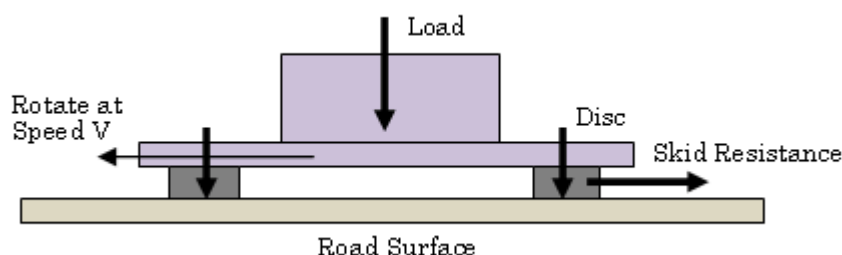
V období okolo roku 1970 se začala objevovat také první stacionárně-dynamická zařízení pro měření adheze. Princip funkce těchto stacionárně-dynamických měřičů adheze (DFT) je založen na tření tří pryžových botek, po zkoumaném povrchu, v kruhové dráze a za současného intenzivního kropení povrchu vodou. Rotace pryžových botek probíhá za předem stanovené rychlosti a definovaném zatížení, což má za následek, vlivem tangenciálních sil, určité zpomalování rotace tělesa s pryžovými botkami, v závislosti na charakteru povrchu. Výsledkem je pak spočtena adheze povrchu na základě velikosti tangenciálních sil a hmotnosti, která zatěžuje pryžové botky. Tato zařízení tak jako kyvadlová zařízení podávají obraz o charakteru povrchu pouze v lokálním místě, avšak jeho výhodou je možnost využití v laboratorních podmínkách, např. na vývrtech povrchů vozovek. [4][5]



Obrázek 16 - Dynamické zařízení pro měření adheze (zdroj: [5])



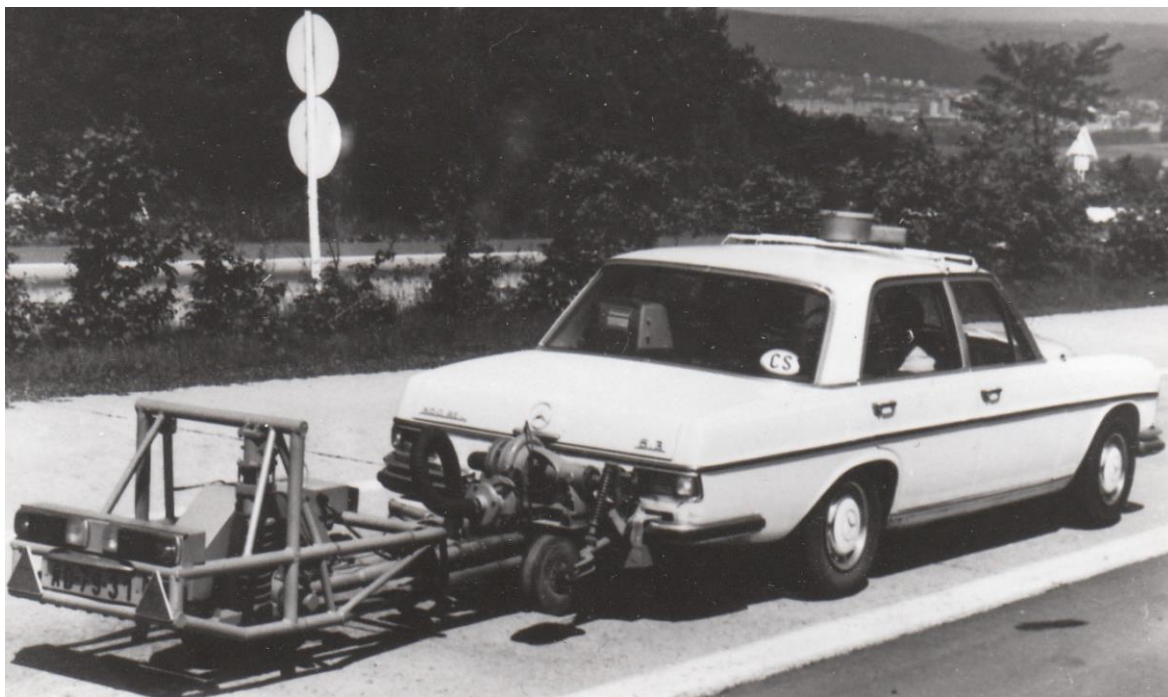
Obrázek 17 - Pryžové patky dynamického měřícího zařízení (zdroj: [5])



Obrázek 18 - Silové působení při měření dynamickým měřícím zařízením (zdroj: [5])

Nedostatky lokálního (bodového) měření byly vyřešeny až s příchodem prvních dynamických, resp. dynamometrických smykových zařízení, která simulují skutečný stav částečně brzděného, případně 100 % zablokovaného kola a stanovují tak součinitel podélného, případně bočního tření (v případě natočení měřícího kola

o daný úhel – nejčastěji 20°). Dynamometrická zařízení bývají nejčastěji provedena ve formě taženého přívěsu za vozidlem, ale mohou být i vestavěna do vozidla, a to v případě jednokolového provedení. Dynamometrické přívěsy mohou být taktéž ve dvoukolovém provedení, jejichž výhodou je pouze měření v obou jízdních stopách vozidla zároveň, ovšem za cenu dvojnásobné potřebné síly k tažení přívěsu. Dále bylo vyvinuto také tříkolové (pětikolové) provedení neboli skidometry, které mají na hlavní tříkolové nápravě krajní kola o větším průměru nežli střední méně zatížené měřící kolo. Tato tři kola jsou propojena kardanovými hřídeli, díky čemuž dochází ke smýkání středního měřícího kola (s danou mírou skluzu), při stejných úhlových rychlostech, z důvodu rozdílných obvodových rychlostí kol. Zbývá dvě kola skidometru tvoří hlavní nosnou nápravu. [4]



Obrázek 19 - Dynamometrický přívěs VÚD-2 tažený vozidlem Mercedes 300 SEL 6.3 (zdroj: [10])

Měření dynamickými smykovými zařízeními je prováděno zpravidla v jízdní stopě vozidla, při konstantní rychlosti, dle nejvyšší dovolené rychlosti komunikace. Například na komunikaci s dovolenou rychlostí 130 km/h je měření prováděno při rychlostech 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h a 120 km/h, zatímco na komunikaci s dovolenou rychlostí 50 km/h je měření prováděno při rychlostech 40 km/h, 50 km/h a 60 km/h. Měřící zařízení je nejčastěji vybaveno pneumatikou s hladkým běhounem, který neovlivňuje schopnost povrchu odvádět vodu ze stykové oblasti mezi pneumatikou a povrchem vozovky. Mohou být použity i jiné typy pneumatik,

v závislosti na konkrétních podmínkách, viz. obrázek č. 7. V průběhu měření je nutné kropit povrch vozovky v oblasti smýkaného kola předepsaným množstvím vody, nejčastěji 0,5 mm až 1,00 mm. Součinitel podélného, případně bočního tření, zjištěný dynamickým měřicím zařízením je stanoven na základě vztahu mezi podélnou (případně boční silou při daném odklonu od podélné osy měřicího zařízení) a svislou silou, tedy dle vztahu č. 6. [4][20]

$$\text{součinitel tření } f_p = \frac{\text{podélná (boční) síla v místě dotyku měřicího kola s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla působící v místě dotyku měřicího kola s vozovkou [N]}} \quad (6)$$

Získaný součinitel tření je dále vyrovnán na zvolenou měřicí rychlost dle technických specifikací měřicího zařízení, případně pokud není dáno výrobcem zařízení, pak vzorcem č. 7, stanoveným ČSN 73 6177. [20]

$$F'_p = a * e^{b*v} \quad (7)$$

kde  $F'_p$  je vyrovnaná hodnota součinitele tření;

$a, b$  jsou parametry exponenciální funkce;

$e = 2,718$ ;

$v$  je měřicí rychlost.

Takto vyrovnané hodnoty součinitele tření jsou následně přepočteny na referenční teplotu podle technické specifikace pro dané zařízení. Pokud tento přepočet není výrobcem definován, je pro naměřenou teplotu povrchu mokré vozovky ( $t_{vm}$ ) v rozmezí 0 °C až +30 °C použit vztah č. 8, stanoven taktéž ČSN 73 6177. Tímto postupem je získána nejnižší roční hodnota součinitele tření ( $F_p$ ). [20]

$$F_p = F'_p - \frac{0,004}{3} * (30 - t_{vm}) \quad (8)$$

kde

$F_p$  je nejnižší roční hodnota součinitele tření;

$F'_p$  je vyrovnaná hodnota součinitele tření;

$t_{vm}$  je teplota povrchu mokré vozovky v °C;

$v$  je měřicí rychlost.

Výsledné získané nejnižší roční hodnoty součinitele tření je možné zatřídit do klasifikačních stupňů, které jsou stanoveny na základě měření národním referenčním zařízením při poměru skluzu 25 %. [20]

Tabulka 6 - Hodnocení protismykových vlastností  $F_p$  dle klasifikačních stupňů v závislosti na rychlosti (zdroj: [20])

Měřicí rychlost [km/h]	Klasifikační stupeň				
	1	2	3	4	5
40	$F_p \geq 0,68$	0,67 až 0,59	0,58 až 0,50	0,49 až 0,41	$F_p \leq 0,40$
60	$F_p \geq 0,60$	0,59 až 0,52	0,51 až 0,44	0,43 až 0,36	$F_p \leq 0,35$
80	$F_p \geq 0,53$	0,52 až 0,46	0,45 až 0,39	0,38 až 0,32	$F_p \leq 0,31$
100	$F_p \geq 0,47$	0,46 až 0,41	0,40 až 0,35	0,34 až 0,29	$F_p \leq 0,28$
120	$F_p \geq 0,42$	0,41 až 0,37	0,36 až 0,32	0,31 až 0,27	$F_p \leq 0,26$

### 3.2 Moderní metody kontinuálního měření adheze

Na základě získaných znalostí výše uvedenými klasickými měřicími metodami, pro posuzování povrchů vozovek, bylo v průběhu času vyvinuto velké množství různých měřících zařízení, především těch pro stanovování součinitele tření kontinuálním měřením (CFME zařízeními), které je pro využití v praxi často vhodnější a značně rychlejší než dříve zmiňovaná klasická stacionární zařízení. V současnosti neexistuje jednotný přístup k měření součinitele adheze, a zároveň ani ke konkrétní specifikaci jednotlivých měřících zařízení. Proto velké množství států, případně společností zabývajících se posuzováním kvalit povrchů vyvíjí vlastní měřící zařízení, která se od sebe mnohdy liší, například konstrukcí, měřicí rychlostí, typem použité měřící pneumatiky, zatížením měřícího kola, tloušťkou potřebného vodního filmu, poměrem skluzu, úhlem skluzu a dalšími. [16][22][23]

Současná kontinuální měřící zařízení mohou být rozdělena do dvou charakterizujících skupin, specifikovaných na základě metody měření a dle poměru skluzu měřícího kola. [16][22][23]

#### Metody měření součinitele tření

měření součinitele podélného tření

měření součinitele bočního tření

pomalou se pohybující zařízení

#### Poměr skluzu měřících zařízení

s pevným poměrem skluzu

s proměnným poměrem skluzu

se 100 % poměrem skluzu –  
zablokované kolo

V případě měření součinitele podélného tření je smýkané měřící kolo umístěno rovnoběžně se směrem jízdy měřícího vozidla a je kontrolovaně mechanicky přibrzdované, tak aby docházelo ke skluzu v požadovaném poměru ke stanovené rychlosti jízdy v průběhu měření. Nejběžnější jsou pak zařízení pro měření součinitele podélného tření s pevným poměrem skluzu (nejčastěji v rozmezí od 15 % do 25 %, kdy lze obvykle dosáhnout maximální hodnoty součinitele podélného tření), která jsou nejvhodnější pro reálná měření v praxi a statistické účely, zatímco méně využívaná zařízení s proměnným poměrem skluzu jsou vhodnější spíše pro vědecké účely. Zařízení pro měření součinitele podélného tření mají obecně velký rozsah operačních rychlostí (40 až 140 km/h), díky čemuž jsou vhodná pro měření na komunikacích všech kategorií a rychlostí. [16][22][23]

Měření součinitele bočního tření je prováděno zařízením, které má smýkané měřící kolo pootočené o daný úhel (nejčastěji v rozmezí  $7,5^\circ$  až  $20^\circ$ , kdy lze obvykle dosáhnout maximální hodnoty součinitele bočního tření), z čehož vyplývá, že míra skluzu u těchto zařízení není ovlivňována mechanickým přibrzdováním, ale odklonem smýkaného kola, od osy jízdy vozidla, o požadovaný úhel, čímž je ovlivňován výsledný součinitel bočního tření. Tento úhel je nazýván úhlem prokluzu a při tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky vyvolává dostředivou sílu působící proti odstředivé síle samotného vozidla, při průjezdu obloukem. Zařízení měřící součinitel bočního tření jsou schopna měřit nejčastěji při rychlostech od 30 km/h do 90 km/h a jsou značně větší a nákladnější na provoz než zařízení pro měření součinitele podélného tření. Jejich výhodou je naopak schopnost měřit na dlouhých vzdálenostech, díky objemným nádržím na vodu. [16][22][23]

Poslední metodou měření součinitele tření je využití pomalu se pohybujících zařízení, která umožňují měření součinitele podélného tření při rychlosti chůze (přibližně 2 až 4 km/h). Díky své kompaktní konstrukci jsou nejvhodnější pro lokální měření relativně krátkých úseků a v obtížně dostupných lokalitách, kde nemůže být měření provedeno klasickými CFME zařízeními. Zařízení měřící součinitel tření při rychlosti chůze jsou také jednoduchá na provoz, údržbu a manipulaci a jsou sestrojena tak, aby mohla být tlačena po měřeném povrchu lidskou silou, na rozdíl od předešlých metod, kde jsou měřící zařízení nejčastěji tažena ve formě přívěsu za vozidlem. Pomalu se pohybující měřící zařízení jsou v současné době nejčastěji využívána pro vědecké účely, ale také k posuzování součinitele podélného tření na vodorovném značení letištních ploch a komunikací v praxi. [16][22]

Kontinuální měřicí zařízení lze charakterizovat také prostřednictvím nastavení poměru skluzu měřicího kola, který je stanoven jako podíl rychlosti skluzu a měřicí rychlosti (vztah č. 9), vypočten z údajů získaných ze snímačů rychlosti umístěných na měřicím zařízení a měřicím kole. Poměr skluzu je následně vyjádřen nejčastěji v procentech a může nabývat hodnot od 0 % do 100 %, přičemž 100 % poměr skluzu je roven plně zablokovanému měřicímu kolu. [16][20][22]

$$\text{poměr skluzu} = \left( \frac{\text{rychlost skluzu}}{\text{měřicí rychlost}} \right) * 100 [\%] \quad (9)$$

V současné době jsou nejrozšířenější kontinuální měřicí zařízení s pevným poměrem skluzu, kdy je měřicí kolo přibrzdováno pevně daným převodem vůči rychlosti vozidla. Nejčastěji bývá využívána hodnota poměru skluzu v rozmezí od 15 % do 25 %, kdy lze obvykle dosáhnout maximální hodnoty součinitele podélného tření. Tato zařízení jsou také nejčastěji využívána pro měření součinitele adheze v praxi, z důvodu nižší pravděpodobnosti vzniku systematické chyby, oproti zařízením s proměnným poměrem skluzu. Měřicí zařízení s proměnným poměrem skluzu jsou prozatím nejvíce využívána pro vědecké účely, především díky možnosti změny poměru skluzu mezi jednotlivými měřeními. Posledním typem zařízení jsou taková, která využívají 100 % poměr skluzu, tedy zcela zablokované kolo, jedná se tak v podstatě o zařízení s pevným poměrem skluzu. V následující tabulce č. 7 je vytvořen souhrn aktuálně nejrozšířenějších CFME zařízení v Evropě, včetně jejich základních charakteristik. [16][20][22]

Tabulka 7 - Výběr nejčastěji využívaných zařízení pro kontinuální měření součinitele tření  
(zdroj: [8][16][22][24][25][26][29])

Název měřicího zařízení	Náhled měřicího zařízení	Metoda měření	Charakteristické parametry	Typ měřicí pneumatiky a zatížení
ROAR DK		měření součinitele podélného tření	poměr skluzu: 20 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 60, 80 km/h krok měření: > 5 m	<b>pneumatika:</b> ASTM 1551 <b>zatížení:</b> 1200 N
Griptester		měření součinitele podélného tření	poměr skluzu: 15 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 5 – 100 km/h krok měření: 10 – 20 m a více	<b>pneumatika:</b> ASTM slick 254 mm <b>zatížení:</b> 250 N
Skidometr BV-8		měření součinitele podélného tření	poměr skluzu: 14 % nebo 100 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 40, 60, 80 km/h krok měření: 30 – 50 m	<b>pneumatika:</b> PIARC drážkovaná <b>zatížení:</b> 3500 N
Skidometr BV-11		měření součinitele podélného tření	poměr skluzu: 17 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 70 km/h krok měření: 1 m	<b>pneumatika:</b> Trelleborg T49 <b>zatížení:</b> 250 N
TRT		měření součinitele podélného tření	poměr skluzu: 25 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 40 – 140 km/h krok měření: 1 m a více	<b>pneumatika:</b> ASTM slick <b>zatížení:</b> 1000 N
Mu-Meter		měření součinitele bočního tření	úhel skluzu: 7,5 ° tloušťka vodního filmu: 1,0 mm měřicí rychlost: 65 – 95 km/h krok měření: --	<b>pneumatika:</b> ASTM slick <b>zatížení:</b> 1000 N
SCRIM		měření součinitele bočního tření	úhel skluzu: 20 ° tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 50 km/h krok měření: > 10 m	<b>pneumatika:</b> Avon SCRIM <b>zatížení:</b> 1960 N
SKM		měření součinitele bočního tření	úhel skluzu: 20 ° tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 50 km/h krok měření: 100 m a více	<b>pneumatika:</b> --- <b>zatížení:</b> 1960 N
T2GO Friction Tester		pomalou se pohybující zařízení	poměr skluzu: 20 % tloušťka vodního filmu: 0,5 mm měřicí rychlost: 2,5 – 4,0 km/h krok měření: ≥ 0,1 m	<b>pneumatika:</b> ASTM E1844 <b>zatížení:</b> 70 N
VTI Portable Friction Tester		pomalou se pohybující zařízení	poměr skluzu: 20 – 25 % tloušťka vodního filmu: měřicí rychlost: 2,5 – 4,0 km/h krok měření: 0,3 m	<b>pneumatika:</b> hladká 35 mm šířky <b>zatížení:</b> 130 N

### 3.3 Způsob zanesení dynamických měřících zařízení do normativních dokumentů

#### 3.3.1 Způsob zanesení v EU

Měření povrchových vlastností vozovek pozemních komunikací a letištních ploch je v zemích Evropské unie obecně definováno harmonizovanými normami EN 13036, v jednotlivých částech 1–8, přičemž měření součinitele tření dynamickými měřícími zařízeními je konkrétně definováno technickou specifikací CEN/TS 13036-2:2010. Tato technická specifikace se zabývá především obecným definováním postupu měření dynamickými měřícími zařízeními, stanovením jednotného indexu protismykových vlastností SRI a požadavky na kalibraci těchto měřících zařízení. Odkazuje se, mimo jiné, na technickou specifikaci CEN/TS 15901, která definuje konkrétní typy povolených měřících zařízení splňujících požadavky pro měření součinitele tření. [28][30]

Technická specifikace CEN/TS 13036-2:2010 je standardně, dle harmonizačních postupů dále přijímána do podoby odpovídající jednotlivým státům a získává tak kromě standardizovaného kódu také označení jednotlivých států. V případě České republiky se jedná o technickou specifikaci ČSN P CEN/TS 13036-2 (73 6177) z října roku 2010. [30]

Problematika týkající se měření součinitele tření dynamickými měřícími zařízeními je v rámci Evropské unie řešena jednotlivými státy s určitými odlišnostmi. Harmonizované Evropské normy jsou tak ve většině případů dále doplňovány lokálními navazujícími státními normami, které zpřesňují Evropské normy dle místních zvyklostí a specifických požadavků. V České republice je touto navazující normou ČSN 73 6177, která se mimo jiné věnuje právě dynamickým měřícím zařízením. Obsahem této normy je upřesnění zásad měření a výpočetních vztahů pro vyrovnání hodnot součinitele podélného tření na zvolenou měřící rychlost, či nejnižší roční hodnotu součinitele podélného tření. Zásadní součástí této normy je taktéž definice národního měřícího zařízení a měřícího zařízení s oprávněním, které má stanovené převodní vztahy pro přepočtení hodnot součinitele tření na úroveň národního referenčního zařízení, dle TP 207. Oprávnění zařízením k měření součinitele tření povrchu vozovek pozemních komunikací vydává Ministerstvo dopravy na základě Národního srovnávacího měření. [8][16][20]



### 3.3.2 Způsob zanesení v USA

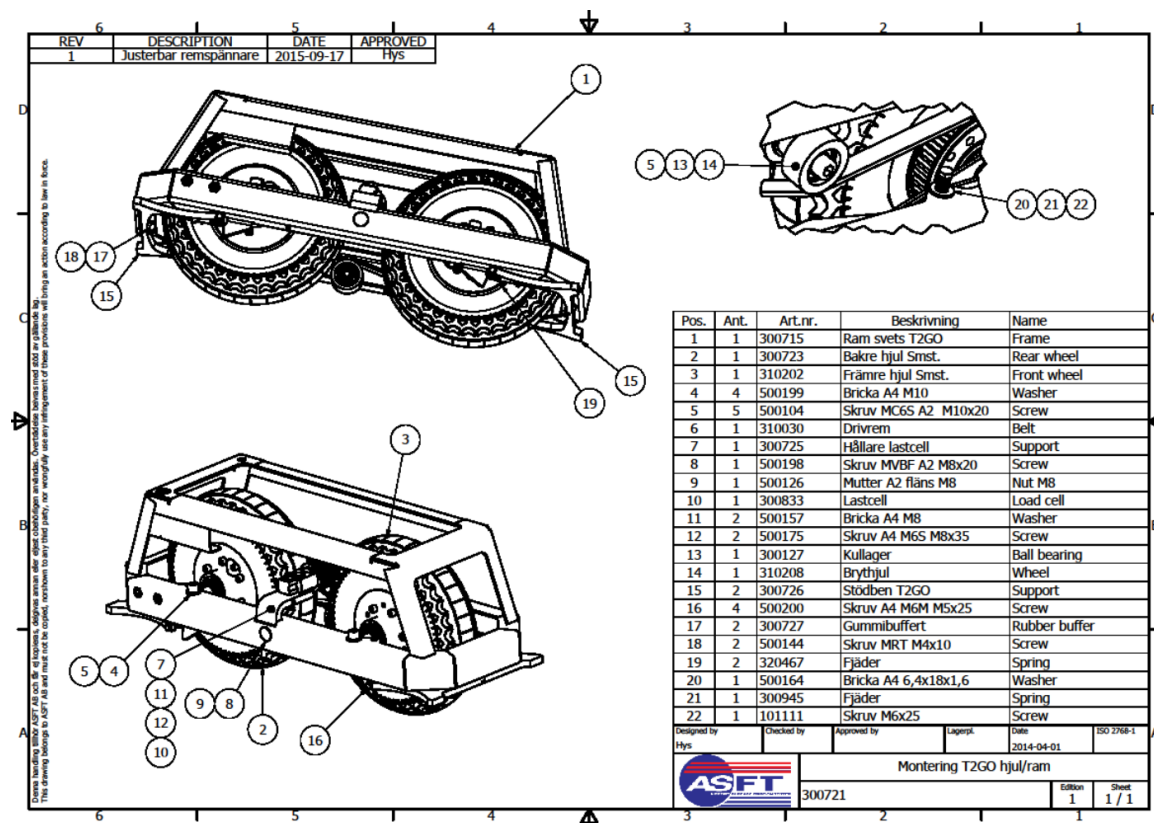
V USA je zanesení posuzování povrchových vlastností vozovek pozemních komunikací do normativního systému mírně odlišné od toho v Evropské unii. Jedná se o systém norem ASTM, které na sebe však číselnými označeními nenačítají, jak je tomu u norem v Evropské unii. V případě měření součinitele podélného tření dynamickými měřicími zařízeními je třeba zmínit několik nejzásadnějších norem, které stanovují například metody pro kalibraci zařízení, požadavky na specifikace měřících zařízení, či postup průběhu měření. ASTM normy pro měření součinitele podélného tření jsou vytvořené samostatně podle toho, zda se jedná o měření povrchových vlastností standardní automobilovou pneumatikou (ASTM E274/E274M-15), měření součinitele podélného tření zařízeními s proměnným poměrem skluzu (ASTM E1859/E1859M-11), či pro řešenou problematiku nejdůležitější, metodou měření součinitele podélného tření zařízeními s pevným poměrem skluzu (E2340/E2340M-11). [31][33][34][35]

Pro získání oprávnění pro měření součinitele tření však není zapotřebí zanesení typu měřícího zařízení do konkrétní technické specifikace, jak je tomu v Evropské unii, ale stačí pouze absolvování adekvátní kalibrace zařízení a získání korelačních přepočtů, vzhledem k referenčnímu systému (RFMS), schválenému ASTM. Výstupem je poté report o provedené kalibraci, konkrétního typu zařízení, na základě normy ASTM E2883-13. [32]

## 4 Skidometr T2GO

### 4.1 Popis zařízení a parametry

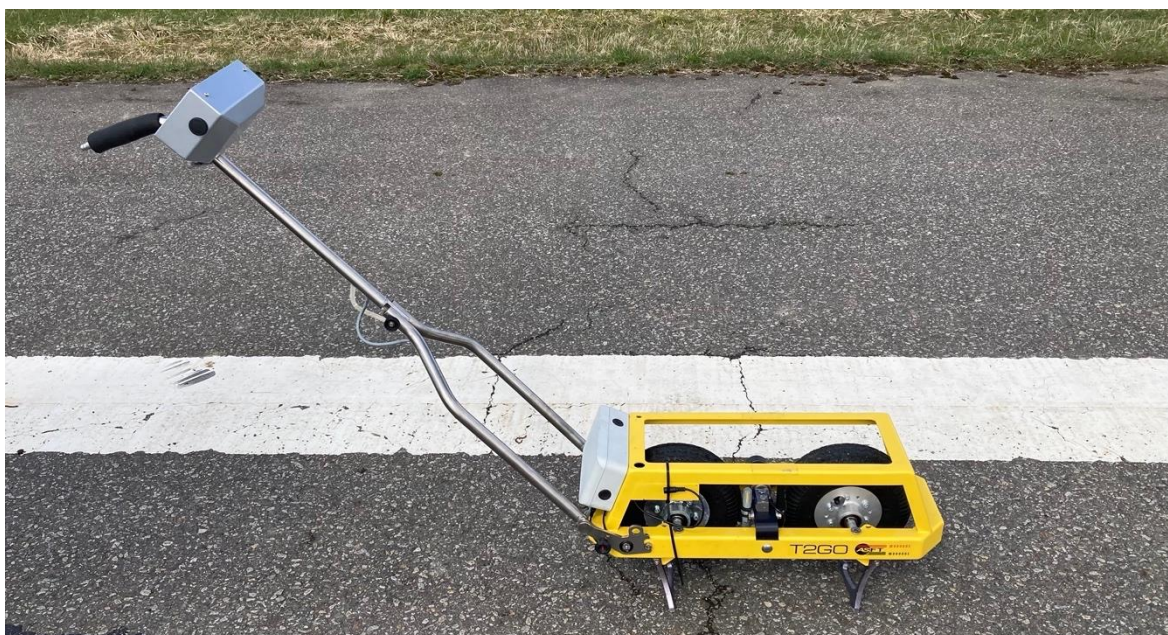
Skidometr T2GO je ručně tlačené, přenosné zařízení schopné kontinuálního měření součinitele podélného tření, s krokem záznamu minimálně 0,1 m a při rychlosti chůze, přibližně 2,5 – 4,0 km/h. Díky nízké provozní rychlosti není zapotřebí prostoru pro rozjezd zařízení na měřící rychlost a měření je možné spustit prakticky ihned po uvedení zařízení do pohybu. Proto je T2GO vhodné pro měření, mimo jiné, v místech s nedostatečným přístupem, či úrovní zajištění bezpečnosti, pro standardní dynamická zařízení měřící kontinuálně, při rychlosti jízdy více jak 20 km/h. Zařízení T2GO měří součinitel podélného tření s pevným poměrem skluzu 20 %, při zatížení měřícího kola silou 70 N a je schopno měřit jak na suchém, tak na mokřém povrchu, přičemž je vybaveno systémem kropení, který před měřící kolo na pojižděný povrch vstříkává množství vody tvořící vodní film o tloušťce 0,5 mm. [26][29]



Obrázek 20 - Technický výkres zařízení T2GO (zdroj:[26])

Skidometr T2GO je sestaven ze dvou základních částí, těla měřícího zařízení a operačního terminálu. Ten je umístěn na rukojeti zařízení, která současně slouží k zajištění přívodu vody, prostřednictvím operačního terminálu, hadicích z přenosné

nádrže o objemu 18 l (nesené měřícím technikem na zádech), do trysky před měřící kolo, v čele zařízení. Tělo zařízení je tvořeno nosným ocelovým šasi, v němž je usazena dvojice kol (s hladkými pneumatikami odpovídajícími standardu ASTM E1844) v řadě za sebou a jsou vybavena ozubenými koly s odlišnou velikostí, která jsou propojena klínovým řemenem a díky nimž je definován poměr skluzu mezi předním měřícím kolem a zadním pojížděným kolem. Při prováděném měření je klínový řemen mezi koly napínán, v závislosti na drsnosti povrchu, přičemž síla, kterou je řemen napínán, je měřena tenzometrem umístěným přibližně ve středu zařízení nad řemenem, mezi koly. Zařízení je současně vybaveno senzorem pro snímání otáček kola, na jejichž základě, v kombinaci s naměřenou působící silou od řemene, resp. od měřícího kola, je stanoven součinitel podélného tření. Skidometr T2GO je taktéž vybaven senzory pro měření teploty, vlhkosti a GPS modulem pro záznam polohy měřícího zařízení v počáteční a koncové poloze měřené linie. Celý systém měřícího zařízení je napájen 12 V Li-ion baterií s kapacitou 6600 mAh, umístěnou taktéž v těle zařízení. [26][29]



Obrázek 21 - Skidometr T2GO

Operační terminál na rukojeti skidometru slouží k základní obsluze, nastavení a kalibraci zařízení, spuštění a ukončení měření, či regulaci přívodu vody do zařízení z přenosné nádrže s integrovaným čerpadlem. Veškerá data získávána v průběhu měření jsou on-line přenášena prostřednictvím Bluetooth portu do tabletu, který je součástí příslušenství skidometru T2GO a je vybaven specializovanou aplikací T2GO.exe pro správu měřených dat, jako je jejich ukládání, zobrazení grafů měřeného

součinitele podélného tření v reálném čase, zobrazení rychlosti pohybu zařízení a zajištění dohledu nad vhodnou rychlostí měření, či úhlem sklonu rukojeti zařízení prostřednictvím varovných tónů. [26][29]

## 4.2 Kalibrace zařízení

Kalibraci měřícího zařízení je nutné provádět vždy při prvním měření v daný den, při přesunu zařízení do nové lokality, či dle potřeby měřícího technika. [26][29]

Pro kalibraci skidometru T2GO je nutné:

1. Umístit měřící zařízení na integrované vyklápěcí stojany.
2. Pomocí pumpičky s integrovaným barometrem, která je součástí příslušenství, zkontrolujeme tlak v pneumatikách a případně jej upravíme na požadovanou hodnotu 0,5 bar.
3. Pro kalibraci zatížení měřícího kola v menu na operačním terminálu zvolíme možnost CALIBRATE > CALIBRATE LOAD a následně otáčíme koly skidometru do té doby, než hodnota „raw“ na displeji dosáhne hodnoty přibližně 20 raw. Tím získáme výchozí hodnotu předepnutí řemene kol a po dosažení této hodnoty uzamkneme zadní kolo zasunutím kolíku, umístěného po straně zařízení, do nejbližšího otvoru kola a potvrdíme získanou hodnotu „raw“.
4. Dále do otvoru v zadním stojanu připevníme přiloženou digitální váhu pomocí šroubu a váhu zapneme. Nyní váha ukazuje zatížení 0,0 kg. Poté protáhneme popruh váhy pod koly zařízení a okolo předního kola směrem nahoru, kde popruh připevníme pomocí přiložené kovové tyčky ve tvaru „U“. Tu zasuneme kratší stranou do jednoho z otvorů v kole a přitáhneme ve směru dopředu, od volného konce pásu.
5. V dalším kroku napneme popruh váhy postupným utahováním matice šroubu umístěného v zadním stojanu zařízení tak, aby došlo k zatížení váhy 7,0 kg, respektive mírně více. Následně je třeba sledovat displej váhy a v momentě, kdy dojde k ustálení zobrazované hmotnosti na hodnotě 7,0 kg, potvrdíme kalibraci zatížení na displeji operačního terminálu skidometru.
6. Nyní je kalibrace zatížení kompletní, potvrdíme dokončení na displeji terminálu a zařízení se následně restartuje.
7. Pro potvrzení správnosti kalibrace lze provést ověření kalibrace (SELF CHECK) prostřednictvím možnosti CHECK LOAD, při kterém opět provedeme zatížení měřícího kola napnutím popruhu digitální váhy na 7,0 kg, stejně jako v procesu

kalibrace. Stejnou hodnotu by pak měl zobrazovat i displej operačního terminálu, s maximální odchylkou 0,2 kg. Pokud hodnoty na displeji terminálu souhlasí s hodnotami zobrazovanými na váze, kalibrace byla provedena správně a je možné kalibrační příslušenství odejmout.

8. Posledním krokem v kalibračním procesu je kalibrace měření vzdálenosti, kdy je nutné v prostoru odměřit linii o délce 10 m a v zařízení následně zvolíme opět kalibrační menu (CALIBRATE) a možnost kalibrace vzdálenosti (CALIBRATE DISTANCE). Následně provedeme průjezd zařízením po odměřené 10 m linii a potvrdíme kalibraci. Zařízení se následně restartuje s kalibrovanými hodnotami a je připraveno k použití. [26][29]



*Obrázek 22 – Kontrola tlaku pneumatik skidometru T2GO v průběhu kalibrace*

### **4.3 Problematika zanesení měřícího zařízení T2GO do norem**

V USA byla již v listopadu 2022 zveřejněna norma ASTM E3304-22, která definuje veškeré obecné parametry dynamických měřících zařízení, pro měření při rychlosti chůze, kterým je i skidometr T2GO. Součástí této normy je však také zmínka o absenci jakýchkoliv dalších norem, které by byly schopny stanovení korelace dynamických zařízení měřících při rychlosti chůze s dalšími metodami, které stanovují součinitel tření kontinuálním měřením. Existují však korelační měření, která srovnávají přesnost skidometru T2GO s jinými metodami, kterým se později věnuje kapitola 5.3 Dostupné korelace skidometru T2GO. [29][32]

Situace v ČR, případně v zemích EU, ohledně zanesení skidometru T2GO do norem je značně komplikovanější. V současné době je pro zanesení (resp. udělení oprávnění k měření součinitele tření povrchu vozovek pozemních komunikací) veškerých dynamických měřících zařízení do ČSN 73 6177 zapotřebí nejprve vytvoření technické specifikace (CEN/TS 15901:XX) konkrétního typu měřícího zařízení. Tím se z měřícího zařízení stává tzv. povolené měřící zařízení, s následnou nutností absolvování Národního srovnávacího měření, respektive Experimentu přesnosti zařízení pro měření povrchových vlastností a dalších parametrů vozovek pozemních komunikací (dále jen Experiment přesnosti zařízení), dle TP 207. Po vyhodnocení vhodnosti zařízení, vzhledem k národnímu referenčnímu zařízení, se z posuzovaného měřícího zařízení stává tzv. měřící zařízení s oprávněním. Komplikací českých i evropských norem je fakt, že zdejší normy neznají pojem dynamických měřících zařízení se schopností měření při rychlosti chůze a v současné době je kvůli tomu prakticky nemožné je zanést do stávajících norem. Už pro adekvátní absolvování Experimentu přesnosti zařízení, dle TP 207, musí být totiž dynamická zařízení schopna měřit při rychlostech 40, 60 a 80 km/h, což z podstaty konstrukce dynamických zařízení měřících při rychlosti chůze nelze. Další překážkou jsou požadavky na minimální délky referenčních povrchů, které musejí být, dle TP 207, o délce minimálně 122 m, včetně počátečních a koncových oblastí, přičemž součet skutečných délek všech referenčních měřených povrchů, při minimálním počtu 3 opakování měření dává 5040 m, což je pro měření ručním zařízením, které je zkonstruované na měření krátkých vzdáleností značně nevhodné. [20][27][28]

#### **4.4 Dostupné korelace skidometru T2GO**

Výrobce skidometru T2GO, společnost SARSYS-ASFT, sice pro toto zařízení v současné době uvádí určité korelace s jinými zařízeními, nicméně z podrobného prostudování těchto korelací vyplývá, že nesplňují obecné předpoklady pro komplexní stanovení korelace zařízení na území České republiky, které jsou stanoveny TP 207. Jednotlivé korelace jsou totiž provedeny ve většině případů pouze na jednom specifickém povrchu, případně na několika površích, které však nepokrývají celý rozsah klasifikační stupnice hodnotící součinitele tření a tak nejsou schopny adekvátního popisu chování tohoto zařízení na všech typech povrchů. [27]

První takovou korelací je srovnání provedené samotnou společností SARSYS-ASFT, které stanovuje korelaci mezi skidometrem T2GO a skidometrem T-5S (při rychlosti

65 km/h), taktéž vlastní výroby. Jedná se o srovnání pěti měření, v délce 100 m, provedené na mokrém i suchém povrchu, tvořeném blíže nespecifikovanou směsí. Výsledkem tohoto srovnání je stanovení korelace těchto dvou zařízení, která v případě měření na suchém povrchu dosahuje hodnoty 99,52 % a na mokrém povrchu 98,28 %. [39]

<b>Dry Measurements</b>	
<b>T2GO</b>	<b>T-5S</b>
0,84	0,83
0,83	0,84
0,86	0,84
0,85	0,85
0,85	0,85
<b>Average 0,846</b>	<b>Average 0,842</b>
<b>Wet Measurements</b>	
<b>T2GO</b>	<b>T-5S</b>
0,71	0,70
0,69	0,69
0,72	0,69
0,68	0,68
0,70	0,68
<b>Average 0,700</b>	<b>Average 0,688</b>

*Obrázek 23 - Korelace skidometru T2GO a skidometru T-5S provedená společností SARSYS-ASFT  
(zdroj: [39])*

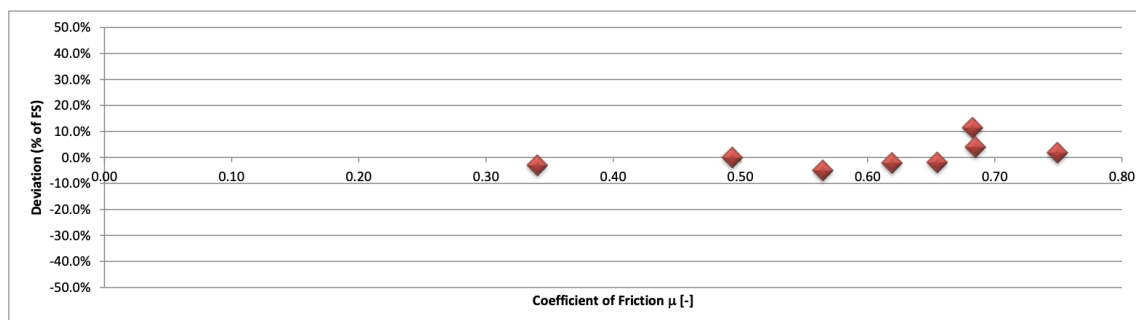
Další dostupnou korelací je srovnání měření (provedené Švédským národním institutem pro výzkum silnic a dopravy – VTI) skidometru T2GO a VTI PFT zařízení, uvedeného v tabulce č. 7 výše. V tomto případě se jedná o srovnání měření provedeného na deseti různých vzorcích mokrého vodorovného dopravního značení. Výsledky této korelace (v obrázku č. 24) stanovují přesnost skidometru T2GO výběrovou směrodatnou odchylkou stanovenou dvěma srovnávacími měřeními, o hodnotě 0,029, tedy menší, než je požadováno společností VTI (0,03). Dále je stanovena míra korelace právě se zmíněným VTI PFT zařízením, kdy odchylka od tohoto zařízení činí 0,05, tedy menší, než je maximální povolená hodnota stanovená VTI, 0,15. [40]

Objekt	$\mu_{\text{mobil, mätning 1}}$	$\mu_{\text{mobil, mätning 2}}$	$\mu_{\text{ver.}}$	Noggrannhet (PFT-enheter)	Precision (PFT-enheter)
3	0,74	0,73	0,76	0,01	0,01
4	0,52	0,50	0,66	0,14	0,01
8	0,59	0,60	0,65	0,06	0,01
9	0,66	0,62	0,69	0,03	0,04
10	0,63	0,64	0,65	0,02	0,01
11	0,67	0,72	0,67	0,00	0,05
12	0,73	0,71	0,67	0,06	0,02
14	0,48	0,50	0,39	0,09	0,02
15	0,67	0,73	0,69	0,02	0,06
16	0,70	0,63	0,66	0,04	0,07
<i>Medel</i>	<i>0,64</i>	<i>0,64</i>	<i>0,65</i>	<i>0,05</i>	<i>0,03*</i>

\*) Med tre decimaler är detta värde 0,029 och därmed klaras kravet på <0,03

Obrázek 24 - Korelace skidometru T2GO s VTI PFT zařízením (zdroj: [40])

V USA byla provedeno měření Pensylvánskou státní univerzitou, které srovnává získaná data ze skidometru T2GO vůči DFT (Dynamic Friction Tester) kalibrovanému zařízení (dle ASTM E 1911) na osmi různých površích, odpovídajících specifikaci a zásadám kalibrace CFME zařízení podle normy ASTM E2883-13. Výsledkem tohoto srovnání je graf (Obrázek č. 25) zobrazující odchylky měření T2GO od DFT zařízení na jednotlivých površích, kdy s výjimkou jednoho povrchu, jsou všechna měření v toleranci s odchylkou do 4 %. Taková korelace zajišťuje možnost použití konkrétního skidometru T2GO v rámci platnosti norem ASTM, přičemž musí být v plném rozsahu opakována každý rok, nebo při mechanické úpravě zařízení. [36]



Obrázek 25 - Výstupní graf z korelačního měření Pensylvánské státní univerzity stanovení odchylky T2GO od DFT (zdroj: [36])



## 5 Experiment srovnávacího měření se skidometrem T2GO

Experiment přesnosti měření kontinuálním měřícím zařízením skidometrem T2GO byl proveden v rámci akce Národního srovnávacího měření (organizovaném společností Ředitelství silnic a dálnic České republiky), 11. května 2022 (dne 17. října bylo provedeno návazné měření, již pouze skidometrem T2GO), kdy měřícímu týmu bylo umožněno měření zařízením T2GO na referenčních površích zřízených pro tyto účely na bývalém vojenském letišti Kámen (LKPV). Měření zařízením T2GO však bylo provedeno mimo oficiální průběh Národního srovnávacího měření, jelikož samotného Experimentu přesnosti zařízení se, dle TP 207, mohou zúčastnit pouze povolená měřící zařízení, která jsou zanesena v jednotlivých částech technické specifikace CEN/TS 15901. [27]

Cílem celého experimentu přesnosti se zařízením T2GO bylo zjištění opakovatelnosti, respektive přesnosti měření a zároveň stanovení míry korelace získaných dat nejen s národním referenčním zařízením, na několika měřených referenčních površích, s různou charakteristikou mikro a makro textury. Experiment si následně kladl za cíl prověřit možnosti praktického využití zařízení, s ohledem na typy posuzovaných ploch (komunikací) a zároveň ověřit možnosti zanesení měřícího zařízení T2GO do ČSN 73 6177, prostřednictvím CEN/TS 15901. [27][28]

### 5.1 Podmínky měření a referenční povrchy

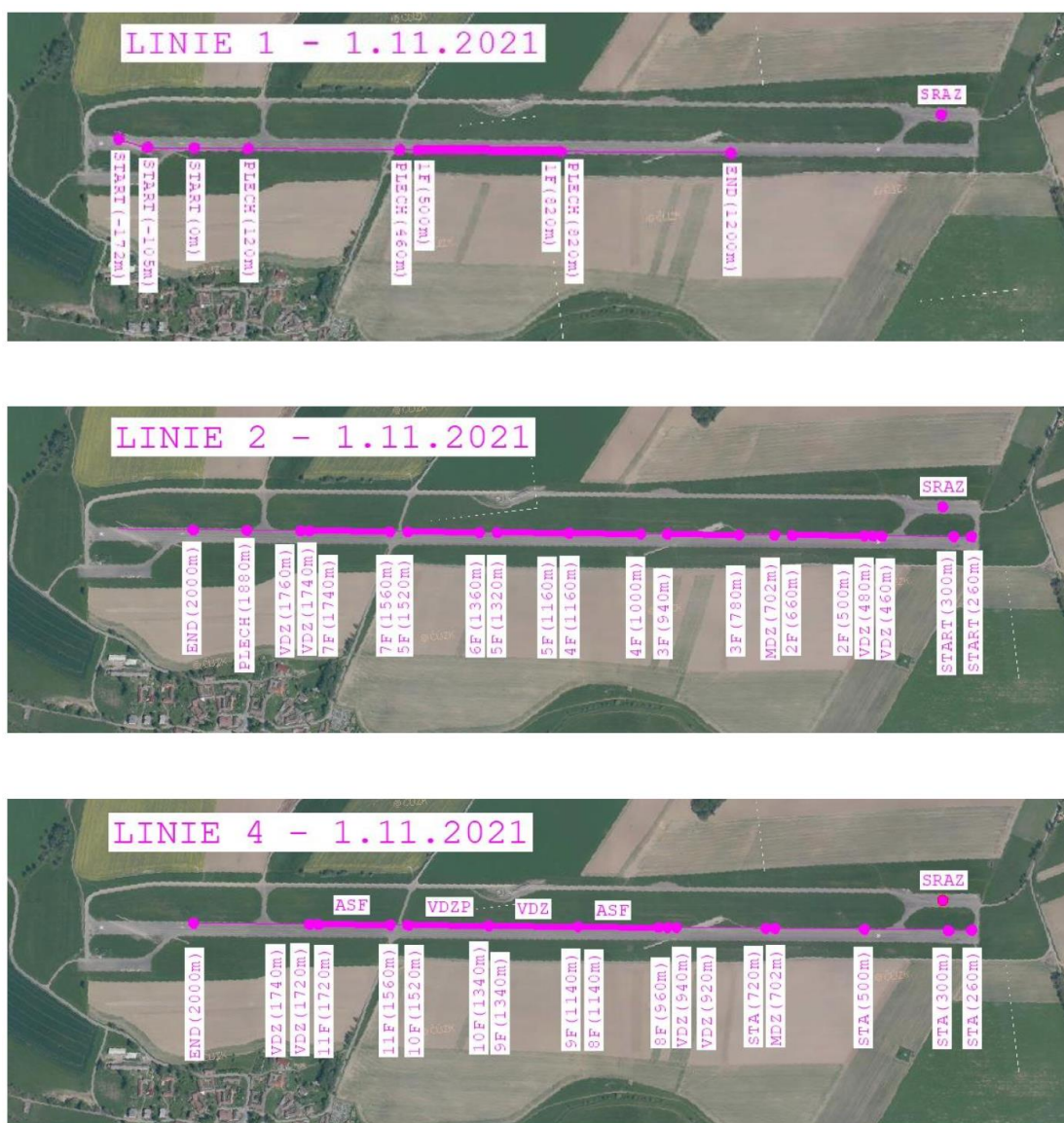
Samotný Experiment přesnosti zařízení, probíhající dle podmínek TP 207, kterého se zúčastnila standardní dynamická měřící zařízení, byl proveden v rozsahu 11 povrchů, které jsou rozmístěny na celkem 3 měřících liniích. Před začátkem měření všech vytyčených povrchů musela zúčastněná zařízení absolvovat organizátorem prováděnou kontrolu ujeté vzdálenosti na předem vytyčené dráze. Veškerá měření standardními dynamickými měřícími zařízeními byla provedena při rychlostech 40, 60, 80 a 100 km/h, při počtu 3 pokusů, pro každý povrch a danou rychlost. Zaznamenávaná data z měření (rychlost a součinitel tření) byla těmito zařízeními registrována s rozlišením 1 m a veškerá získaná data byla následně po měření zaslána, dle pokynů akce, organizátorovi měření ke zpracování. [27][37]

Měření v jarním termínu (11. května 2022) bylo provedeno přibližně v hodinách mezi 10:30 a 15:00, při slunečném počasí, kdy se teploty vzduchu pohybovaly

v rozmezí 25,5 °C – 28,0 °C, při vlhkosti 30 %–37 %. Teplota měřeného (již vodou kropeného) povrchu se v průběhu dne pohybovala v rozmezí 15,0° až 17,0°.

Podzimní návazné měření (17. října 2022) bylo provedeno za polojasného a větrného počasí, při teplotě vzduchu v rozmezí 11 °C –16 °C o vlhkosti mezi 60 % a 70 %. Teplota měřeného povrchu se pohybovala mezi 13,0 °C a 16,0 °C.

Veškeré hodnoty teplot povrchů, vzduchu a vlhkostí byly získány ze senzorů skidometru T2GO, na základě analýzy výstupních dat.








Obrázek 26 - Rozložení linií s referenčními povrchy na bývalém vojenském letišti Kámen (LKPV) (zdroj: [38])

Pro potřeby později zpracovávaného srovnání výsledků měření standardních dynamických zařízení se skidometrem T2GO, byla vybrána dvě zařízení, a to skidometr BV 11, společnosti Consultest s.r.o. a Národní referenční měřicí zařízení TRT.

Pro zajištění adekvátního průběhu měření byla na letištní plochu organizátorem měření umístěna mobilní cisterna jako zdroj pro doplňování kropicí vody jednotlivých zařízení v průběhu měření. Před začátkem samotného měření byly veškeré povrchy řádně očištěny tlakovou vodou dostatečně dlouho před začátkem měření, aby referenční povrchy dostatečně oschly a množství vody použité k čištění povrchů neovlivnilo tloušťku vodního filmu při samotném průběhu měření. [27]

Jak již bylo zmíněno, veškeré referenční povrchy se nacházejí v rámci plochy celkem 3 linií, které jsou realizovány na ploše bývalého vojenského letiště Kámen (LKPV). Plocha letiště, včetně části s referenčními povrchy, se nachází v mírném podélném sklonu ( $> 1^\circ$ ), který je však v ohledu přesnosti měření zanedbatelný, ale i tak byl jeho vliv na měření skidometrem T2GO později posuzován. Charakteristika jednotlivých povrchů odpovídá těm, které jsou v České republice standardně, nejčastěji, používané a pokrývají celý rozsah klasifikační stupnice hodnotící součinitel tření povrchů vozovek (tabulka č. 6), jak požaduje TP 207 pro provedení Experimentu přesnosti zařízení. Jedná se především o asfaltové povrchy, cementobetonové povrchy, různé typy vodorovného dopravního značení a bezpečnostní protismykové úpravy povrchu. [27][38]

Tabulka 8 – Tabulka referenčních povrchů letiště Kámen (zdroj: [38])

		
Asfaltový povrch L1 – 1F – 320 m	Cementobetonový povrch L2 – 2F – 160 m	VDZ L2 – 4F – 160 m
		
Vodorovné dopr. značení L2 – 5F – 160 m	Protismyková úprava L2 – 6F – 160 m	

S ohledem na technické možnosti skidometru T2GO bylo pro měření tímto zařízením vybráno pouze 5 povrchů, které svojí délkou a charakterem dostatečným způsobem reprezentují jednotlivé klasifikační stupně z celé škály klasifikační stupnice stanovené ČSN 73 6177. Konkrétně jsou jimi: asfaltový povrch L1-1F, cementobetonový povrch L2-2F, vodorovné dopravní značení L2-4F, vodorovné dopravní značení s posypem L2-5F a bezpečnostní protismykový povrch L2-6F. Všech 5 těchto povrchů se nachází na liniích č. 1 a 2 a jejich vzorové fotografie jsou zobrazeny v tabulce č. 8 výše. [20][38]

## 5.2 Zásady a průběh měření

Před začátkem měřících prací byla do skidometru umístěna a připojena Li-ion baterie a zařízení bylo přepínacím tlačítkem On/Off zapnuto. Dále byla provedena vizuální kontrola zařízení a jeho příslušenství s následnou kontrolou tlaku v pneumatikách a kalibrací zatížení měřícího kola, včetně kalibrace měření vzdálenosti, podle postupů dříve popsaných v kapitole 5.1.2. Následně byla do přenosné nádrže doplněna voda pro kropení měřeného povrchu, kterou je nutno v průběhu měření průběžně doplňovat, jak bylo zjištěno v průběhu měření, zpravidla každých 600 až 700 měřených metrů. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba vody je přibližně 3 l/100 m.

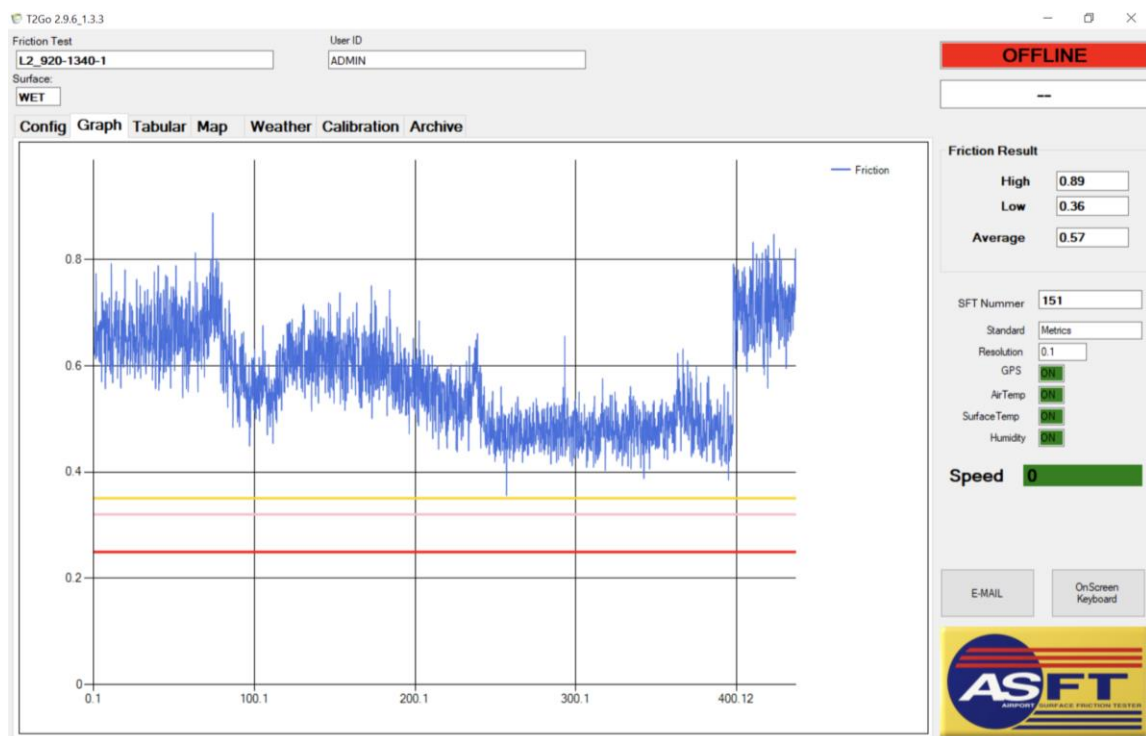


Obrázek 27 - Příprava skidometru T2GO před začátkem měřících prací

Na tabletu byla poté spuštěna aplikace T2GO.exe a po automatickém připojení skidometru k tabletu, prostřednictvím Bluetooth portu, byly v aplikaci nastaveny doplňující parametry měření. Nejprve byl vyplněn název měření (označení povrchu

a měřené linie, včetně staničení), dále bylo vybráno, zda se jedná o měření suchého, či mokrého povrchu, jako v našem případě a podle potřeby mohl být vyplněn i doplňující komentář s případnými detaily o povrchu, či specifických podmínkách měření. Připojený tablet s aktivní aplikací si musí vždy měřící technik nosit s sebou, jelikož se do něj v průběhu měření on-line přenášejí veškerá získávaná data a zároveň jej měřící technik může využít pro kontrolu správnosti měřených údajů. [26]

Pro start měření bylo nutné několik metrů před začátkem měřeného úseku uvést skidometr do pohybu odpovídajícímu rychlosti přibližně 2,5 km/h, současně tlačítkem CAN. spustit čerpání vody do trysky umístěné před předním kolem a v požadovaném bodě (začátku měřeného úseku) spustit měření tlačítkem OK. Od tohoto momentu se na displeji operačního terminálu zobrazovala ujetá vzdálenost od začátku měření a momentální součinitel tření. V konečném bodě měřeného úseku bylo pro ukončení měření nutné opět zmáčknout tlačítko OK na operačním terminálu a až poté zastavit zařízení a vypnout čerpání vody z nádrže. V průběhu měření bylo zapotřebí dbát na dodržování adekvátní rychlosti měření, v rozsahu 2,5 až 4 km/h, z důvodu zachování přesnosti měření a přenosu dat do tabletu, který by při vyšší rychlosti, a tedy i vyššímu toku dat, nemusel být spolehlivý. [26]



Obrázek 28 - Uživatelské prostřední aplikace T2GO.exe zobrazující on-line měřená data

V průběhu měření bylo třeba dbát také na úhel sklonu rukojeti skidometru, přičemž jak chybný úhel, tak rychlost měření mimo zmíněný interval je hlídána a za pomoci akustických signálů hlášena měřícímu technikovi. Na obrázku č. 28 výše je zobrazen výstřížek z aplikace T2GO.exe s prostředím průběhu měření, kde se na pravé straně zobrazují právě informace o měřící rychlosti, kterou zde měřící technik může kontrolovat, tak jako ostatní parametry, například maximální, minimální a průměrný součinitel tření, stav čidel snímajících teploty, vlhkost, či signál GPS. [26]

Při jarním testovacím měření bylo provedeno měření čtyř úseků na referenčních liniích, které zahrnují všech pět vybraných povrchů, přičemž úsek na linii L1 byl měřen dvakrát pro možnost ověření přesnosti. Dále byla provedena série šesti měření krátkého 45 m úseku, kombinujícího asfaltový a cementobetonový povrch, ve směrech po a proti staničení, pro stanovení přesnosti mezi jednotlivými měřeními skidometrem T2GO.



*Obrázek 29 - Průběh měření skidometrem T2GO*

V průběhu podzimního testovacího měření bylo provedeno měření již jen čtyř úseků na referenčních liniích, identických s těmi měřeními na jaře, pro porovnání hodnot součinitele tření v jarních a podzimních měsících.

Veškerá měření prováděná za účelem experimentu ověření přesnosti skidometru T2GO bylo provedena Bc. Adamem Hoffmannem za odborné pomoci Ing. Tomášem Kohoutem a Ing. Zdeňkem Svatým, Ph.D. Kompletní souhrn provedených měření se nachází v tabulce č. 9 pod tímto textem.

*Tabulka 9 - Tabulka veškerých měření provedených za účelem experimentu ověření přesnosti skidometru T2GO*

<b>Měření 11. května 2022</b>				
<b>linie</b>	<b>délka úseku [m]</b>	<b>složení povrchů</b>	<b>počet měření</b>	<b>Staničení [km]</b>
L1	400	1F	2	0,440 – 0,840
L2	280	2F	1	0,440 – 0,720
L2	420	4F + 5F	1	0,920 – 1,340
L2	200	6F	1	1,340 – 1,540
L2	45	asfalt + 2F	3	0,480 – 0,525
L2	45	2F + asfalt	3	0,525 – 0,480
<b>Měření 17. října 2022</b>				
L1	400	1F	1	0,440 – 0,840
L2	280	2F	1	0,440 – 0,720
L2	420	4F + 5F	1	0,920 – 1,340
L2	200	6F	1	1,340 – 1,540

### 5.3 Zpracování naměřených dat

Veškerá naměřená data skidometrem T2GO (s rozlišením měření 0,1 m) byla po dokončení měření vykopírována z adresáře, který je používán aplikací T2GO.exe a následně byla uložena do počítače pro následné úpravy vedoucí k vyhodnocení těchto dat. Měřená data je možné získat ve třech formátech, dle potřeby konkrétního použití. Prvním formátem, pro zpracování dat nejdůležitějším, je soubor \*.CSV, s veškerými surovými daty z měření ve sloupcích, se základními informacemi o podmínkách měření, délce měřeného úseku a nastavení čidel v průběhu měření. Měřená data lze také získat ve formátu \*.MEASURE, který je určen pro potřeby zpětného zobrazení měření v aplikaci T2GO.exe přímo v tabletu, či ve formátu \*.PDF, určeném především pro rychlou analýzu dat, který kromě surových dat obsahuje v úvodu dokumentu také podrobnější informace o předpovědi počasí, situační mapě provedeného měření a grafu průběhu měření.

Takto získaná data ve formátu \*.CSV byla následně převedena do formátu \*.xlsx a očištěna od chybných dat získaných s nevhodným úhlem sklonu držení rukojeti, či s rychlostí měření nevyhovující předepsané rychlosti v rozmezí 2,5 – 4 km/h. Jako způsob nahrazení chybných dat bylo zvoleno stanovení průměru hodnot nacházejících se před a za chybnou hodnotou, pro získání hodnoty nahrazující chybný údaj, přičemž množství chybných údajů v rámci jednoho měření, v nejhorším případě, dosahovalo 0,45 % velikosti měřeného vzorku.

Následně bylo ke staničení dat z měření skidometrem T2GO přičteno staničení referenčních povrchů umístěných na ploše letiště tak, aby staničení měřeného úseku odpovídalo staničení referenčních linií a dále byla data rozdělena na úseky dlouhé 20 m (dle standardního postupu stanoveného TP 207), pro možnost pozdějšího adekvátního porovnání dat s ostatními měřícími zařízeními. Pro takto vytvořené 20 m úseky byly stanoveny průměry součinitele tření (viz. tabulka č. 10), přičemž pro úsek L1 z jarního měření byly stanoveny také průměry ze dvou provedených měření, odchylky od průměru a maximální odchylky. Série opakovaných krátkých 45 m měření byla zpracována obdobným způsobem, nicméně staničení tří ze šesti měření muselo být směrově otočeno, z důvodu možnosti vzájemného srovnání všech šesti měření. Data na těchto krátkých liniích byla průměrována po úsecích dlouhých 3 m z důvodu zachování dostatečného rozlišení dat. Poté byly stanoveny odchylky od průměru měřeného součinitele tření a maximální odchylky všech šesti provedených měření. [27]

Tabulka 10 - Náhled zpracovávaných dat linie L2, již rozdělených na 20 m dlouhé úseky.

			0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
hranice začátku			1,339	1,360	1,381	1,402	1,423
hranice konce			1,360	1,381	1,402	1,423	1,444
součet Fp			134,14	161,50	160,17	165,15	168,70
AVG Fp			<b>0,71</b>	<b>0,82</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>
Distance	Friction	Distance					
m	fp	km					
0,105792118	0,73	1,3401	1	0	0	0	0
0,211584237	0,73	1,3402	1	0	0	0	0
0,317376355	0,76	1,3403	1	0	0	0	0
0,423168474	0,81	1,3404	1	0	0	0	0
0,528960592	0,76	1,3405	1	0	0	0	0
0,634752711	0,69	1,3406	1	0	0	0	0
0,740544829	0,68	1,3407	1	0	0	0	0

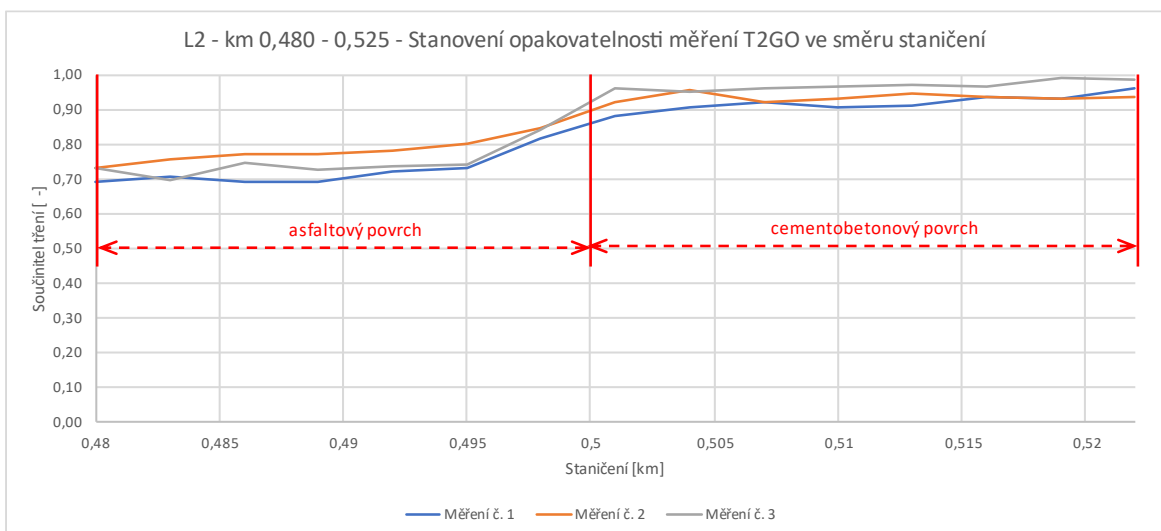


Data z porovnávaných zařízení skidometru BV-11 a zařízení TRT, která byla získána od ŘSD, organizátora Národního srovnávacího měření, byla již provozovatelem těchto zařízení očištěna od chybných vzorků a bylo tedy zapotřebí pouze adekvátně upravit staničení, tak aby odpovídalo referenčním liniím letiště Kámen, s následným rozdělením na 20 m dlouhé úseky, jak tomu bylo u zpracování dat ze skidometru T2GO. Pro každý měřený úsek stanoveny průměry měřeného součinitele tření, jelikož byly vždy zpracovávány dvě měření pro každý úsek a rychlost.

## 5.4 Vyhodnocení naměřených dat a interpretace výsledků

### 5.4.1 Vyhodnocení opakovatelnosti měření skidometrem T2GO

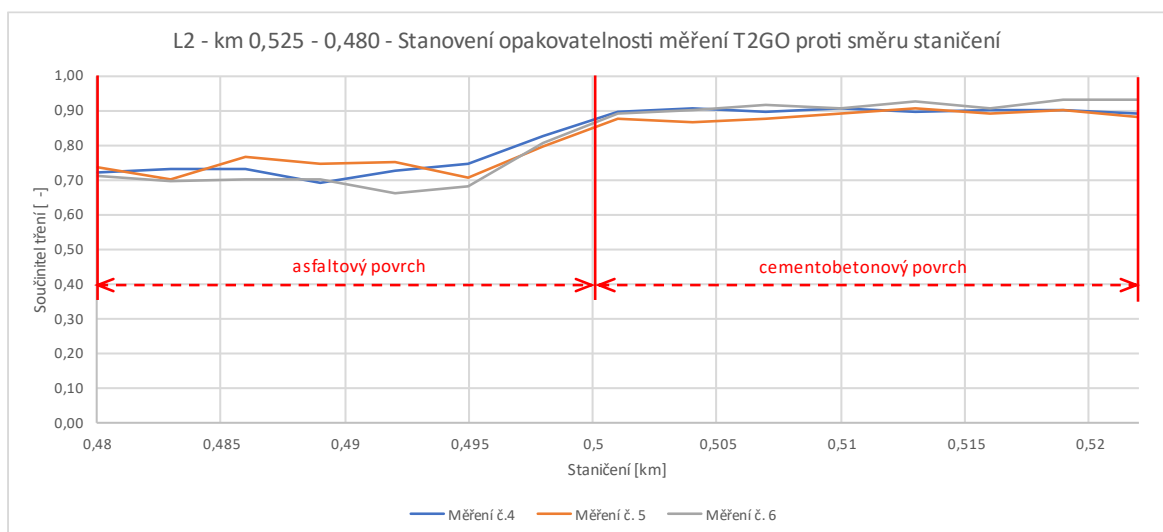
Prvním posuzovaným aspektem měření skidometru T2GO je míra přesnosti, respektive opakovatelnosti, s jakou je zařízení schopno měřit. Za tímto účelem bylo zpracováno šest měření o délce 45 m, na referenční linii L2, v km 0,480 – 0,525, v místě, kde dochází k přechodu mezi standardním asfaltovým povrchem (měřená dl. 20 m) a cementobetonovým povrchem (měřená dl. 25 m). Polovina těchto šesti měření byla provedena ve směru staničení a polovina proti směru staničení, za účelem posouzení vlivu sklonu měřeného povrchu (při měření ve stoupání nebo v klesání), který v daném úseku dosahoval hodnoty přibližně 1-2 °, přičemž prvních přibližně 10 m délky asfaltového povrchu se nacházelo v rovině.



Graf 1 - Stanovení opakovatelnosti měření skidometrem T2GO ve směru staničení

V grafu č. 1 je zpracováno zobrazení tří opakovaných měření provedených ve směru staničení, na linii L2, s pozorovatelným přechodem mezi dvěma měřenými povrchy.

Na základě dat zobrazených měření byla stanovena výběrová směrodatná odchylka těchto tří měření, která po zaokrouhlení dosahuje hodnoty 0,030.



Graf 2 - Stanovení opakovatelnosti měření proti směru staničení skidometrem T2GO

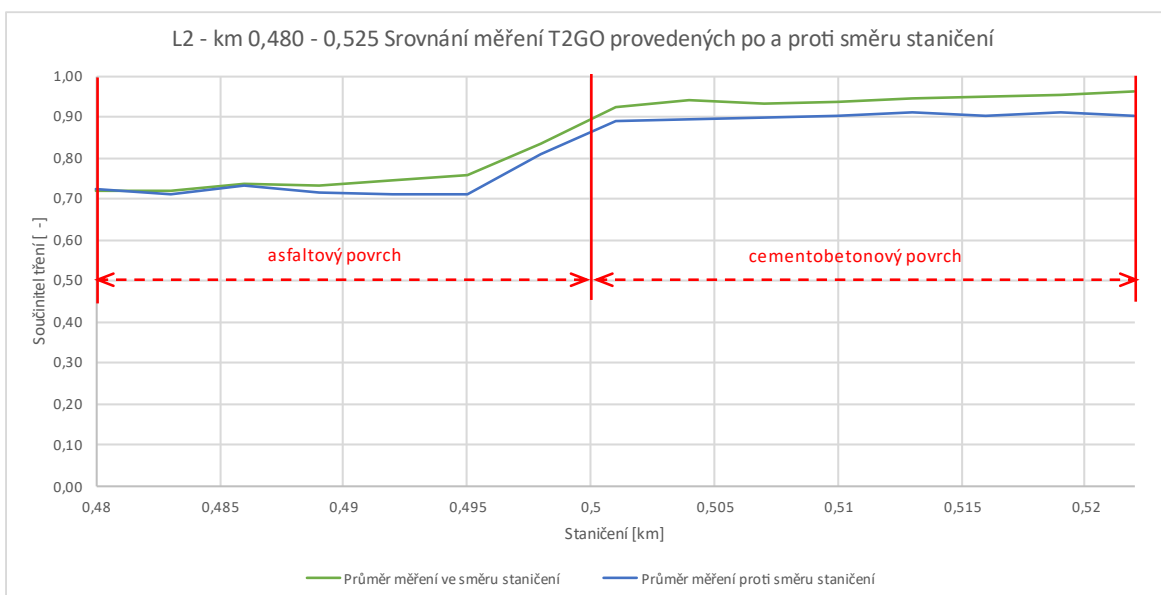
Taktěž pro tři měření provedená proti směru staničení (graf č. 2), na linii L2, byla stanovena výběrová směrodatná odchylka, která po zaokrouhlení dosahuje hodnoty 0,021. Z uvedených hodnot výběrových směrodatných odchylek pro opakovaná měření tedy vyplývá, že při opakování měření na stejném povrchu skidometr T2GO splňuje požadavky technických podmínek TP 207 na přesnost měření, požadující velikost výběrové směrodatné odchylky menší nebo rovnu hodnotě 0,03. [27]

Tabulka 11 - Souhrn průměrných hodnot měření skidometrem T2GO na linii L2, v délce 45 m

č. měření	směr jízdy vzhledem ke staničení	$\varnothing F_p$ úseku	$\varnothing F_p$ pro daný směr
Měření č. 1	ve směru	0,83	0,85
Měření č. 2	ve směru	0,86	
Měření č. 3	ve směru	0,87	
Měření č. 4	proti směru	0,83	0,82
Měření č. 5	proti směru	0,82	
Měření č. 6	proti směru	0,82	

Dále bylo vytvořeno vzájemné srovnání průměrných hodnot každých tří měření ve směru a proti směru staničení, tedy v klesání a ve stoupání. Jak může být vidět z grafu č. 3, v úseku, kde se povrch nacházel v relativní rovině (km 0,480 – 0,490), mají měření téměř identický průběh. Ve zbylé délce úseku se však průběh hodnot mezi měřeními ve směru a proti směru staničení mírně oddaluje. Při měření úseku ve směru staničení, tedy v klesání, jsou naměřené hodnoty mírně vyšší, což může být

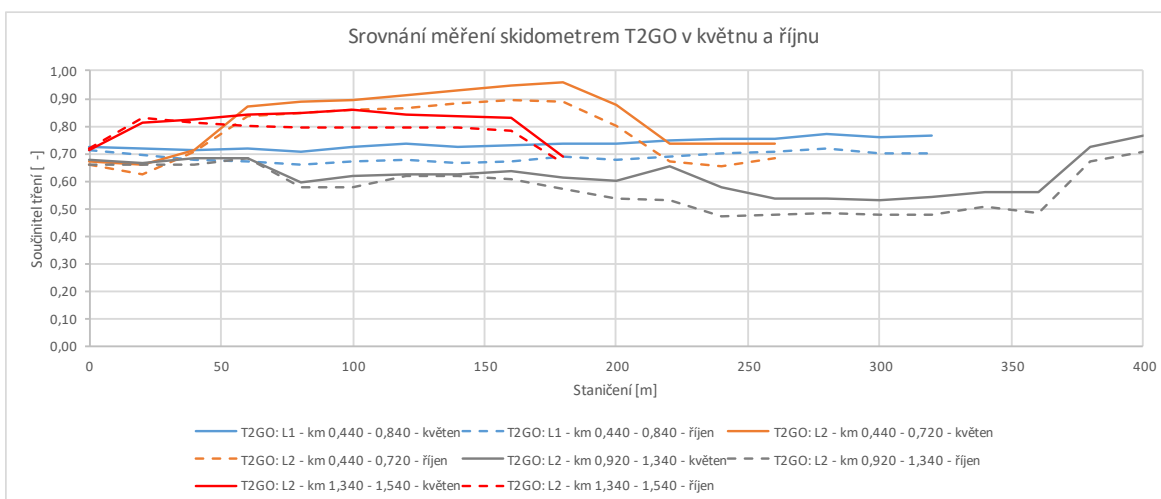
způsobeno zvýšeným zatížením předního měřicího kola vlivem setrvačnosti skidometru při jízdě v klesání. Naopak naměřené hodnoty jízdou proti směru staničení jsou vůči prvnímu případu mírně nižší, a to vlivem odlehčení předního měřicího kola tlačím skidometru ve stoupání. Rozdíl mezi průměry měření v klesání a ve stoupání je však i přesto minimální a dosahuje hodnot maximálně 0,04, jak může být vidět v tabulce č. 11, přičemž výběrová směrodatná odchylka mezi těmito dvěma způsoby měření je 0,015, a tedy taktéž splňuje požadavky TP 207. Můžeme tedy říci, že vliv sklonu měřeného povrchu na měření skidometrem T2GO existuje, avšak je pouze minimální. [27]



Graf 3 - Srovnání přesnosti měření provedených ve směru a proti směru staničení skidometrem T2GO

#### 5.4.2 Vyhodnocení vlivu teplot a ročního období na měření skidometrem T2GO

Vzhledem k faktu, že měření skidometrem T2GO byla provedena ve dvou různých ročních obdobích, a tedy i při různých teplotách vzduchu a povrchu, může být posouzen i vliv těchto faktorů na výsledné hodnoty měření skidometru T2GO.



Graf 4 - Srovnání měření skidometrem T2GO v květnu a říjnu

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly zabývající se podmínkami měření a referenčními povrchy, květnové měření bylo provedeno při teplotách vzduchu 25 °C až 28 °C, zatímco říjnové měření při teplotách vzduchu pouze 11 °C až 16 °C. Teploty měřených povrchů byly však při obou měřeních velice podobné, a sice v květnu v rozmezí 15 °C až 17 °C a v říjnu 13 °C až 16 °C.

Tabulka 12 - Souhrn rozdílů měření součinitele tření skidometrem T2GO mezi měřeními v květnu a říjnu

referenční linie	měření květen [ $\varnothing F_p$ ]	měření říjen [ $\varnothing F_p$ ]	rozdíl [ $F_p$ ]
L1 km 0,440 - 0,840	0,73	0,68	0,05
L2 km 0,440 - 0,720	0,82	0,78	0,05
L2 km 0,920 - 1,340	0,62	0,57	0,05
L2 km 1,340 - 1,540	0,81	0,78	0,03

Rozdíly stanovených průměrných hodnot součinitele tření měřených linií v květnu a říjnu jsou uvedeny v tabulce č. 12 výše. Z dat této tabulky je patrné, že hodnoty součinitele tření naměřené v květnu jsou mírně vyšší než hodnoty naměřené v říjnu, přičemž rozdíl mezi těmito dvěma měřeními je téměř konstantní, tedy, ve většině případů, o velikosti 0,05. Téměř konstantní rozdíl může být pozorován i v samotných průbězích jednotlivých měření, zobrazených v grafu č. 4. Takto velké rozdíly v průběhu měření jsou pro potřeby posuzování vlastností povrchů téměř zanedbatelné, avšak je třeba je sledovat, znát důvod jejich výskytu a případně pro standardizaci výsledků, při reálných měřeních, je přepočítat do adekvátní teplotní hladiny, například dle postupů daných ČSN 73 6177. Pro zařízení typu T2GO takové přepočty však v rámci českých norem nejsou k dispozici.

V tomto případě, vzhledem k relativně podobnému rozsahu teplot povrchů při obou termínech měření, může být rozdíl naměřených hodnot součinitele tření nejpravděpodobněji způsoben rozdílem teplot vzduchu a především slunečním svitem, který v květnovém termínu vedl ke zdánlivému změkčení pryžové směsi měřící pneumatiky, která se tak stala vzhledem k měřenému povrchu přilnavější.

#### **5.4.3 Stanovení míry korelace skidometru T2GO se standardními dynamickými měřícími zařízeními**

Hlavním posuzovaným aspektem v charakteristice měření skidometru T2GO je míra korelace jeho měření se standardně využívanými dynamickými měřícími zařízeními v České republice, konkrétně vzhledem k Národnímu referenčnímu zařízení TRT a skidometru BV 11, ke kterým budou pro potřeby následujícího srovnání vztaženy naměřené hodnoty součinitele tření skidometrem T2GO na pěti referenčních površích. Hodnoty součinitele tření získané standardními dynamickými měřícími zařízeními byly měřeny při rychlostech 40, 60 a 80 km/h.

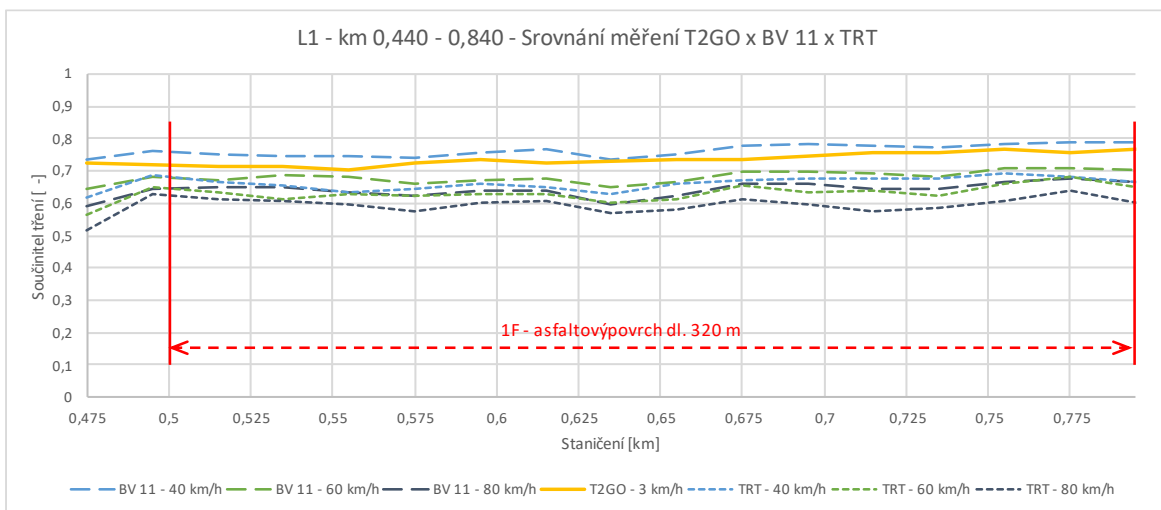
##### **5.4.3.1 Asfaltový povrch 1F**

Prvním měřeným povrchem je asfaltový povrch 1F nacházející se na referenční linii L1, v km 0,500 – 0,820. Povrch je charakteristický svoji výraznou makrotexturou, danou především hrubostí kameniva použitého v asfaltové směsi krytu povrchu, která se pohybuje v rozmezí přibližně 4–15 mm. Použité kamenivo má taktéž relativně výraznou mikrotexturu a značně vyčnívá z povrchu směsi asfaltového pojiva.



*Obrázek 30 - Charakteristický snímek asfaltového povrchu 1F*

Jak může být vidět v grafu č. 5, hodnoty součinitele tření naměřené na tomto povrchu jsou si navzájem, napříč všemi třemi zařízeními, relativně blízké a přibližně odpovídají charakteru povrchu. Z podstaty vlivu rychlosti na velikost součinitele tření je taktéž pozorovatelné pravidelně odstupňované snížení velikosti naměřeného součinitele tření, se zvyšující se rychlostí měření zařízeními TRT a BV 11.



Graf 5 – Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na asfaltovém povrchu

Nejlepší korelaci naměřených dat u tohoto povrchu můžeme pozorovat mezi skidometry T2GO a BV 11, jehož průměrná hodnota součinitele tření se nejvíce přiblížila hodnotám skidometru T2GO, s vzájemným rozdílem průměrných hodnot součinitele tření pouze 0,03 pro rychlost 60 km/h a 0,05 pro rychlost 40 km/h. Z celkového vyhodnocení získaných dat (v tabulce č. 13) na všech površích však vyplývá, že skidometr BV 11 měří obecně vyšší hodnoty (až o 0,1 - tento rozdíl se se zvyšující rychlostí snižuje) než zařízení TRT. Proto můžeme říci, že skidometr T2GO vykazuje u tohoto povrchu dostatečnou korelaci i se zařízením TRT s rozdílem hodnot 0,06 pro rychlost 40 km/h a 0,09 pro rychlost 60 km/h.

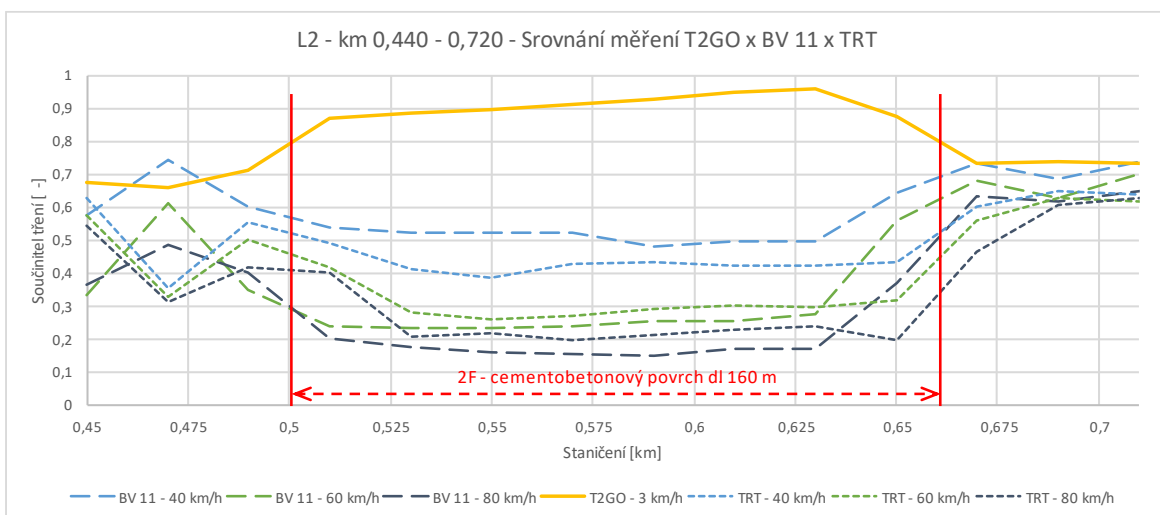
#### 5.4.3.2 Cementobetonový povrch 2F

Dalším měřeným povrchem je cementobetonový povrch 2F nacházející se na referenční linii L2, v km 0,500 až 0,660. Tento povrch je tvořen, kromě pojiva, kamenivem o rozměrech 1–10 mm, přičemž jeho svrchní vrstva je zbroušena a její výstupky tak spadají svojí velikostí primárně do kategorie mikrotextury, s téměř minimálním zastoupením makrotexturních nerovností.



Obrázek 31 - Charakteristický snímek cementobetonového povrchu 2F

Průběh naměřeného součinitele tření na cementobetonovém povrchu se v závislosti na měřicím zařízení a rychlosti měření dramaticky liší. Zatímco u skidometru BV 11 a zařízení TRT jsou hodnoty součinitelů tření relativně pravidelně odstupňované v závislosti na rychlosti a zároveň nabývají hodnot v předpokládaném intervalu odpovídajícím danému povrchu a rychlosti, tak hodnoty součinitele tření naměřené skidometrem T2GO se nacházejí v naprosto odlišné hladině hodnot, jak je vidět z průběhu grafu č. 6.



Graf 6 - Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na cementobetonovém povrchu

Pro cementobetonový povrch je rozdíl průměrných hodnot součinitele tření skidometru T2GO od BV 11 (40 km/h) v nejlepším případě 0,38, případně 0,48 od TRT (40 km/h). Tento rozdíl však při rychlosti měření 80 km/h nabývá hodnoty dokonce 0,67 od TRT a 0,72 od skidometru BV 11.

Takto významně odlišné průběhy měření mezi standardními dynamickými měřicími zařízeními a skidometrem T2GO jsou způsobeny již zmiňovanou charakteristikou povrchu a především vlivem odlišné měřicí rychlosti zúčastněných měřících zařízení. Posuzovaný cementobetonový povrch má totiž vlivem povrchové úpravy minimální zastoupení makrotexturních výstupků a při měření standardními dynamickými měřicími zařízeními je tak vyhodnocován jako značně kluzký (pro TRT při 60 km/h pouze 0,30, pro BV 11 při 60 km/h 0,29), tedy s nízkým výsledným součinitelem tření, jelikož samotná mikrotextura tohoto povrchu není schopna přenést potřebné množství adhezních sil od měřícího kola při rychlostech 20 km/h a více. Naopak měřicí rychlost skidometru T2GO, 3 km/h, se nachází právě v intervalu, kdy má mikrotextura největší vliv na součinitel tření, tedy do 20 km/h, čemuž odpovídá i jím naměřený součinitel tření na tomto povrchu, s průměrnou hodnotou 0,91, významně vyšší, než tomu je u zařízení TRT, či skidometru BV 11.

#### **5.4.3.3 Vodorovné dopravní značení 4F, bez balotínového posypu**

V pořadí třetím srovnávacím povrchem je vodorovné dopravní značení 4F bez balotínového posypu, umístěné taktéž na referenční linii L2, v km 1,000 – 1,160. Povrch tohoto vodorovného značení je relativně hladký a bez výraznější mikrotextury či makrotextury.

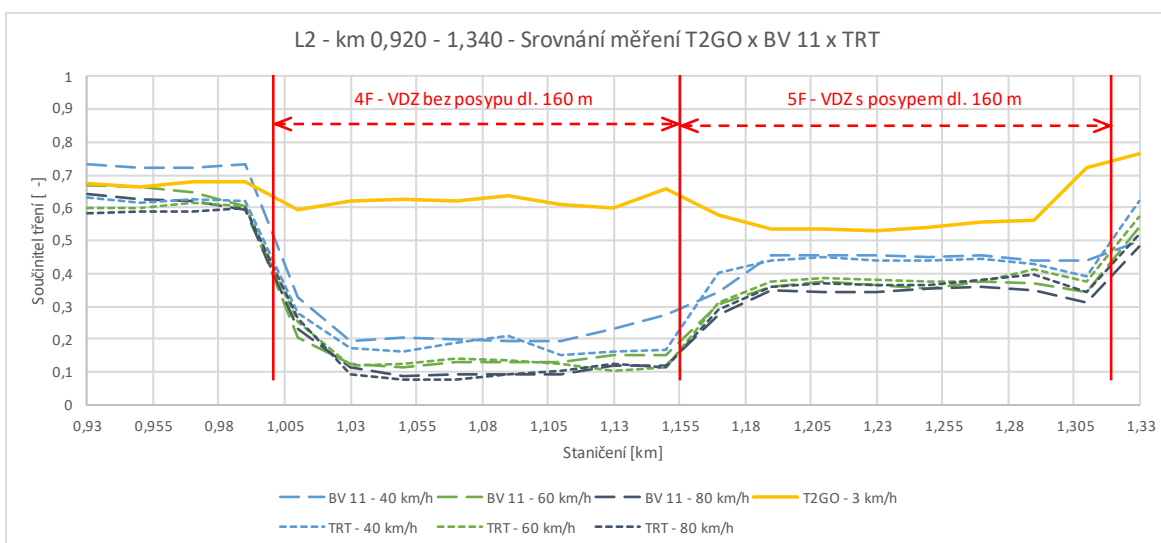


*Obrázek 32 - Charakteristický snímek VDZ bez balotínového posypu 4F*

I přesto jsou naměřené hodnoty součinitele tření skidometrem T2GO značně vysoké (viz. graf č. 7) pro daný typ povrchu, s průměrem o hodnotě 0,62, tedy pouze o 0,1 nižším, než tomu bylo u asfaltového povrchu s výraznou mikrotexturou a makrotexturou. Součinitele tření naměřené standardními dynamickými měřicími



zařizeními se již svými hodnotami nacházejí v očekávatelném intervalu hodnot typickém pro tento povrch, v rozmezí 0,23 až 0,14, pro rychlosti 40 a 60 km/h, tedy o 0,5 nižší než na asfaltovém povrchu. Současně nejmenší rozdíl naměřených hodnot skidometrem T2GO od ostatních zařízení je mezi skidometrem T2GO a skidometrem BV 11 (40 km/h), nabývající relativně vysoké hodnoty 0,38. Nižší hodnota součinitele tření naměřená skidometrem T2GO, oproti například cementobetonovému povrchu odpovídá jemnější mikrotextuře vodorovného značení, avšak i přesto jsou hodnoty stále příliš vysoké pro typ povrchu, který je při pojíždění či pocházení pocitově kluzký, čemuž odpovídají právě hodnoty standardních dynamických měřících zařízení.



Graf 7 – Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na VDZ bez balotínového posypu a s balotínovým posypem

#### 5.4.3.4 Vodorovné dopravní značení 5F, s balotínovým posypem

Čtvrtým měřeným vzorkem je vodorovné dopravní značení 5F s balotínovým posypem, umístěné na referenční linii L2, v km 1,160 – 1,320. Povrch tohoto vodorovného značení je oproti předchozímu posypán balotínovými kuličkami o rozměru až 1 mm, s cílem zlepšení součinitele tření při pojíždění. To také bylo potvrzeno měřením zařízení TRT a skidometrem BV 11, jak může být vidět v grafu č. 7, kdy se měřené hodnoty součinitele tření těmito zařízeními, oproti standardnímu vodorovnému značení, zvedly pro všechny tři měřicí rychlosti o přibližně 0,22.



Obrázek 33 - Charakteristický snímek VDZ s balotinovým posypem 5F

Při měření skidometrem T2GO se projevil opačný trend a průměrná hodnota součinitele tření pro VDZ s balotinovým posypem se mírně snížila (v průměru o 0,05), oproti VDZ bez posypu, a to i přesto, že balotinovým posypem byla na vodorovném dopravním značení vytvořena makrotextura. Toto snížení průměrné hodnoty součinitele tření naměřené skidometrem T2GO je způsobeno atypickým povrchem balotinových kuliček, které jsou hladké a bez mikrotextury (jako například oblázky) oproti VDZ bez posypu, které samotné určitou mikrotexturu, byť minimální, má. Naopak při měření standardními dynamickými zařízeními není mikrotextura povrchu, vlivem vyšší měřicí rychlosti, tak zásadní jako pro skidometr T2GO a přidaná makrotextura tohoto povrchu, tvořena miniaturními balotinovými kuličkami zlepšuje jeho adhezní vlastnosti.

Na základě pozorování dat z jednotlivých měření se můžeme domnívat, že právě díky makrotextuře tohoto povrchu se měřené hodnoty skidometru T2GO a ostatních zařízení vzájemně přiblížily a jejich rozdíl je v nejlepším případě pouze 0,13 v případě skidometru BV 11 (40 km/h), respektive 0,14 v případě zařízení TRT (40 km/h).

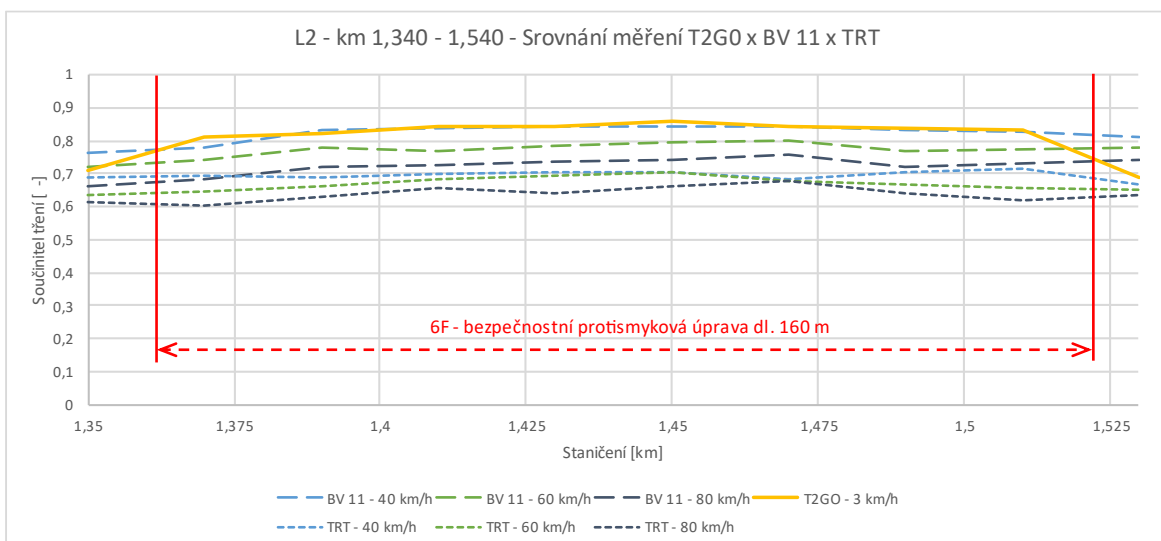
#### **5.4.3.5 Bezpečnostní protismyková úprava 6F**

Posledním posuzovaným povrchem je bezpečnostní protismyková úprava 6F, umístěna na linii L2, v km 1,360 – 1,520. Jedná se o speciální směs pojiva a drceného bauxitu, naneseného na stávající asfaltový povrch, s velmi výraznou makrotexturou i mikrotexturou jednotlivých zrn bauxitu.



Obrázek 34 - Charakteristický snímek bezpečnostní protismykové úpravy 6F

Zmíněné struktury povrchu odpovídají naměřené průměry hodnot skidometrem BV 11a zařízením TRT, které se pro všechny tři měřící rychlosti nacházejí ve velmi vysokých hladinách, v rozmezí 0,70 – 0,64 pro TRT a 0,83 – 0,73 pro skidometr BV 11. Taktéž skidometrem T2GO byla získána velmi vysoká průměrná hodnota součinitele tření, s průměrem 0,84, což činí rozdíl pouze 0,01 od skidometru BV 11 (40 km/h), respektive 0,06 při 60 km/h. Obstojná korelace při měření tohoto povrchu byla nalezena i u zařízení TRT, které má měřené hodnoty nižší pouze o 0,14 při rychlosti 40 km/h a 0,16 při rychlosti 60 km/h, jak je vidět z průběhu naměřených hodnot v grafu č. 8.



Graf 8 - Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na bezpečnostní protismykové úpravě

#### 5.4.4 Souhrnné vyhodnocení stanovení míry korelace

Z výše provedené analýzy měřených dat na uvedených typech povrchů je zřejmé, že ke shodě měření mezi skidometrem T2GO a standardními dynamickými měřicími zařízeními dochází pouze na specifických typech povrchů, které vykazují dostatečné zastoupení makrotextury, ale i určité kvality mikrotextury v rámci povrchové struktury.

Tabulka 13 - Souhrnná tabulka součinitelů tření korelovaných zařízení, se stanovenými odchylkami měření od skidometru T2GO

	1F - asfaltový povrch		2F - cementobetonový povrch		4F - VDZ bez posypu		5F - VDZ s posypem		6F - bezpečnostní protismyková úprava	
	[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]	
T2GO - 3 km/h	0,72		0,91		0,62		0,57		0,84	
Národní referenční měřicí zařízení TRT										
	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]
TRT - 40 km/h	0,66	0,06	0,43	0,48	0,19	0,43	0,43	0,14	0,70	0,14
TRT - 60 km/h	0,63	0,09	0,30	0,61	0,14	0,48	0,37	0,20	0,67	0,16
TRT - 80 km/h	0,60	0,12	0,24	0,67	0,12	0,50	0,36	0,21	0,64	0,20
Skidometr BV 11										
	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]	[ $\varnothing$ Fp]	[ $\Delta$ Fp]
BV 11 - 40 km/h	0,77	-0,05	0,53	0,38	0,23	0,39	0,44	0,13	0,83	0,01
BV 11 - 60 km/h	0,69	0,03	0,29	0,62	0,14	0,48	0,36	0,21	0,78	0,06
BV 11 - 80 km/h	0,65	0,07	0,19	0,72	0,12	0,50	0,33	0,24	0,73	0,11

Tabulka 14 - Souhrnná tabulka součinitelů tření korelovaných zařízení a míra jejich shody vyjádřena v %, s legendou

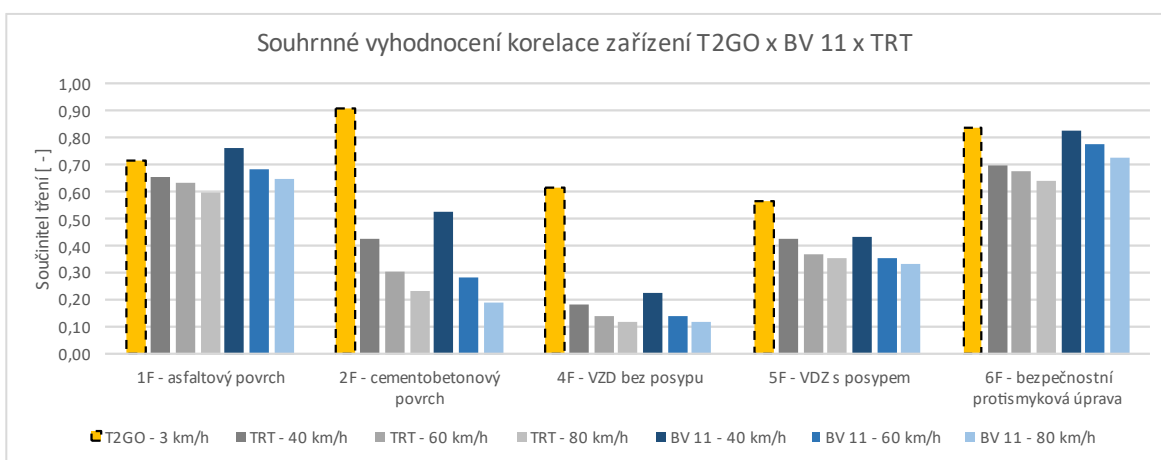
	1F - asfaltový povrch		2F - cementobetonový povrch		4F - VDZ bez posypu		5F - VDZ s posypem		6F - bezpečnostní protismyková úprava	
	[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]		[ $\varnothing$ Fp]	
T2GO - 3 km/h	0,72		0,91		0,62		0,57		0,84	
Národní referenční měřicí zařízení TRT										
	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%
TRT - 40 km/h	0,66	91,60	0,43	47,02	0,19	30,00	0,43	75,21	0,70	83,63
TRT - 60 km/h	0,63	88,14	0,30	33,48	0,14	22,49	0,37	65,43	0,67	80,68
TRT - 80 km/h	0,60	83,18	0,24	25,93	0,12	18,92	0,36	62,90	0,64	76,61
Skidometr BV 11										
	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%	[ $\varnothing$ Fp]	%
BV 11 - 40 km/h	0,77	93,15	0,53	58,09	0,23	36,61	0,44	76,63	0,83	99,30
BV 11 - 60 km/h	0,69	95,77	0,29	31,42	0,14	22,87	0,36	62,47	0,78	92,86
BV 11 - 80 km/h	0,65	90,13	0,19	21,35	0,12	19,17	0,33	58,70	0,73	86,90

Legenda:	Shoda [%]
	100% - 80%
	80% - 60%
	60% - 40%
	40% - 20%
	20% - 0%

Tento trend lze pozorovat také z procentuálního vyjádření shody měření T2GO, v tabulce č. 14, se standardními dynamickými měřicími zařízeními, kdy největší míra shody byla zaznamenána právě na asfaltovém povrchu a bezpečnostní protismykové

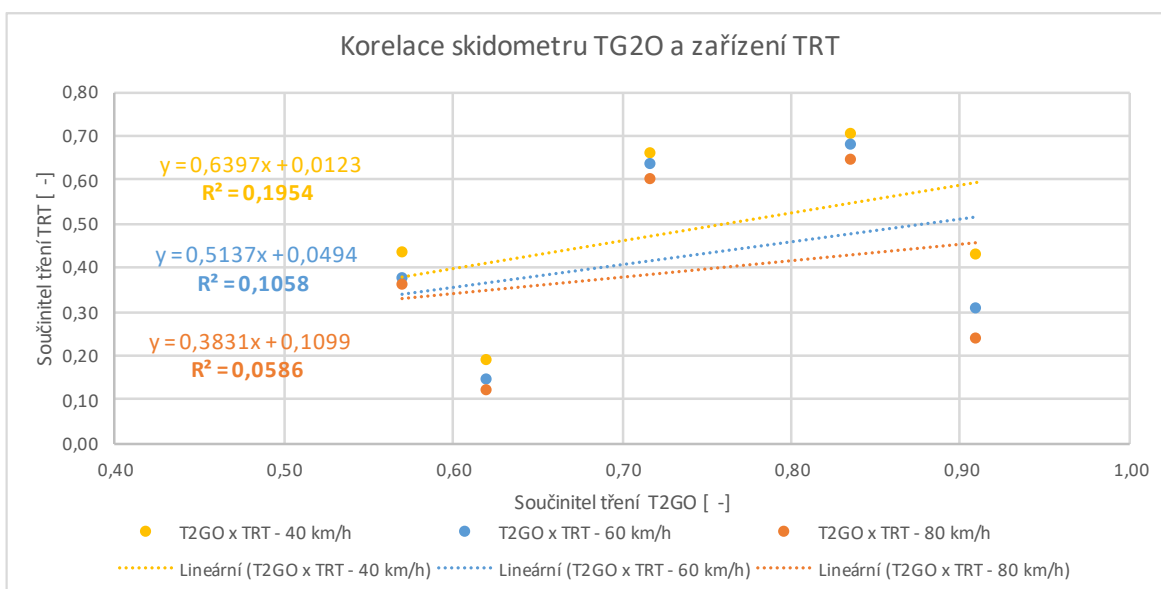
úpravě, tedy na površích s nejméně výraznější makrotexturou. Určitá shoda měřených dat byla zaznamenána také na vodorovném dopravním značení s posypem. Ta však byla pravděpodobně negativně ovlivněna charakterem mikrotextury, k jejíž charakteristice je měření skidometrem T2GO velice citlivé vlivem nízké měřicí rychlosti. Naopak naprosto odlišná data součinitele tření byla získána na cementobetonovém povrchu a na vodorovném dopravním značení bez posypu, kde nemůže být uvažováno o vzájemné korelaci mezi skidometrem T2GO a ostatními zařízeními, vlivem převažující mikrotextury těchto povrchů, které při vyšší rychlosti poježdění měřicím kolem nejsou schopné přenosu potřebných adhezních sil, viz. kapitola 3. 4 Vliv mikro a makrotextury.

Z tabulky č. 14 lze také pozorovat, že míra shody mezi skidometry T2GO a BV 11 je mírně vyšší než mezi skidometrem T2GO a zařízením TRT, což je způsobeno charakterem měření skidometru BV 11, který obecně zaznamenává mírně vyšší hodnoty než zařízení TRT. Pro potřeby stanovení korelace je však stěžejní především shoda mezi skidometrem T2GO a zařízením TRT, jako Národním referenčním zařízením. Velikost měřeného součinitele tření se také liší v závislosti na měřicí rychlosti skidometru BV 11 a zařízením TRT, jak je vidět v grafu č. 9, kdy se zvyšující se rychlostí klesá průměrný měřený součinitel tření daného povrchu a čímž je také ovlivněna výsledná míra korelace těchto zařízení se skidometrem T2GO. Z tohoto důvodu dochází k nejlepší korelaci s posuzovanými zařízeními právě při nízkých rychlostech, a i proto je v rámci této práce snaha korelace T2GO k měřicím rychlostem 40 km/h a především 60 km/h, při kterých výrobce tohoto zařízení uvádí korelaci se svými dalšími dynamickými zařízeními podobnými skidometru BV 11.



Graf 9 - Souhrnné vyhodnocení korelace zařízení T2GO x BV 11 x TRT

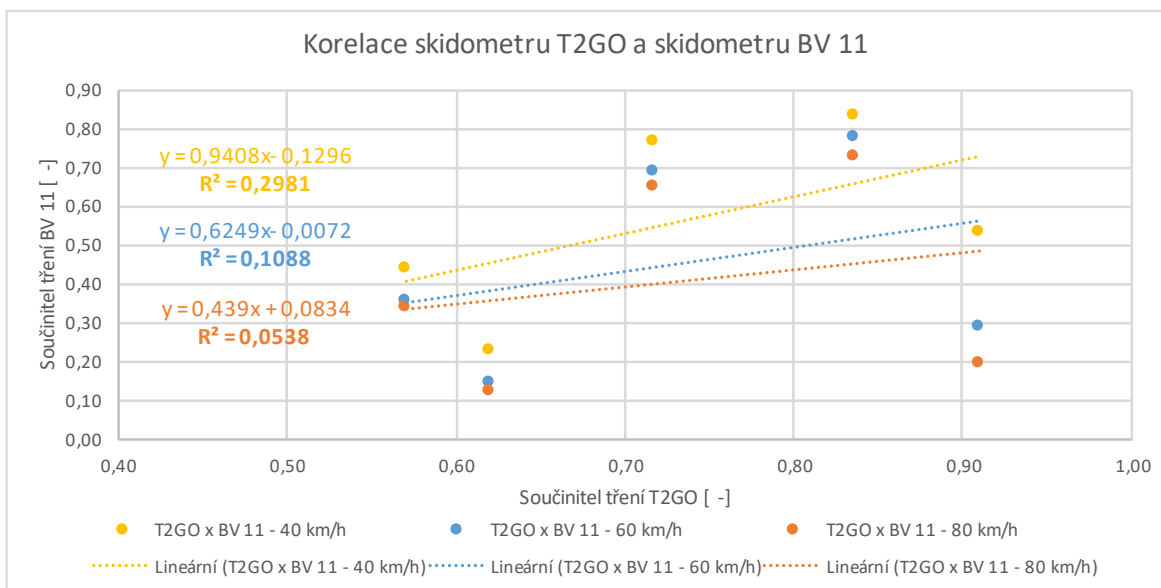
S cílem co nejvyšší komplexnosti stanovení korelace měření skidometru T2GO se srovnávanými dynamickými měřicími zařízeními, byla na základě výše uvedených hodnot součinitelů tření v tabulkách č. 13 a 14 stanovena výsledná korelace napříč posuzovanými referenčními povrchy. Pro reálné měření součinitele tření, nejen skidometrem T2GO, je totiž důležitá také míra univerzálnosti zařízení, díky které je schopné spolehlivě a přesně měřit odpovídající hodnoty na celém spektru povrchů.



Graf 10 - Korelace skidometru T2GO a zařízení TRT

V grafu č. 10 jsou prostřednictvím lineárních regresních přímek stanoveny koeficienty spolehlivosti  $R^2$  sestavených závislostí měřených hodnot skidometrem T2GO a zařízením TRT, při třech rychlostech měření - 40, 60 a 80 km/h. Ze získaných koeficientů spolehlivosti nabývá nejvyšší hodnoty závislost měřených dat skidometrem T2GO a zařízením TRT (40 km/h), kdy koeficient spolehlivosti dosahuje hodnoty 0,20 (20 %). V případě zbylých dvou závislostí dat, kdy byly měřicí rychlosti zařízením TRT vyšší, hodnoty koeficientu spolehlivosti, dle očekávání, dále klesají až na hodnotu 0,11 (11 %), respektive 0,06 (6 %). Takto nízké hodnoty koeficientů spolehlivosti vypovídají o vysokém rozptylu mezi hodnotami získanými skidometrem T2GO a zařízením TRT, na jednotlivých površích. Lze tedy říci, že mezi skidometrem T2GO a Národním referenčním zařízením TRT je, při zohlednění naměřených hodnot na všech površích, celková korelace 20 % při rychlosti měření zařízením TRT 40 km/h, 11 % při rychlosti měření zařízením TRT 60 km/h a pouze 6 % při rychlosti měření zařízením TRT 80 km/h.

Analogickým způsobem byl vytvořen také graf závislostí měřených hodnot skidometrem T2GO a skidometrem BV 11, taktéž pro všechny tři měřící rychlosti skidometru BV 11. Tyto data jsou zobrazena v grafu č. 11.



Graf 11 - Korelace skidometru T2GO a skidometru BV 11

Na základě těchto závislostí měřených dat byly opět sestaveny lineární regresní přímky a jejich koeficienty spolehlivosti  $R^2$ . Ty jsou dle očekávání mírně vyšší, než je tomu u zařízení TRT, z důvodu již zmíněného měření vyšších hodnot součinitele tření skidometrem BV 11. Celková korelace těchto dvou zařízení je v případě nejnižší rychlosti měření skidometrem BV 11 celých 30 %, tedy o 10 % vyšší než u závislosti měření se zařízením TRT při shodné rychlosti. Pro zbylé dvě rychlosti, tedy 60 km/h a 80 km/h jsou hodnoty korelace po zaokrouhlení shodné jako u zařízení TRT – 11 %, respektive 6 %.

## 5.5 Doplnkové srovnávací měření skidometrem T2GO a kyvadlovým zařízením SRT

V návaznosti na vyhodnocení dat získaných v rámci dříve zmíněných dvou srovnávacích měření bylo autorem práce rozhodnuto o realizaci doplňkového srovnávacího měření, a to z důvodu velmi nízké celkové korelace skidometru T2GO se standardními dynamickými měřiči. Dalším důvodem pro realizaci doplňkového měření je výrazná odlišnost měřených dat skidometrem T2GO od ostatních dynamických měřících zařízení, na třech z pěti povrchů. Proto cílem tohoto doplňujícího měření je stanovení korelace skidometru T2GO s kyvadlovým zařízením

SRT, které měří kvalitu povrchu staticky v určitém bodě, ale principem měření je z fyzikálního hlediska blíže ke způsobu měření skidometrem T2GO. Z tohoto důvodu je i korelace mezi těmito zařízeními očekávána vyšší, oproti standardním dynamickým měřicím zařízením, i přesto, že měřené hodnoty kyvadlovým zařízením SRT obecně odpovídají rychlosti 64 km/h. Dále, vzhledem k faktu, že se jedná o zařízení zanesené do ČSN 73 6177 prostřednictvím ČSN EN 13036-4, by se tak mohlo jednat o alternativní způsob testování spolehlivosti, respektive korelace skidometru T2GO, pro jeho možné zanesení do českého normativního systému. [41]

### 5.5.1 Rozsah a průběh měření

Doplňkové měření skidometrem T2GO a kyvadlovým zařízením SRT bylo realizováno 19. dubna 2023, tak jako předešlá dvě srovnávací měření, na ploše bývalého vojenského letiště Kámen. V den tohoto doplňkového měření bylo v oblasti letiště mírně větrné počasí, s protrhanou oblačností, teplota vzduchu dosahovala 14 °C a vlhkost vzduchu 60 %. Teplota měřených povrchů se pohybovala v rozmezí 14 °C – až 17 °C, tedy ve velice podobném teplotním rozmezí, jako při předchozích dvou srovnávacích měřeních.

I v tomto měření zůstal zachován rozsah pěti vybraných měřených povrchů, z důvodu zajištění adekvátní možnosti srovnání měřených dat, nicméně způsob celkového měření byl mírně upraven. Z povahy měření kyvadlovým zařízením SRT jím totiž nelze měřit celkové linie, ale pouze předem specifikované body. Za tímto účelem byly vybrány charakteristické plochy (body), které jsou na všech površích vytyčeny správcem (ŘSD) a které reprezentují oblasti povrchů s homogenním charakterem odpovídajícím danému povrchu. Tyto charakteristické body jsou na všech površích vytyčeny čtyřmi geodetickými hřeby a tvoří plochu tvaru kosočtverce, o délce úhlopříčky 1 m. Jejich rozmístění je vždy na správcem vybraném přibližně 10 - 20 m dlouhém úseku daného povrchu a v každém takovém úseku se nacházejí vždy právě tři tyto body.



Tabulka 15 – Staničení vybraných charakteristických bodů měřených povrchů

<b>1F - Asfaltový povrch</b>			
<b>bod</b>	<b>staničení od [m]</b>	<b>staničení do [m]</b>	<b>střed [m]</b>
1MA-A	601,5	602,5	602,0
1MA-C	617,0	618	617,5
<b>2F - Cementobetonový povrch</b>			
2MX-A	623,0	624	623,5
2MX-C	637,0	638	637,5
<b>4F - VDZ bez posypu</b>			
4MX-A	1065,0	1066	1065,5
4MX-C	1075,0	1076	1075,5
<b>5F - VDZ s posypem</b>			
5MX-A	1204,0	1205	1204,5
5MX-C	1216,0	1217	1216,5
<b>6F - Bezpečnostní protismyková úprava</b>			
6MX-A	1485,0	1486	1485,5
6MX-C	1495,0	1496	1495,5

Pro potřeby srovnávacího měření byl na každém povrchu, kyvadlovým zařízením SRT, změřen pouze první a poslední charakteristický bod daného úseku (výpis těchto bodů se nachází v tabulce č 15). Skidometrem T2GO byl však následně měřen celý 10 - 20 m dlouhý úsek, ze kterého byly později v rámci vyhodnocení vybrány právě 1 m dlouhé úseky, odpovídající staničení vytyčených charakteristických bodů, pro srovnání s hodnotami získanými kyvadlovým zařízením SRT.

Měření kyvadlovým zařízením SRT probíhalo dle postupu daného normou ČSN EN 13036-4, širokou patkou o tvrdosti (IRHD) 53 až 65 a na mokřím povrchu, přičemž bylo vždy opakováno v rámci vytyčené plochy charakteristického bodu na třech různých místech, z důvodu eliminace vlivu případné nehomogenity povrchu. Následovalo měření skidometrem T2GO, které bylo provedeno standardním způsobem, specifikovaným v kapitole 6.2 Zásady a průběh měření, v průběhu prvního srovnávacího měření. Měření skidometrem T2GO bylo vždy opakováno dvakrát, taktéž s cílem eliminace nežádoucích vlivů na výsledky měření. [21]

### 5.5.2 Zpracování naměřených dat

Získaná data skidometrem T2GO byla zpracována analogickým postupem, jako při prvních dvou srovnávacích měřeních, včetně stanovení průměrů dvakrát opakovaných měření, tentokrát u všech měření. K rozdílu ve zpracování dochází v momentě, kdy z měřených dat nebyly vytvořeny průměry celých úseků o určité délce, nýbrž byly pouze stanoveny průměry těch úseků (o délce 1 m), které se nacházejí ve staničení odpovídajícím ploše jednotlivých charakteristických bodů.

Data naměřená kyvadlovým zařízením SRT byla pro každé jedno měření zpracována dle vzorce č. 5 v kapitole zabývající se klasickými metodami měření adheze a všechna tři měření v každém bodě byla následně zprůměrována do jedné výsledné hodnoty PTV pro daný měřený bod. Tak jako u všech předchozích provedených srovnávacích měření, i v případě měření kyvadlovým přístrojem SRT nebyly naměřené hodnoty vyrovnávány na hladinu teploty 20 °C, jak stanovuje norma ČSN EN 13036-4. Jedná se totiž opět o vzájemné srovnání dvou měřících metod při stejné teplotě, nikoliv posuzování vlastností povrchů, při kterém je standardizace měřených hodnot vůči teplotě povrchu důležitá. [21]

### 5.5.3 Vyhodnocení naměřených dat a interpretace výsledků

Výsledkem doplňkového srovnávacího měření jsou stanovené hodnoty součinitelů tření skidometrem T2GO a hodnoty PTV (kyvadlového zařízení SRT) v místě vybraných charakteristických bodů na všech pěti referenčních površích. Přehled stanovených hodnot těchto charakteristických bodů je zpracován v tabulce č. 16 a jejich grafické znázornění se nachází dále v grafu č. 12.

Tabulka 16 - Přehled hodnot charakteristických bodů jednotlivých povrchů

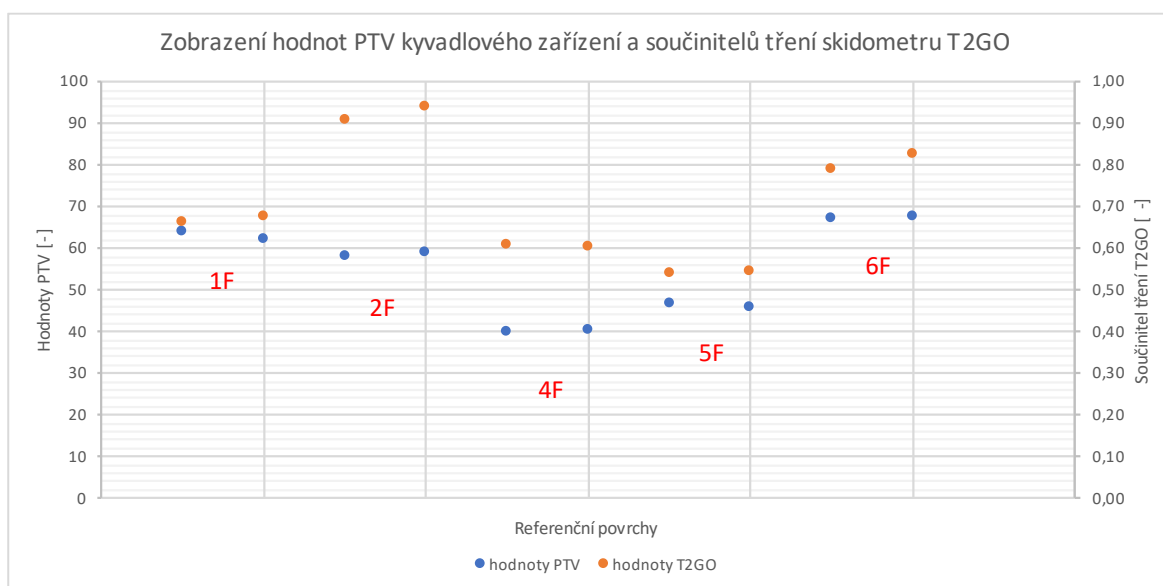
povrch	1F - asfaltový povrch		2F - cementobetonový povrch		4F - VDZ bez posypu		5F - VDZ s posypem		6F - bezpečnostní protismyková úprava	
	1MA-A	1MA-C	2MX-A	2MX-C	4MX-A	4MX-C	5MX-A	5MX-C	6MX-A	6MX-C
hodnoty PTV	64	62	58	59	40	40	46	46	67	67
součinitel tření T2GO	0,66	0,67	0,91	0,94	0,61	0,60	0,54	0,54	0,79	0,82

I přesto, že hodnoty PTV a hodnoty součinitelů tření jsou vyjádřeny odlišnými veličinami, je běžnou praxí, že srovnání těchto veličin probíhá bez jakéhokoliv vzájemného převodu, jelikož jsou vzájemně odsazeny téměř konstantně o dvě desetinná místa. Díky tomu spadají do vzájemně odpovídajících tříd klasifikační stupnice hodnotící součinitel tření kyvadlovým zařízením a dynamickými měřícími zařízeními. [20]

Již při orientačním srovnání těchto hodnot je patrné, že i toto doplňkové měření potvrzuje výsledky předešlého srovnávacího měření skidometru T2GO s ostatními dynamickými měřícími zařízeními. Po vložení hodnot PTV a součinitelů tření T2GO do grafu (č. 12) je totiž viditelná značná korelace skidometru T2GO s kyvadlovým zařízením SRT na asfaltovém povrchu, VDZ s posypem a taktéž relativně i na protismykové bezpečnostní úpravě. Tedy opět na površích s dominantní makrotexturou povrchu. Zajímavým poznatkem je fakt, že v případě srovnání dat

skidometru T2GO a kyvadlového zařízení SRT se jeví lepší korelace na VDZ s posypem než na bezpečnostní protismykové úpravě, jak tomu bylo u srovnání se standardními dynamickými měřícími zařízeními. To je nejspíše dáno poklesem součinitele tření měřeného skidometrem T2GO, na tomto povrchu, vlivem balotinových kuliček bez mikrotextury. Průběh naměřených hodnot PTV na VDZ bez balotinového posypu a sním dává z hlediska textury povrchu smysl, na rozdíl od hodnot získaných skidometrem T2GO.

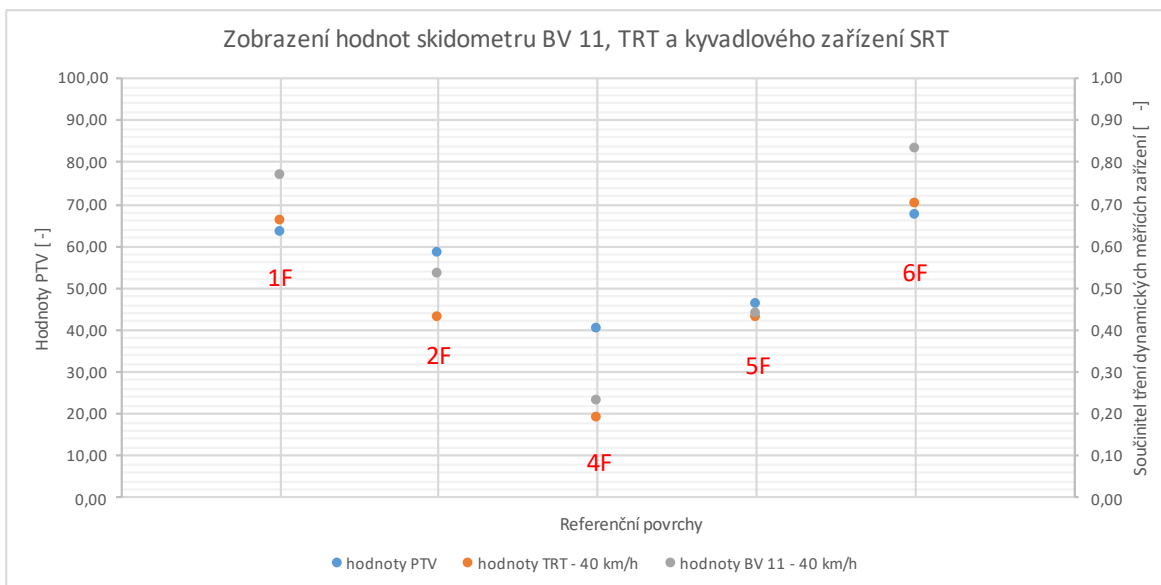
Situace zůstává relativně stejná i v případě cementobetonového povrchu a VDZ bez balotinového posypu, kde je rozdíl měřených hodnot příliš veliký a ke korelaci zařízení na těchto površích nedochází. Je však viditelné, že i na těchto površích je průběh korelace mírně odlišný a k nejhorší korelaci nyní dochází na cementobetonovém povrchu, zatímco u srovnání se standardními dynamickými měřícími zařízení docházelo k největším odlišnostem v měření na VDZ s balotinovým posypem.



Graf 12 - Zobrazení hodnot PTV kyvadlového zařízení a součinitelů tření skidometru T2GO

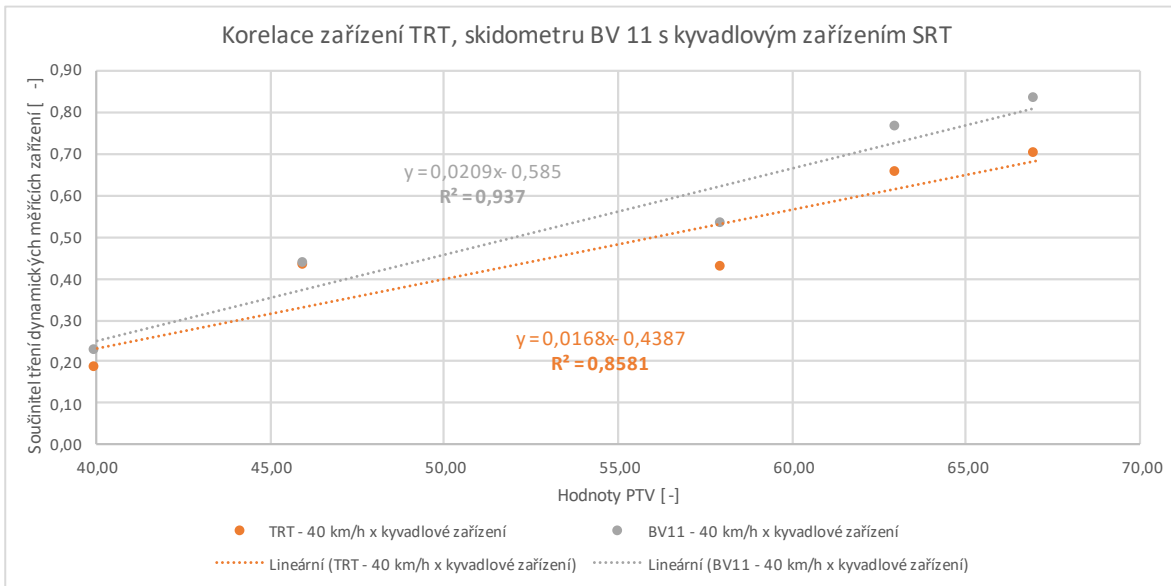
Zmíněné minoritní odlišnosti v korelaci s kyvadlovým zařízením SRT mohou být dány povahou jeho měření, které s největší pravděpodobností není tak citlivé na existenci mikrotextury povrchu, jako skidometr T2GO, ale zároveň se vůči mikrotextuře povrchu zdá být mírně citlivější než standardní dynamická měřící zařízení. To lze jednoduše dokázat srovnáním hodnot PTV s měřeními provedenými standardními dynamickými měřícími zařízeními. Tato měření byla sice provedena v průběhu Národního srovnávacího měření v květnu 2022 a měřené hodnoty mohou být tak mírně ovlivněny ročním obdobím a teplotou měřeného povrchu (v rozsahu součinitele tření do 0,05,

jak bylo uvedeno dříve v kapitole 6.4.2 - Vyhodnocení vlivu teplot a ročního období na výsledek měření skidometrem T2GO), ale pro účely orientační korelace s kyvadlovým zařízením SRT jsou plně dostačující.



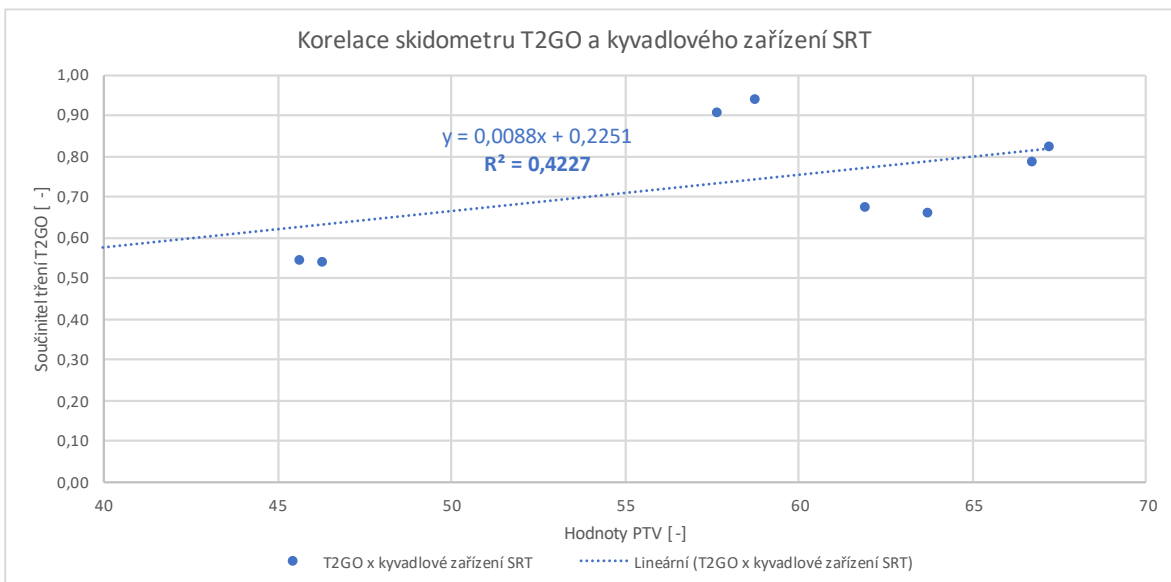
Graf 13 - Zobrazení hodnot skidometru BV 11, TRT a kyvadlového zařízení SRT

Z grafu č. 13 je patrné, že kyvadlové zařízení SRT skutečně měří na površích s dominantní mikrotextrou mírně vyšší hodnoty než standardní dynamická měřící zařízení. V celkovém porovnání měření s těmito zařízeními poměrně dobře koreluje na celém spektru referenčních povrchů, což potvrzuje graf č. 14, kdy korelace mezi kyvadlovým zařízením a TRT při 40 km/h dosahuje hodnoty téměř 86 % a u skidometru BV 11, při téže rychlosti, je shoda měření dokonce 94 %. Tato shoda však s rostoucí rychlostí měření standardními dynamickými měřícími zařízeními vůči kyvadlovému zařízení bude vždy právě vlivem měřící rychlosti klesat, tak jako například u korelace skidometru T2GO se standardními dynamickými zařízeními v grafech č. 10 a 11.



Graf 14 - Korelace zařízení TRT, skidometru BV 11 s kyvadlovým zařízením SRT

Při stanovení celkové korelace skidometru T2GO a kyvadlového zařízení SRT lze tedy očekávat míru shody těchto zařízení mírně vyšší oproti srovnání dat skidometru T2GO se standardními dynamickými měřícími zařízeními. To také potvrzuje výsledný korelační graf č. 15, který na základě vytvořené přímky lineární regrese udává koeficient spolehlivosti  $R^2$  0,42, tedy celkovou shodu měření skidometru T2GO a kyvadlového zařízení SRT 42 %.



Graf 15 - Korelace T2GO a kyvadlového zařízení SRT

## 5.6 Souhrnné vyhodnocení experimentu srovnávacího měření se skidometrem T2GO

Veškerá provedená srovnávací měření skidometrem T2GO umožňují výrazné upřesnění korelací a odchylek v měření uváděných výrobcem, které značně nekomplexně posuzují schopnosti měření skidometru T2GO pouze na vybraných typech povrchů.

Prvním předpokladem pro možnost reálného použití skidometru T2GO je jeho přesnost při opakovaném měření. Ta byla v průběhu experimentu prokázána jako vyhovující podmínkám TP 207, které stanovují maximální výběrovou směrodatnou odchylku o hodnotě 0,03, přičemž výběrová směrodatná odchylka byla ve všech případech měření, zabývajících se opakovatelností, menší. A to i v případě, kdy byl posuzován vliv sklonu referenčního povrchu na velikost součinitele tření. [27]

Dále byla posuzována korelace skidometru T2GO se třemi různými měřicími zařízeními na pěti referenčních površích. Z výsledků uvedených srovnávacích měření (tabulka č. 17) vyplývá, že celková korelace skidometru T2GO se standardními dynamickými měřicími zařízeními je příliš nízká na to, aby bylo možné uvažovat o úspěšné korelaci, stejně tak v případě doplňkového srovnávacího měření s kyvadlovým zařízením SRT. To však sloužilo především pro ověření správnosti předchozích měření a vysvětlení chování skidometru T2GO.

Tabulka 17 - Souhrn celkových korelací srovnávaných zařízení

	zařízení TRT		
rychlost	40 km/h	60 km/h	80 km/h
<b>skidometr T2GO</b>	20%	11%	6%
	skidometr BV 11		
rychlost	40 km/h	60 km/h	80 km/h
<b>skidometr T2GO</b>	30%	11%	6%
	kyvadlové zařízení SRT		
<b>skidometr T2GO</b>	42%		
	kyvadlové zařízení SRT		
<b>BV 11 - 40 km/h</b>	94%		
<b>TRT - 40 km/h</b>	86%		

V případě individuálního posuzování korelace skidometru T2GO s ostatními měřicími zařízeními na jednotlivých površích je situace o poznání přijatelnější. Vzájemná

korelace byla totiž nalezena mezi Národním referenčním zařízením TRT a skidometrem BV 11 na asfaltovém povrchu, kdy míra shody se skidometrem T2GO, pro stěžejní korelační rychlosti 40 km/h a 60 km/h, vždy přesahuje 85 %. Dostačující míra korelace byla stanovena pro tyto dvě standardní dynamická měřicí zařízení i na bezpečnostní protismykové úpravě, kde je míra shody, pro měřicí rychlosti 40 km/h a 60 km/h, vyšší než 80 %. Pro tyto povrchy a povrchy s podobnou charakteristikou, s dominantní makrotexturou (a i určitým zastoupením mikrotextury), lze uvažovat o reálném používání skidometru T2GO pro hodnocení povrchových vlastností vozovek běžných komunikací.

Neúspěšná korelace byla však provedena v případě cementobetonového povrchu a vodorovného dopravního značení bez balotinového posypu, kde míra shody se zařízením TRT a skidometrem BV 11 dosahuje (opět pro rychlosti měření 40 km/h a 60 km/h) v nejlepším případě pouze 62 %. Tudíž nelze doporučit použití skidometru T2GO pro posuzování protismykových vlastností těchto povrchů a obecně povrchů s převažující mikrotexturou na vozovkách komunikací v praxi.

Specifická situace nastává v případě povrchu vodorovného dopravního značení s balotinovým posypem, které disponuje obstojnou makrotexturou, ale balotinové kuličky bez jakékoliv mikrotextury zapříčiňují neočekávané snížení měřeného součinitele tření skidometrem T2GO, který je na přítomnost mikrotextury značně citlivý, vzhledem k jeho měřicí rychlosti. Tudíž ani na tomto typu povrchu nelze doporučit použití skidometru T2GO pro reálné posuzování povrchových vlastností komunikací, i přesto, že korelace vůči standardním dynamickým měřicími zařízením dosahuje 75 %. Samotné hodnoty součinitele tření totiž nedávají v porovnání s VDZ bez balotinového posypu smysl.

Navazující doplňkové srovnávací měření skidometrem T2GO a kyvadlovým zařízením SRT potvrzuje dříve stanovené závěry, částečně objasňuje neúspěšnou korelaci mezi skidometrem T2GO a standardními dynamickými měřicími zařízeními (především v případě povrchů VDZ s posypem/bez posypu) a taktéž podkládá správnost jejich měření prostřednictvím provedené korelace, dosahující 94 % (skidometr BV 11 - 40 km/h) a 86 % (zařízení TRT – 40 km/h).

Na základě zjištěných poznatků nelze jednoznačně říci, že hodnoty součinitelů tření stanovené skidometrem T2GO, především na površích s neúspěšnou korelací, jsou jednoznačně nevyhovující. Může o nich být uvažováno jako o hodnotách, které

jsou adekvátní pro jiné rychlostní hladiny, a to vzhledem k charakteristice měření skidometru T2GO, který měří při rychlosti 2,5 km/h – 4 km/h. Jak již bylo řečeno dříve, vlivem této měřicí rychlosti je nejvíce zohledňována právě mikrotextura povrchu, což je důvodem, proč jsou hodnoty součinitele tření na površích s dominantní mikrotexturou značně vyšší oproti měření standardními dynamickými měřicími zařízeními. Na základě této úvahy můžeme říci, že skidometr T2GO je potenciálně využitelný pro posuzování protismykových vlastností povrchů v místech, kde rychlost provozu nepřesahuje hodnotu 20 km/h, tedy rychlost, při které je vliv mikrotextury na protismykové vlastnosti povrchů nejvyšší. Takovými místy může být například infrastruktura pro pěší a cyklisty, přechody pro chodce, případně určité úseky komunikací v těsné blízkosti přechodů pro chodce, kde vozidla dojíždějí a pohybují se zde nízkými rychlostmi.

Pomineme-li požadavek TP 207 na základní měřicí rychlosti (40, 60 a 80 km/h) pro provedení Experimentu přesnosti zařízení měřících součinitel tření povrchu vozovky, dle přílohy A, skidometr T2GO v současné době nespĺňuje především jeden ze základních požadavků tohoto experimentu. Tím je nutnost korelace zařízení s Národním referenčním zařízením na minimálně pěti pracovních površích, které pokrývají celý rozsah klasifikační stupnice hodnotící součinitele tření, na základě ČSN 73 6177. [20][27]



## 6 Možnosti řešení vedoucí k využití skidometru T2GO v praxi

V současné době není možné zanesení skidometru T2GO do českých norem běžným způsobem, jako standardní dynamická měřící zařízení, jelikož dotčené normy a technické specifikace neznají pojem dynamických měřících zařízení pracujících při rychlosti chůze. Jednou z možností je úprava příslušných dokumentů, kterými je především technická specifikace TP 207 a norma ČSN 73 6177. Tyto úpravy však dávají smysl pouze v případě, že dynamická měřící zařízení pracující při rychlosti chůze budou do těchto legislativních dokumentů zanesena jako zařízení, které jsou vhodná pouze k posuzování povrchových vlastností dopravních infrastruktur a úseků s provozní rychlostí do 20 km/h. Skidometr T2GO není totiž schopen měřit hodnoty součinitelů tření odpovídající provozním rychlostem pozemních komunikací na celém spektru povrchů, jak bylo zjištěno provedenými korelacemi v rámci této práce. Zároveň však v současné době není známo žádné jiné zařízení tohoto typu, které měří adekvátní hodnoty rychlostem provozu na pozemních komunikacích, a proto je zapotřebí k těmto zařízením přistupovat způsobem, který zajistí správné měření povrchových vlastností dopravních infrastruktur i novými zařízeními tohoto typu. [20][27]

Za předpokladu získání evropské technické specifikace CEN/TS 15901, po vzoru ASTM E3304-22, pro skidometr T2GO je zapotřebí především úprava (doplnění) měřící rychlosti, vhodné pro dynamická měřící zařízení pracující při rychlosti chůze, v technické specifikaci TP 207, která stanovuje podmínky účasti a průběh Experimentu přesnosti zařízení. Další potřebnou úpravou této technické specifikace je doplnění alternativního způsobu ověření přesnosti a korelace dynamických měřících zařízení pracujících při rychlosti chůze s Národním referenčním měřícím zařízením, jelikož zařízení, jakým je skidometr T2GO nejsou z povahy své konstrukce schopna měřit tak dlouhé linie, jaké požaduje TP 207 pro ověření přesnosti měřících zařízení. Možným řešením je například vytvoření srovnávacího postupu těchto zařízení s kyvadlovým zařízením SRT, které se k těmto účelům hodí více než standardní dynamická měřící zařízení, i přesto že SRT zařízení je schopno měřit povrchové vlastnosti vozovek pouze bodově. [27][29]

V rámci normy ČSN 73 6177, která se zabývá obecně hodnocením protismykových vlastností povrchů vozovek, je zapotřebí taktéž doplnění adekvátní měřící rychlosti pro zařízení typu skidometru T2GO a současně změny formulace zabývající se délkou

měřené linie, jelikož v současné době tato norma považuje za nejvhodnější délku měřené linie 1000 m, pokud není linie měřeného povrchu kratší. V případě skidometru T2GO lze získávat přesné vzorky povrchových vlastností vozovek již od několika metrů délky, k čemuž je také nejvhodnější. Současně je zapotřebí doplnění informací pro přepočítání součinitele podélného tření na vyrovnanou měřicí rychlost. Ten se vypočítává na základě tabulky hodnocení protismykových vlastností, která má v současné době stanovené klasifikační stupně pouze pro rozsah rychlostí 40 km/h – 120 km/h. [20]

Vzhledem ke schopnostem měření skidometru T2GO, které na základě provedených srovnávacích měření není považováno za vhodné pro posuzování protismykových vlastností na pozemních komunikacích, se jako možné východisko jeví vytvoření samostatné normy pro posuzování vlastností povrchů s nízkou provozní rychlostí, včetně pěší a cyklistické infrastruktury. Tato norma by se zabývala posuzováním zmíněných povrchů dynamickými měřicími zařízeními pracujícími při rychlosti chůze, přičemž horní hranice provozní rychlosti povrchů posuzovaných v rámci této normy by byla stanovena na přibližně 20 km/h. Při této nízké provozní rychlosti můžeme stále předpokládat, že výsledky měření skidometrem T2GO budou odpovídat skutečným protismykovým vlastnostem povrchu, alespoň na základě provedených srovnávacích měření v rámci této práce a základních fyzikálních poznatků souvisejících s vlivem mikrotextury na výsledný součinitel tření. S tím souvisí vytvoření adekvátní stupnice součinitele tření pro hodnocení protismykových vlastností infrastruktur s nízkými provozními rychlostmi, jelikož tyto hodnoty se na některých površích značně liší (např. hodnoty součinitele tření na cementobetonovém povrchu stanovené skidometrem T2GO) od těch, které jsou v současné době obecně známy pro standardní provozní rychlosti povrchů komunikací. Je však nutné zmínit, že stanovení součinitele tření je ovlivněno mnoha faktory a pro určité rychlosti a povrchy nemá přesně stanovené hodnoty.

Z výše uvedených informací vyplývá, že i přes adekvátní opakovatelnost v měření skidometru T2GO, prozatím není možné jeho využití v praxi. Důvodem je, že provedené korelace se standardními dynamickými měřicími zařízeními potvrzují shodu měřených dat pouze na asfaltovém povrchu a bezpečnostní protismykové úpravě, přičemž na ostatních typech povrchů hodnoty součinitele tření naměřené skidometrem T2GO neodpovídají jak ostatním zařízením, tak i předpokládaným hladinám součinitelů tření pro dané povrchy. Skidometr T2GO tak nevyhovuje

základnímu předpokladu měřícího zařízení (dle TP 207), které musí být schopno měřit na všech typech povrchů. Dalším důvodem je současné provedení legislativy, která aktuálně neumožňuje používání dynamických měřících zařízení pracujících při rychlosti chůze, jakož i způsob korelace, který je pro tento typ zařízení nevyhovující. Proto je skidometr T2GO v současné době využitelný pouze pro účely orientačního stanovení součinitele tření na asfaltových površích a celkově na površích s dominantní makrotexturou povrchu. [27]

## 7 Závěr

Posuzování protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací je důležitou metodou vedoucí k zajištění adekvátní bezpečnosti dopravní infrastruktury. Proto je zapotřebí věnovat adekvátní pozornost technologickému vývoji zařízení, která tyto povrchové vlastnosti komunikací jsou schopna měřit. Tato zařízení však musejí splňovat určité předpoklady zajišťující získání kvalifikovaných informací charakterizujících povrchy pozemních komunikací, čímž se zabývá právě tato práce zjišťující možnosti využití skidometru T2GO v praxi, v souladu s českými normami.

První část této práce byla věnována především teoretickým souvislostem, které se týkají řešené problematiky. Byly definovány základní pojmy tření a adheze s návazností na faktory ovlivňující průběh měření součinitele tření a jeho výsledné hodnoty. Další důležitou komponentou teoretické části práce je kapitola zabývající se vlivem adheze mezi povrchem vozovky a pneumatikou vozidla na bezpečnost provozu na pozemních komunikacích.

Následující úsek práce pak pojednává o vývoji měřících metod a zařízení, vhodných k měření součinitele tření na pozemních komunikacích. Zároveň také informuje o způsobu zanesení dynamických měřících zařízení do normativních dokumentů v USA a Evropské unii.

Stěžejní částí této práce je provedení srovnávacích měření skidometru T2GO se standardními dynamickými měřícími zařízeními v rámci akce Národního srovnávacího měření, za účelem ověření přesnosti měření a míry korelace skidometru T2GO vzhledem k zavedeným typům dynamických měřících zařízení. Výsledkem tohoto srovnávacího měření, které bylo provedeno celkem na pěti referenčních površích, pokrývajících celou hodnotící škálu součinitele tření, je vyhovující opakovatelnost měření skidometru T2GO, odpovídající příslušným technickým podmínkám. Korelace měření se standardními dynamickými měřícími zařízeními byla však potvrzena pouze na dvou z pěti referenčních povrchů, které jsou charakteristické svým povrchem s převažující makrotexturou. Celková korelace mezi měřeními skidometru T2GO a standardními dynamickými měřícími zařízeními tak neodpovídala požadavkům a nebyla potvrzena.

Proto bylo následně provedeno doplňkové srovnávací měření skidometru T2GO s kyvadlovým zařízením SRT, jehož výsledky potvrdily předchozí závěry a napomohly

vysvětlit chování skidometru T2GO, které je vlivem měřící rychlosti příliš citlivé vzhledem k mikrotextuře povrchu, což je důvodem nevyhovující korelace s ostatními měřícími zařízeními.

V návaznosti na předešlá zjištění byly na základě analýzy příslušných norem popsány teoretické možnosti vedoucí k praktickému využití skidometru T2GO, kterými jsou možné úpravy stávajících norem a technických specifikací, či vytvoření samostatné normy zabývající se posuzováním protismykových vlastností povrchů s nízkou provozní rychlostí, pro které se skidometr T2GO, na základě získaných poznatků z uvedených srovnávacích měření, jeví jako nejvhodnější. Pro konkrétnější poznatky týkající se měření skidometrem T2GO na površích s nízkou provozní rychlostí je však nutné provedení dalších srovnávacích měření posuzujících správnost měření právě na těchto površích. Možným způsobem, jak tato měření ověřit, může být například provedení srovnávacího měření skidometru T2GO a akcelerometru.

V současné době skidometr T2GO, z uvedených důvodů, praktické využití v souladu s normami nemá a lze jej tak využít pouze pro orientační stanovení součinitele tření na asfaltových površích.

## 8 Informační zdroje

- [1] History of the Floor Penudulum Test. FloorSlip Limited [online]. [b.r.] [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <http://www.pendulum-test.co.uk/pendulum-test-history.html>
- [2] Historie automobilismu v datech. iDNES.cz [online]. 27.1.2006 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/historie/historie-automobilismu-v-datech.A060127\\_172200\\_auto\\_ojetiny\\_fdv](https://www.idnes.cz/auto/historie/historie-automobilismu-v-datech.A060127_172200_auto_ojetiny_fdv)
- [3] Pendulum Tester. MUNRO INSTRUMENTS [online]. [b.r.] [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.munroinstruments.com/wp-content/uploads/2019/03/Skid-Tester-1.jpg>
- [4] ŠACHL, Jindřich. Problematika měření protismykových kvalit povrchu vozovek. Praha, 1974. Kandidátská disertace. VÚD - Výzkumná oblast pozemních komunikací. Vedoucí práce Emil Šlachta.
- [5] Dynamic Friction Tester. Nippo Sangyo Co., Ltd. [online]. 30.5.2016 [2022-11-25]. Dostupné z: <http://www.nippou.com/en/products/dft.html>
- [6] ČSN EN 13036-1:2010 (73 6177). Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody: Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou. 11-2010.
- [7] WARD, Andrew B., Craig A. RUTLAND a Jeb S. TINGLE. Development of Deceleration-based Runway Friction Measurement Methods [online]. In: . Engineer Research and Development Center, 6-2019, s. 85 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1076083.pdf>
- [8] WALLMAN, Carl-Gustaf a Henrik ÅSTRÖM. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review [online]. In: . 2001, s. 47 [cit. 2022-11-27]. ISSN 0347-6049. Dostupné z: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:673366/FULLTEXT01.pdf>
- [9] ŠACHL (ST.), Jindřich a Jindřich ŠACHL (ML.). Adheze pneumatik v analýze silničních nehod. 10-2008. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě.
- [10] Kolektiv autorů. Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací (dodatek). ČVTS - Dům techniky Praha, 1977.
- [11] The friction ellipse concept. ResearchGate. [online]. 2001 [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/The-friction-ellipse-concept-adapted-from-Wong-2001\\_fig50\\_335970485](https://www.researchgate.net/figure/The-friction-ellipse-concept-adapted-from-Wong-2001_fig50_335970485)

- [12] Kolektiv autorů. Využití nových poznatků o drsnosti a rovnosti vozovek pozemních komunikací a letišť v ČSSR. 1980. Dům techniky ČSVTS Praha.
- [13] MIKULEC, Roman. Systémové Srovnání měření adheze vozovky [online]. 2015 [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103401](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103401)
- [14] HORÁK, Z. a F. KRUPKA. Základy technické fyziky, přehled technické fyziky v celém rozsahu. Praha: Práce - Vydavatelstvo ROH, 1955.
- [15] BINKO, J., KAŠPAR, I., Fyzika stavebního inženýra, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983
- [16] ANDRIEJAUSKAS, Tadas, Viktoras VOROBOVAS a Valdas MIELONAS. Evaluation of skid resistance characteristics and measurement methods. In: The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING [online]. Vilnius, Lithuania. 22-23 May 2014 [cit. 2022-12-13]. ISBN 978-609-457-640-9. ISSN 2029-7092. Dostupné z: [http://enviro2014.vgtu.lt/Articles/4/141\\_\\_Andriejauskas.pdf](http://enviro2014.vgtu.lt/Articles/4/141__Andriejauskas.pdf)
- [17] Slip-friction curves for asphalt dry road condition for different vehicle speeds. In: ResearchGate [online]. 11.2011 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Slip-friction-curves-for-asphalt-dry-road-condition-for-different-vehicle-speeds\\_fig3\\_220674889](https://www.researchgate.net/figure/Slip-friction-curves-for-asphalt-dry-road-condition-for-different-vehicle-speeds_fig3_220674889)
- [18] Friction coefficient versus slip ratio curves for different road surfaces at linear speed of 10m/s. In: ResearchGate [online]. 11.2011 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Friction-coefficient-versus-slip-ratio-curves-for-different-road-surfaces-at-linear-speed\\_fig2\\_220674889](https://www.researchgate.net/figure/Friction-coefficient-versus-slip-ratio-curves-for-different-road-surfaces-at-linear-speed_fig2_220674889)
- [19] KRÖNKE, Martin. 5.3: Anti-roll bar basics (Skip Barber F2000) [online]. 15.1.2017 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://virtualracingschool.com/academy/tag/rt200/>
- [20] ČSN 73 6177. Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek. 11-2015.
- [21] ČSN EN 13036-4:2012 (73 6177). Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody: Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu - Zkouška kyvadlem. 4-2012.
- [22] IWANOWSKI, Paweł, Krzysztof BLACHA a Mariusz WESOŁOWSKI. Review of modern methods for continuous friction measurement on airfield

- pavements [online]. 2018, 10 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/356/1/012002
- [23] DE LEÓN IZEPPI, Edgar, Gerardo FLINTSCH, Samer KATICHA, Kevin MCGHEE a Ross MCCARTHY. LOCKED-WHEEL AND SIDEWAY-FORCE CONTINUOUS FRICTION MEASUREMENT EQUIPMENT COMPARISON AND EVALUATION REPORT [online]. In: . 05.2019, s. 44 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/management/pubs/fhwarc19001.pdf>
- [24] SJÖGREN, Leif. Metodbeskrivning för handdragen friktionsmätare: Bestämning av friktion med en dynamisk mätmetod på cykel- och gångvägar samt vägmarkeringsytor [online]. In: . 26-2019, s. 28 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1412509/FULLTEXT02.pdf>
- [25] T2GO Friction Tester. SARYS-ASFT [online]. 2023 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.sarsys-asft.com/t2go>
- [26] FRITZ, Scott. Operators Handbook T2GO. Köpingsbro, Sweden, 2016.
- [27] TP 207: Experiment přesnosti zařízení pro měření povrchových vlastností a dalších parametrů vozovek pozemních komunikací. 2017. Dostupné také z: [https://pjpgk.rsd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_207\\_2017.pdf](https://pjpgk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_207_2017.pdf)
- [28] ČSN P CEN/TS 13036-2:2010 (73 6177). Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody: Část 2: Stanovení protismykových vlastností povrchu vozovky pomocí dynamických měřících zařízení. 10-2010.
- [29] ASTM E3304-22. Standard Test Method for Measuring the Skid Resistance of Pavements and Other Trafficked Surfaces Using a Walking Speed Continuous Friction-Measuring Equipment (CFME) Fixed-Slip Technique. 11-2022.
- [30] ITEH STANDARDS: SOURCE FOR STANDARDS, ENGINEERING SPECIFICATIONS, MANUALS AND TECHNICAL PUBLICATIONS [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://standards.iteh.ai/>
- [31] ASTM International [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.astm.org/>
- [32] ASTM E2883-13(2019). Standard Guide for Evaluation and Calibration, Continuous Friction Measurement Equipment (CFME). 12-2019.
- [33] ASTM E274/E274M-15(2020). Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire. 6-2020.



- [34] ASTM E1859/E1859M-11(2020). Standard Test Method for Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique. 6-2020.
- [35] ASTM E2340/E2340M-11(2021). Standard Test Method for Measuring the Skid Resistance of Pavements and Other Trafficked Surfaces Using a Continuous Reading, Fixed-Slip Technique. 2-2021.
- [36] RADO, Zoltan. Calibration Report. 3-2012. The Pennsylvania State University, 201 Research Office Building, University Park, PA 16802-4710: The Larson Transportation Institute - Vehicle Systems & Safety Program.
- [37] KOPŘIVA, Čestmír. Organizační pokyny a harmonogram k realizaci ověřovacího měření 5-2022 pro zařízení měřící součinitel podélného tření povrchů, dále jen Pokyny. Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, zastoupený Ing. Čestmírem Kopřivou, 2022.
- [38] Specifikace pracovních povrchů: Srovnávací měření konané dne 10.11.2021 - přílohy 3.1 - 3.4. Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, zastoupený Ing. Čestmírem Kopřivou, 2021.
- [39] FRITZ, Scott a Rasmus PERSSON. Correlation between T2GO and T-5S. SE-271 73 Köpingsbro, Sweden, 2021.
- [40] FORS, Carina. Validering av mobila instrument för funktionsmätning av vägmarkering: Intyg. 2018. SE-581 95, Linköping, Sweden.
- [41] JALALKAMALI, R., M.M. DIBAEI, A. HASSANI a M.H. JALAL KAMALI. An Investigation of the Relationship among Skid Resistance, Mean Texture Depth and Abrasion Resistance for Different Macrotextures of Concrete Pavements [online]. In: . University of Tehran, 2021 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: doi:10.22059/CEIJ.2020.297661.1656

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rovnováha sil tření ve vodorovném stavu (zdroj: [15]) .....	11
Obrázek 2 – Znázornění podílu adhezní a hysterezní složky tření vztažené k rychlosti (zdroj: [10]) .....	13
Obrázek 3 - Znázornění adhezního a hysterezního pohybu (zdroj: [10]) .....	13
Obrázek 4 - Procesy součástí hystereze (zdroj: [10]) .....	14
Obrázek 5 - Graf součinitele adheze v závislosti na rychlosti a charakteru povrchu (zdroj: [10]) .....	15
Obrázek 6 - Adhezní elipsa (zdroj: [11]) .....	16
Obrázek 7 - Standardy měřících pneumatik – a) ASTM E1136 b) ASTM E501 c) ASTM E524 d) T49 (zdroj: [8]) .....	19
Obrázek 8 - Příklad závislosti charakteristiky součinitele adheze na skluzu, na suchém asfaltovém povrchu, v závislosti na rychlosti (zdroj: [17]) .....	21
Obrázek 9 - Orientační charakteristiky součinitele adheze pro různé povrchy, při rychlosti 10 m/s a znázornění oblasti s maximální hodnotou adheze v oblasti tzv. sweet-spotu (zdroj: [18]) .....	22
Obrázek 10 - Vliv zatížení pneumatiky na součinitel adheze (zdroj: [19]) .....	22
Obrázek 11 - Zobrazení délky brzdné dráhy na površích s různým součinitelem adheze, při jízdní rychlosti 90 km/h a reakční dobou řidiče 1 s (zdroj: [8]) .....	25
Obrázek 12 - Procentuální rozložení odolnosti povrchů vůči smyku v nehodových a standardních lokalitách (zdroj: [8]) .....	26
Obrázek 13 - Míra rizika vzniku dopravní nehody vztažená k odolnosti povrchu vůči smyku. (zdroj: [8]) .....	27
Obrázek 14 - Vztah mezi počtem nehod a součinitelem adheze povrchu komunikace (zdroj: [8]) .....	28
Obrázek 15 - Kyvadlový přístroj pro měření adheze (zdroj:[3]) .....	30
Obrázek 16 - Dynamické zařízení pro měření adheze (zdroj: [5]) .....	32
Obrázek 17 - Pryžové patky dynamického měřícího zařízení (zdroj: [5]) .....	32
Obrázek 18 - Silové působení při měření dynamickým měřícím zařízením (zdroj: [5]) .....	32
Obrázek 19 - Dynamometrický přívěs VÚD-2 tažený vozidlem Mercedes 300 SEL 6.3 (zdroj: [10]) .....	33
Obrázek 20 - Technický výkres zařízení T2GO (zdroj:[26]) .....	41
Obrázek 21 - Skidometr T2GO .....	42

Obrázek 22 - Dofukování pneumatik skidometru T2GO v průběhu kalibrace .....	44
Obrázek 23 - Korelace skidometru T2GO a skidometru T-5S provedená společností SARSYS-ASFT (zdroj: [39]) .....	46
Obrázek 24 - Korelace skidometru T2GO s VTI PFT zařízením (zdroj: [40]) .....	47
Obrázek 25 - Výstupní graf z korelačního měření Pensylvánské státní univerzity stanovení odchylky T2GO od DFT (zdroj: [36]) .....	47
Obrázek 26 - Rozložení linií s referenčními povrchy na bývalém vojenském letišti Kámen (LKPV) (zdroj: [38]) .....	49
Obrázek 27 - Příprava skidometru T2GO před začátkem měřících prací .....	51
Obrázek 28 - Uživatelské prostřední aplikace T2GO.exe zobrazující on-line měřená data .....	52
Obrázek 29 - Průběh měření skidometrem T2GO .....	53
Obrázek 31 - Charakteristický snímek asfaltového povrchu 1F .....	60
Obrázek 32 - Charakteristický snímek cementobetonového povrchu 2F .....	62
Obrázek 33 - Charakteristický snímek VDZ bez balotinového posypu 4F .....	63
Obrázek 34 - Charakteristický snímek VDZ s balotinovým posypem 5F .....	65
Obrázek 35 - Charakteristický snímek bezpečnostní protismykové úpravy 6F .....	66

## 10 Seznam grafů

Graf 1 - Stanovení opakovatelnosti měření skidometrem T2GO ve směru staničení .	56
Graf 2 - Stanovení opakovatelnosti měření proti směru staničení skidometrem T2GO .....	57
Graf 3 - Srovnání přesnosti měření provedených ve směru a proti směru staničení skidometrem T2GO.....	58
Graf 4 - Srovnání měření skidometrem T2GO v květnu a říjnu .....	59
Graf 5 – Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na asfaltovém povrchu .....	61
Graf 6 - Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na cementobetonovém povrchu.....	62
Graf 7 – Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na VDZ bez balotinového posypu a s balotinovým posypem .....	64
Graf 8 - Srovnání měření T2GO x BV 11 x TRT na bezpečnostní protismykové úpravě .....	66
Graf 9 - Souhrnné vyhodnocení korelace zařízení T2GO x BV 11 x TRT.....	68
Graf 10 - Korelace skidometru T2GO a zařízení TRT .....	69
Graf 11 - Korelace skidometru T2GO a skidometru BV 11 .....	70
Graf 12 - Zobrazení hodnot PTV kyvadlového zařízení a součinitelů tření skidometru T2GO.....	74
Graf 13 - Zobrazení hodnot skidometru BV 11, TRT a kyvadlového zařízení SRT.....	75
Graf 14 - Korelace zařízení TRT, skidometru BV 11 s kyvadlovým zařízením SRT.....	76
Graf 15 - Korelace T2GO a kyvadlového zařízení SRT .....	76

## 11 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Orientační hodnoty součinitele adheze pneumatiky vůči různým povrchům vozovek (zdroj: [13]).....	15
Tabulka 2 - Koeficient přepočtu součinitele adheze na nejnižší letní hodnoty (zdroj:[9]) .....	17
Tabulka 3 - Vlnové délky jednotlivých skupin textur povrchů vozovky (zdroj: [7]) .....	24
Tabulka 4 - Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD (zdroj: [20]).....	30
Tabulka 5 - Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV (zdroj: [20]).....	31
Tabulka 6 - Hodnocení protismykových vlastností $F_p$ dle klasifikačních stupňů v závislosti na rychlosti (zdroj: [20]) .....	35
Tabulka 7 - Výběr nejčastěji využívaných zařízení pro kontinuální měření součinitele tření (zdroj: [8][16][22][24][25][26][29]) .....	38
Tabulka 8 – Tabulka referenčních povrchů letiště Kámen (zdroj: [38]).....	50
Tabulka 9 - Tabulka veškerých měření provedených za účelem experimentu ověření přesnosti skidometru T2GO .....	54
Tabulka 10 - Náhled zpracovávaných dat linie L2, již rozdělených na 20 m dlouhé úseky.....	55
Tabulka 11 - Souhrn průměrných hodnot měření skidometrem T2GO na linii L2, v délce 45 m.....	57
Tabulka 12 - Souhrn rozdílů měření součinitele tření skidometrem T2GO mezi měřeními v květnu a říjnu .....	59
Tabulka 13 - Souhrnná tabulka součinitelů tření korelovaných zařízení, se stanovenými odchylkami měření od skidometru T2GO .....	67
Tabulka 14 - Souhrnná tabulka součinitelů tření korelovaných zařízení a míra jejich shody vyjádřena v %, s legendou.....	67
Tabulka 15 – Staničení vybraných charakteristických bodů měřených povrchů.....	72
Tabulka 16 - Přehled hodnot charakteristických bodů jednotlivých povrchů .....	73
Tabulka 17 - Souhrn celkových korelací srovnávaných zařízení.....	77