



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Lukáš Vopava

**FOTOGRAMMETRICKÉ MĚŘENÍ TEXTURY
POVRCHU VOZOVKY**

Diplomová práce

2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
d ě k a n

Korvická 20, 110 00 Praha 1

K622.....Ústav soudního znalectví v dopravě

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Lukáš Vopava

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky**

Název tématu (anglicky): **Photogrammetric Measurement of Road Surface Texture**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Vlastnosti adheze a textury povrchu vozovky
- Používané měřicí metody pro určení součinitele adheze
- Zákonitosti fotogrammetrie, příprava experimentu
- Principy akcelerometrů, příprava experimentu
- Experiment (měření součinitele adheze na komunikaci)
- Vyhodnocení experimentu - využitelnost fotogrammetrie v problematice měření součinitele adheze
- Závěr

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího práce


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

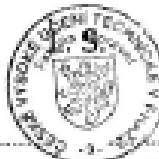
Seznam odborné literatury: Pavelka, K.; Fotogrammetrie 1; ISBN 978-80-01-04249-6, ČVUT 2009
Němec, Z.; Prostředky automatického řízení elektrické; Ústav automatizace a informatiky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně
Šachl, J.; Problematika měření protismykových kvalit povrchu vozovek; VÚD Praha


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **12. července 2014**
(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: **31. května 2015**
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. Jindřich Šachl, CSc.
vedoucí
Ústavu soudního znelectví v dopravě




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Světek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Lukáš Vopava
jméno a podpis studenta

V Praze dne 12. července 2014

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak panu doc. Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. a rovněž paní Ing. Bc. Kateřině Mičunkové a panu Ing. Zdeňkovi Svatému za jejich odborné vedení a konzultování diplomové práce a za cenné rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. Poděkování patří též pánům Ing. Lukáši Valentovi a Ing. Tomáši Horcovi za jejich odborné rady a pomoc při vyhodnocování mých naměřených dat. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a mentální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

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 žádný důvod proti užití 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 31. května 2015

.....*Ľgata*.....

Podpis

Název práce: Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky
Autor: Bc. Lukáš Vopava
Obor: Dopravní systémy a technika
Druh práce: Diplomová práce
Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D
Ústav soudního znalectví v dopravě K622
Fakulta dopravní, ČVUT v Praze
Počet stran: 88
Počet příloh: 17
Jazyk: Čeština

Abstrakt:

Diplomové práce „Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky“ seznamuje se základními teoretickými fyzikálními principy adheze, faktory ovlivňující přilnavost vozidel, zákonitostmi, vývojem fotogrammetrie a principy akcelerometrů. V praktické části bylo provedeno měření a vyhodnocení textury povrchu vozovky novými nepoužívanými postupy, použitím fotogrammetrického softwaru a akcelerometrů. Pro porovnání byly provedeny dnes používané metody, odměrná metoda a zkouška kyvadlem.

Klíčová slova: protismykové vlastnosti vozovky, fotogrammetrie, akcelerometr, měření součinitele adheze, textura povrchu vozovky

Title: Photogrammetric Measurement of Road Surface Texture
Author: Bc. Lukáš Vopava
Branch: Transportation Systems and Technology
Document Type: Diploma thesis
Thesis advisor: doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D
Department of Forensic Experts in Transportation K622
Faculty of Transportation Sciences, CTU in Prague
Number of pages: 88
Number of appendices: 17
Language: Czech

Abstract:

Diploma Thesis „Photogrammetric Measurement of Road Surface Texture“ discusses basic physical principles of adhesion, factors affecting adhesion of road vehicles, regularities, evolution of photogrammetry and principles of accelerometers. In practical part there were executed measurements and evaluation of road surface texture with new unused procedures, using photogrammetric software and accelerometers. For comparison there were executed methods used nowadays, volumetric patch technique and the pedulum test.

Keywords: skid resistance of road, photogrammetry, accelerometer, measuring adhesion, texture of the road surface

Obsah

1	Úvod	11
2	Vlastnosti adheze	12
2.1	Amonton – Coulombův zákon	12
2.2	Součinitel adheze pneumatiky	14
2.3	Skuzová charakteristika	15
2.4	Adhezní elipsa	16
3	Adheze za různých stavů vozovky a pneumatiky	18
3.1	Vliv mikro a makrotextury povrchu vozovky	18
3.2	Vliv množství vody	20
3.3	Vliv rychlosti	21
3.4	Vliv skluzu kola	23
3.5	Vliv ročního období a teploty	23
3.6	Vliv dezénu a složení pryže běhounu pneumatiky	23
3.7	Vliv znečištění vozovky	24
3.8	Vliv stáří vozovky	25
3.9	Vliv huštění pneumatiky a zatížení kola	25
3.10	Vliv polohy jízdních stop na vozovce	26
4	Používané měřící metody	27
4.1	Odměrná metoda	29
4.1.1	Měření	29
4.1.2	Vyhodnocení	32
4.2	Zkouška kyvadlem	32
4.2.1	Měření	32
4.2.2	Vyhodnocení	35
5	Fotogrammetrie	37
5.1	Historie	37
5.1.1	První etapa	37
5.1.2	Druhá etapa	38
5.1.3	Třetí etapa	39
5.1.4	Čtvrtá etapa	39
5.1.5	Pátá etapa	39
5.2	Dělení fotogrammetrie	40
5.2.1	Podle počtu vyhodnocených snímků	40
5.2.1.1	Jednosnímková fotogrammetrie	40

5.2.1.2 Vícesnímková fotogrammetrie	40
5.2.2 Podle způsobu zpracování snímků	41
5.2.2.1 Analogová metoda	41
5.2.2.2 Analytická metoda	41
5.2.2.3 Digitální metoda	41
5.2.3 Podle záznamu výstupních hodnot	41
5.2.3.1 Grafické	41
5.2.3.2 Numerické	42
5.2.4 Podle polohy stanoviště	42
5.2.4.1 Pozemní fotogrammetrie	42
5.2.4.2 Letecká fotogrammetrie	42
5.2.4.3 Družicová fotogrammetrie	43
5.3 Základy fotogrammetrie	43
5.3.1 Vnitřní orientace	43
5.3.2 Vnější orientace	44
5.3.3 Snímkové souřadnice a úhly	45
5.4 Digitální fotogrammetrie	46
5.4.1 Vznik digitálního obrazu	46
5.4.2 Využití digitální fotogrammetrie	47
5.5 Optické korelační systémy	47
6 Akcelerometry	48
6.1 Dělení akcelerometrů	49
6.1.1 Piezoelektrický akcelerometr	49
6.1.2 Kapacitní akcelerometr	50
6.1.3 Tepelný akcelerometr	50
6.1.4 Piezodoporový akcelerometr	51
7 Praktická část	52
7.1 Cíl měření	52
7.2 Lokalita měření	52
7.3 Způsob měření	54
7.4 Odměrná metoda – zhodnocení	55
7.5 Zkouška kyvadlem – zhodnocení	56
7.6 Zjišťování součinitele adheze akcelerometrem a záznamovým zařízením	56
7.6.1 Použitá zařízení a software	56
7.6.2 Příprava a vlastní měření	58
7.6.3 Vyhodnocení	60
7.7 Zjišťování střední hloubky makrotextury za využití fotogrammetrie	63

7.7.1	Použitá zařízení a software	63
7.7.2	Příprava a vlastní měření	65
7.7.3	Vyhodnocení	68
7.7.3.1	Zjištění souřadnic targetů	68
7.7.3.2	Vytvoření modelu textury povrchu vozovky	70
7.7.3.3	Zjištění objemu materiálu	75
7.7.3.4	Výpočet střední hloubky makrotextury	76
7.7.3.5	Zhodnocení výsledků a využitelnosti fotogrammetrie	77
8	Závěr	81
9	Seznam použité literatury	82
10	Seznam obrázků	85
11	Seznam tabulek	87
12	Seznam příloh	88

Seznam použitých zkratk

ABS – Anti-lock Brake Systém
BMP – BitMap image file
cca. – circa
CCD – Charge Coupled Device
CMOC – Complimentary Metal-Oxide Semiconductor
ČSN – Česká státní norma
ČVUT – České vysoké učení technické
DPZ – dálkový průzkum země
DWG – AutoCAD Drawing
DXF – Drawing Exchange Format
ESP – elektronický stabilizační program
FBX – Film Box
GIS – Geografické informační systémy
GPS – globální polohovací systém
IIR – infinite impulse response
IMU – inerciální měřící jednotka
ISO – International Organization for Standardization
JPEG – Joint Picture Experts Group
LCD – Liquid crystal display
MOV – Quick Time Movie
MPD – Mean Profile Depth
MTD – Mean Texture Depth
NEF – Raw image format (Nikon)
 OT_p – výsledná hodnota času vytékání
PNG – Portable Network Graphic
PTV – Pendulum Test Value
RAW – Raw image format
RMS – Root Mean Square
SfM – Structure for Motion
TRT – Tatra Runway Tester
TXT – Text file
XML – Extensible Markup Language format

Seznam použitých veličin a jejich zkratk

<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Veličina</u>
α	[°]	úhel sklonu
α_0	[°]	mezní hodnota úhlu sklonu
R	[N]	reakce podložky
G	[N]	tíha tělesa
F_n	[N]	kolmá složka tíhy
N	[N]	normálová síla
T	[N]	tečná síla
f_0	[-]	součinitel smykového tření ve statické poloze
μ	[-]	součinitel adheze
σ_B	[%]	brzdny skluz
c	[m]	hlavní poloosa elipsy
d	[m]	vedlejší poloosa elipsy
μ_x	[-]	adheze v podélném směru
μ_y	[-]	adheze v příčném směru
v	[m/s]	rychlost
p	[Pa]	tlak
Z_K	[N]	zatížení kola
f_p	[-]	součinitel podélného tření
f_b	[-]	součinitel bočního tření
V	[mm ³]	objem
D	[mm]	průměr
v_i	[-]	jednotlivé hodnoty každého kyvu
α	[°]	úhel stočení
ω	[°]	úhel osy fotografování
χ	[°]	úhel potočení snímků ve vlastní rovině
a	[m/s ²]	zrychlení
F	[N]	síla
Q	[J]	teplo
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
H'	[-]	hlavní bod snímku
M'	[-]	střed snímku
c_k	[-]	konstanta komory
H' ₀	[-]	hlavní objektivový bod

1 Úvod

Měření protismykových vlastností povrchu vozovky, tedy měření součinitele adheze a makrotextury nebo mikrotextury povrchu vozovky, má v České republice dlouhou historii. Počátky měření protismykových vlastností povrchu vozovky sahají do přelomu 60. a 70. let 20. století. Na území České republiky lze zjišťovat hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek odměrnou metodou, zkouškou kyvadlem, profilometry, stacionárním výtokoměrem a dynamickým měřícím zařízením. Nejznámější dynamickým zařízením je Tatra Runway Tester (TRT), které je i referenčním zařízením. Jedná se však o poměrně zastaralé metody měření. Těmito schválenými postupy měření se zabývala má bakalářská práce „Adheze pneumatik a její měření“. Svou diplomovou prací „Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky“ na tuto bakalářskou práci navazuji. Jak už bylo řečeno, jedná se o zastaralé metody, a proto se zde otvírají možnosti využití nových neozkoušených metod měření. Právě to, zda je možné tyto zastaralé a používané metody nahradit novými moderními metodami je předmětem této diplomové práce.

V nových metodách měření jsem využil principů fotogrammetrie a měření pomocí akcelerometru. Zkouška používající fotogrammetrické vyhodnocení by mohla nahradit dosavadní měřící zkoušku zjišťující střední hloubku makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou. A využitím akcelerometru by se naopak dala zjistit hodnota mikrotextury povrchu vozovky. Obě zkoušky potřebují k vyhodnocení počítačový software, tudíž při měření je měřitel nucen pobýt venku jen nejkratší nutnou dobu samotného měření.

Fotogrammetrie je vědní obor, jehož počátky sahají až na úplný začátek druhého tisíciletí. Její zjednodušení a častější používání ovlivnil vznik fotografie. Masovějšího využívání však přišlo až s nástupem digitálních fotoaparátů, rychlých počítačů a vznikem vyhodnocujících softwarů. Tato kombinace způsobila, že fotogrammetrii může nyní použít téměř každý při vyhodnocení fotografických snímků na svém počítači bez nutnosti použití speciálních a drahých přístrojů.

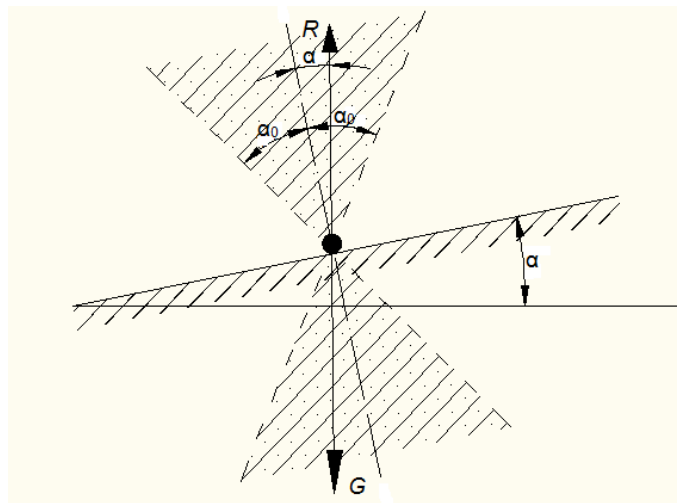
2 Vlastnosti adheze

2.1 Amonton – Coulombův zákon

Základním zákonem pro určování součinitele adheze nebo tření je takzvaný Amonton – Coulombův zákon. Proto můžeme říci, že pojmy adheze a tření jsou vůči sobě nevyhraněné. Zákonitosti těchto pojmů se v poměrech přenosu sil ve stykové ploše povrchu vozovky s elementy pryže běhounu pneumatiky prolínají. Rozdělit tyto pojmy můžeme následovně [4]:

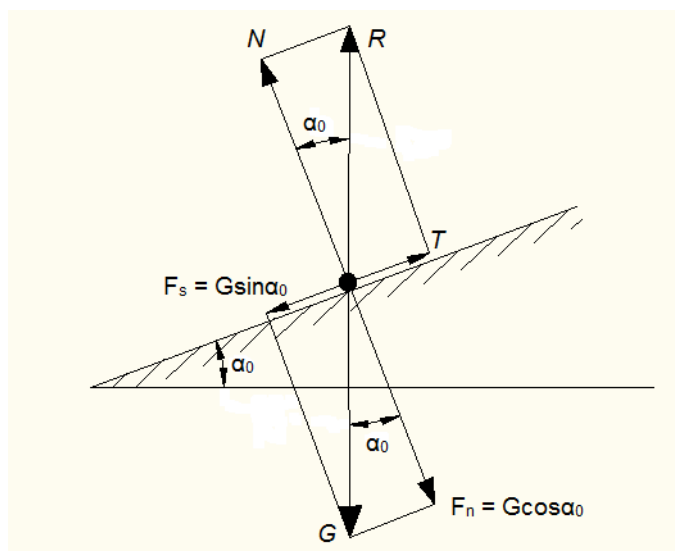
- Pojem tření pro poměry při smýkání
- Pojem adheze pro poměry bez posunu anebo s nepatrnými posuny ve stykové ploše při odvalování kola

Odvodit Amonton – Coulombův zákon můžeme pomocí statického a smykového tření. Jestliže položíme malé těleso na nakloněnou rovinu o úhlu sklonu α , který je menší než určitá mezní hodnota α_0 , zůstane těleso v klidu. Úhel sklonu α_0 je závislý na drsnosti obou povrchů. Čím jsou povrchy drsnější, tím je úhel sklonu α_0 větší. Tímto je určena podmínka lpění ($\alpha \leq \alpha_0$) a úhel tření v klidu.



Obr. 1 – Úhel tření [5]

Zůstane-li nakloněná rovina stále nakloněna o úhel α_0 , je na ni položené těleso v klidu a vyruší se síla reakce podložky R s tíhou tělesa G . Nastane-li tento jev, jsou vyrušeny i síly působící kolmo na nakloněnou rovinu (kolmá složka tíhy F_n a kolmá reakce podložky N), jak je ukázáno na obr. 2. A jelikož je úhel tření α_0 pořád stejný pro dva dané povrchy, můžeme Amonton – Coulombův zákon vyjádřit tak, že síla tření je přímo úměrná tlakové síle, kterou působí těleso na druhé.



Obr. 2 – Rovnováha na nakloněné rovině [5]

$$T = f_0 N \quad (1)$$

Součinitel smykového tření ve statické poloze f_0 je závislý stejně jako úhel tření na vlastnostech stýkajících se látek a drsnosti povrchů styčných ploch.

Takto odvozený Amonton – Coulombův zákon platí pro suché tření mezi tuhými materiály. Jelikož je tření mezi povrchem vozovky a pneumatikou ovlivněno mnoha faktory, neodpovídá tak úplně fyzikálním zákonům podle Coulomba a účinnost je nedokonalá. Tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky je závislé na přítláčné síle, rychlosti skluzu a styčné ploše.

Různé fáze tření mezi povrchem vozovky a pneumatiky:

- Tření statické – uplatněné při stání vozidla na svahu
- Tření smykové – uplatněno, když se vozidlo dostává do smyku. Změnou prokluzu pneumatiky na skluz vznikne smyk. Při smyku se posouvají elementy pneumatiky proti elementům vozovky ve stykové ploše.
- Tření valivé – uplatněno u pohybujícího se vozidla. Složky akce a reakce si jsou rovny na stykové ploše vozovky a pneumatiky. Dochází jen k prokluzu. Skluzu elementů pneumatiky k elementům povrchu vozovky nejdou změřit.

Tab. 1 – Porovnání tření tuhých těles a pryže [3]

Tuhá tělesa	Pryž
<i>Amonton – Coulombův zákon platí</i>	<i>Amonton – Coulombův zákon neplatí</i>
Tření je nezávislé na tvaru a na velikosti styčné plochy. (Jde o plochu zjevnou – skutečná plocha je z důsledku tvrdosti značně menší.)	Skutečná styčná plocha je u pružných těles relativně velká, při velké normálové síle se shoduje se zjevnou styčnou plochou.
Třecí tangenciální síla je úměrná přítláčné normálové síle; jejich poměr je konstantní (nezávislé na rychlosti skluzu) a označuje se jako součinitel tření.	Poměr tangenciální třecí síly a přítláčné normálové síly není konstantní.
Tangenciální třecí síla právě potřebná k vyvolání skluzu je o málo větší než síla potřebná k udržení skluzu. Tato síla je pak v širším rozmezí rychlostí skluzu téměř nezávislá na rychlosti. Přejed z klidu do pohybu je náhlý. Existuje jasně určená mez přilnavosti.	Přejed z klidu do pohybu je postupný. Mez přilnavosti je nevýrazná.

2.2 Součinitel adheze pneumatiky

Součinitele tření pneumatiky se pohybuje mezi hodnotami 0,1 – 0,9. V ojedinělých případech může hodnota součinitele tření překročit hodnotu jedna. Toho se využívá hlavně na závodních vozech (formule 1, monster trucky). Pneumatiky těchto vozů jsou vyrobeny bez dezénu s hladkou běhounovou plochou a ze super měkké pryže. U takto vyrobených pneumatik hodnota součinitele vzrůstá. Lze dosáhnout hodnot až $\mu = 2,5$

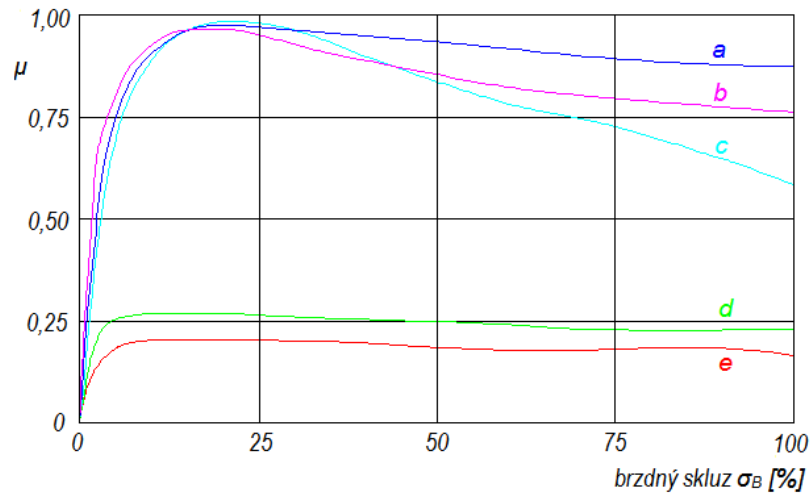
Tab. 2 – Součinitel adheze na různém povrchu [6]

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

2.3 Skluzová charakteristika

Skluzová charakteristika pneumatiky je grafické znázornění vzniklého skluzu a součinitele tečného tření. Nejvyšších hodnot se zpravidla dosahuje za skluzu 15 – 30 % a poté pozvolná klesá. Jak je vidět na obr. 3, každý povrch má různý průběh skluzové charakteristiky. Nejlepších hodnot na skluzové charakteristice dosahuje povrch vozovky se suchým betonem. O něco horší průběh má suchý asfalt. Suchý asfalt má však strmější nárůst hodnot součinitele adheze při velmi nízkém brzděném skluzu než suchý betonový povrch vozovky. Nejnižších hodnot naopak dosahuje uježděný sníh nebo hladký led. Na těchto površích atakuje křivka skluzové charakteristiky sotva hodnoty

součinitele adheze 0,25. Naopak pokles pak není tak prudký jako u suchého asfaltu či betonu. Její průběh se poměrně dlouho drží její maximální hodnoty.



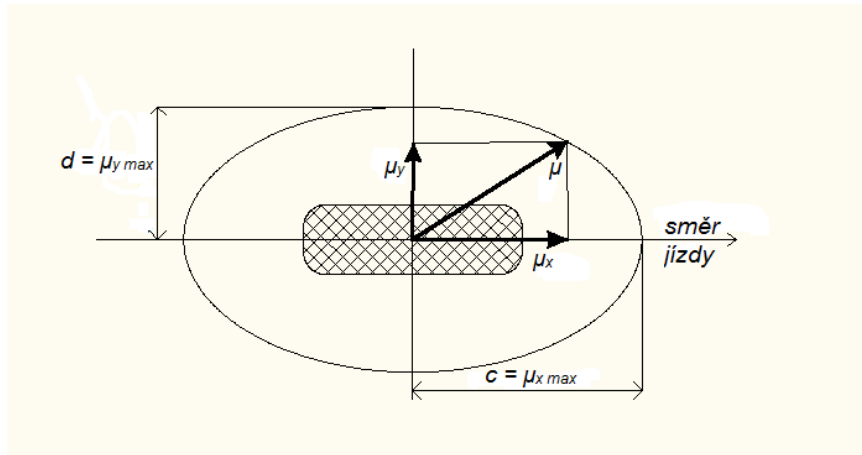
Obr. 3 – Skluzová charakteristika pneumatiky (a – suchý beton, b – suchý asfalt, c – mokrý beton, d – uježděný sníh, e – hladký led [7])

Velikost součinitele adheze μ ovlivňují především tyto vlivy [8]:

- vlastnosti povrchu pneumatik
- vlastnosti povrchu vozovky
- poměry ve stopě kola
- rychlost jízdy

2.4 Adhezní elipsa

Na styku povrchu vozovky a pneumatiky se adhezní síla využívá na boční vedení ve směru kolmém a na rozjezd nebo brzdění ve směru podélném. Tato síla jde zobrazit pomocí adhezní elipsy (Kammova kružnice). Elipsa nám udává maximálně využitelnou součtovou adhezi v požadovaném směru. Adhezní síla je jen jedna a v adhezní elipse je rozdělena do složky podélné X a příčné Y.

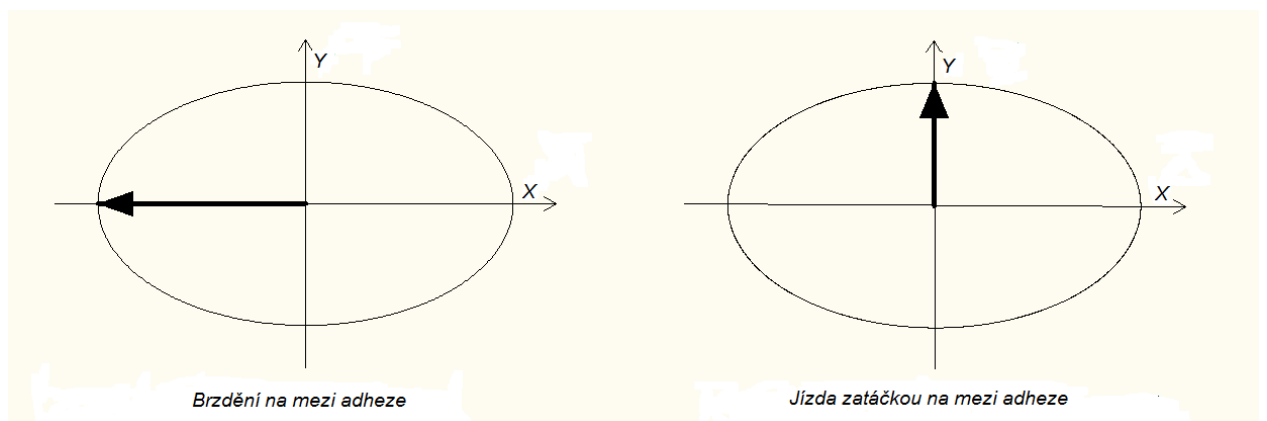


Obr. 4 – Adhezní elipsa [6]

Vektorovým součtem využití adheze ve směru podélném (μ_x) a příčném (μ_y) zjistíme využití adheze na styku kola s vozovkou. Celkový součet nemusí být roven mezní hodnotě součinitele adheze μ , nemůže ji však překročit. Při brzdění v zatáčce zjistíme maximální využití adheze ze vzorce:

$$\mu_x = \frac{c}{d} \sqrt{d^2 - \mu_y^2} \quad (2)$$

Když použijeme veškerou využitou adhezi k zpomalování vozidla, nezbyde nám nic na vedení kola v příčném směru ve vektorovém součtu. Není zde boční síla potřebná na zatáčení (brzdění na mezi adheze). Naopak projíždíme-li oblouk mezní rychlostí, celková využitá adheze je využita k vyvození dostředivé síly v příčném směru, aby byla síla odstředivá překonána. Proto nám nic nezbyde na brzdění. Pokusíme-li se zabrzdít, projedeme zatáčku po větším poloměru (jízda zatáčkou na mezi adheze).



Obr. 5 a, b – Mezní situace v adhezní elipse [6]

3 Adheze za různých stavů vozovky a pneumatiky

Hodnota součinitele adheze se na každém povrchu vyvíjí jinak. Záleží, zda je povrch vozovky suchý nebo mokrý. Hodnota součinitele adheze může klesat pozvolně nebo naopak strmě. Jednoznačně ale můžeme říci, že na mokrém povrchu hodnoty součinitele adheze klesají vždy se zvyšující se rychlostí. Ale není to pouze voda a rychlost, jenž může za snižování hodnoty součinitele adheze. Součinitel adheze ovlivňuje řada dalších faktorů.

Vlivy ovlivňující součinitel adheze:

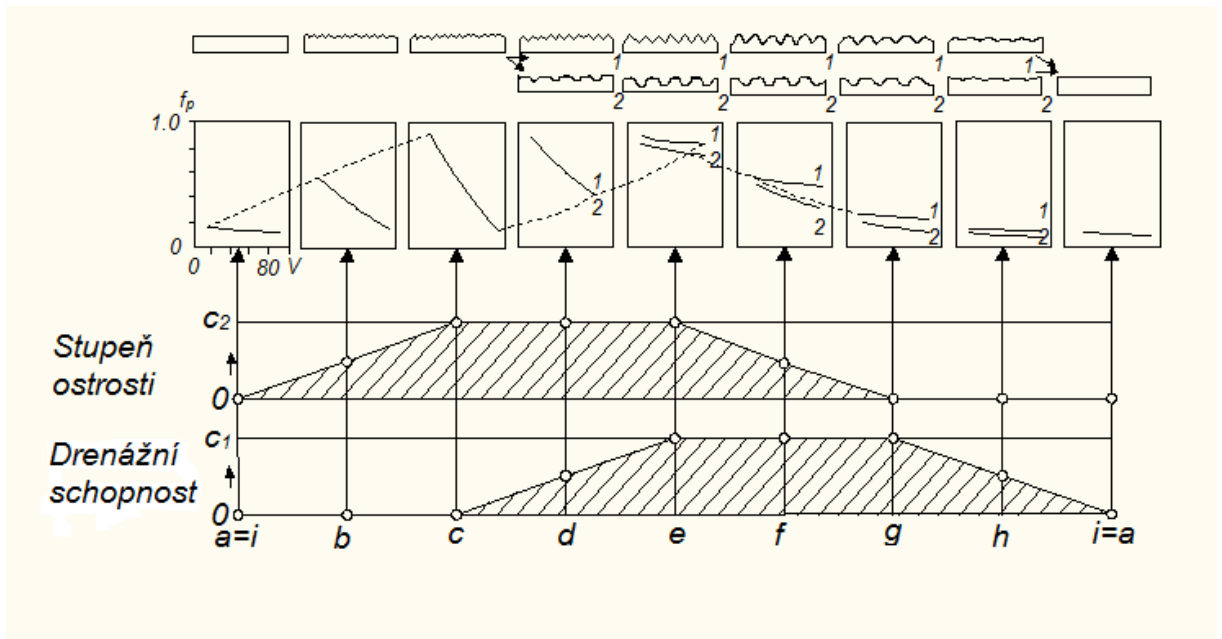
- Vliv mikro a makrotextury povrchu vozovky
- Vliv množství vody
- Vliv rychlosti
- Vliv skluzu kola
- Vliv teploty a ročního období
- Vliv dezénu a složení pryže pneumatiky
- Vliv znečištění vozovky
- Vliv stáří vozovky
- Vliv huštění pneumatiky a zatížení kola
- Vliv polohy jízdních stop na vozovce

3.1 Vliv mikro a makrotextury povrchu vozovky

Textura povrchu vozovky je morfologické uspořádání částic materiálu vytvářející povrch vozovky [4].

- Mikrotextura – výstupky na jednotlivých zrnech kameniva v krytu vozovky
- Makrotextura – výstupky na povrchu vozovky. Udává nám drenážní schopnost odvádění vody z povrchu vozovky.

Vliv textury povrchu vozovky na součinitel adheze se projevuje hlavně za mokra. Mikrotextura ovlivňuje hodnoty součinitele adheze při malých rychlostech. Vliv makrotextury ovlivní strmost poklesu hodnot součinitele adheze při vzrůstající rychlosti. Můžeme tedy říci, že i přes výraznou makrotexturu bude povrch vozovky kluzký za mokra, pokud nebude mít žádnou mikrotexturu.



- 1 drenážní systém mezi zrna
- 2 vtlačený (vybroušený) drenážní systém
- C₁ největší možná ostrost
- C₂ nejúčinnější drenážní systém

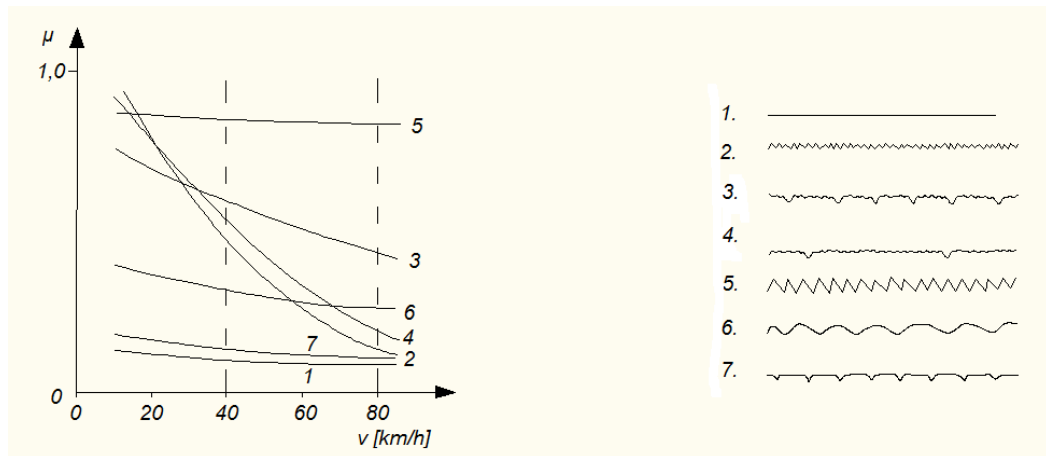
Obr. 6 – Vliv textury na součinitel adheze za mokra [3]

Z grafu lze vyčíst tyto zákonitosti [3]:

- Stupeň ostrosti textury (mikrotextura) a v mnoha případech i drenážní schopnost povrchu (makrotextura) určuje strmost čáry závislosti součinitele tření na rychlosti jízdy.
- Při nízké rychlosti je stupeň ostrosti textury určující pro hodnotu součinitele tření. Toto probíhá nezávisle na drenážní schopnosti povrchu vozovky. O odvádění vody ze stykové plochy se stará pneumatika.
- Při vyšších rychlostech je hodnota součinitele tření určena drenážní schopností povrchu vozovky. Závisí to ale i se stupněm ostrosti textury. Součinitel tření při nízkých rychlostech za mokra je vždy větší než součinitel tření při rychlostech vyšších. Není to ovlivněno ani tím, kdyby byla drenážní schopnost povrchu vozovky největší.
- Je-li drenážní schopnost povrchu vozovky konstantní, pak sklon čáry je závislý pouze na stupni ostrosti textury. Jestliže se stupeň ostrosti textury zvyšuje, roste sklon čáry (přechod z typu a na c).

- Je-li stupeň ostrosti textury konstantní, pak sklon čáry je závislý pouze na drenážní schopnosti povrchu vozovky. Jestliže se drenážní schopnost povrchu vozovky zvyšuje, klesá sklon čáry (přechod z typu c na e).
- Je-li drenážní schopnost povrchu vozovky velmi vysoká, zůstává čára skoro vodorovná. Výška čáry v grafu je určena stupněm ostrosti textury (typ e, f, g).
- Je-li stupeň ostrosti textury velmi nízký, zůstává čára skoro vodorovná při velmi nízkých hodnotách, a to nezávisle na drenážní schopnosti povrchu vozovky (typ g, h, i).

Povrch vozovky má významný vliv na hodnoty součinitele adheze. Nejvíce kluzké za mokra jsou povrchy hladké. S rostoucí drsností povrchu vozovky rostou i hodnoty součinitele adheze, jak je znázorněno na obrázku č. 7.

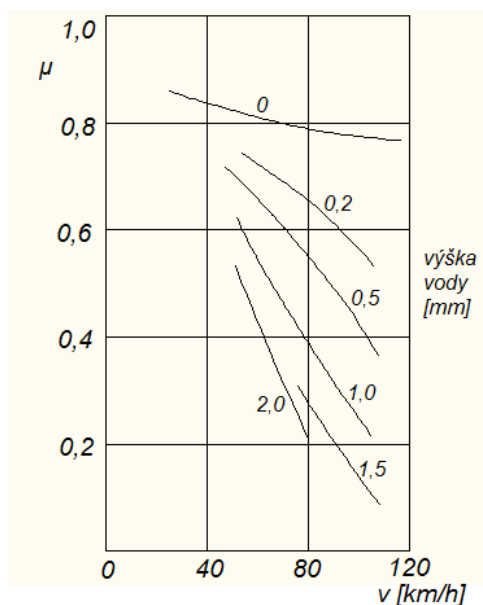


Obr. 7 – Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze [7]

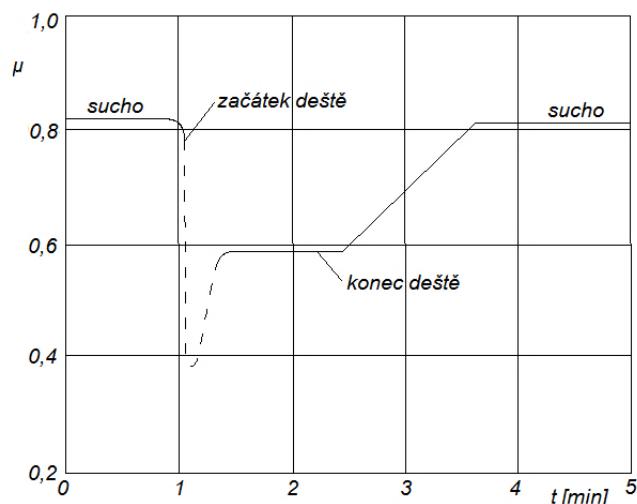
3.2 Vliv množství vody

Množství vody na vozovce ovlivňuje interakci pneumatiky s vozovkou, a tím přímo i hodnotu součinitele adheze.[4]

Jestliže není vozovka zaplavená, nehraje do rychlosti 50 km/h tloušťka vodního filmu žádnou roli a tento vliv se neuplatňuje, jelikož dezén pneumatiky stačí všechnu vodu odvést. Až po překročení 50 kilometrové rychlosti se začíná tento vliv projevovat. Mezi pneumatikou a povrchem vozovky se začíná zmenšovat styková plocha. Je to způsobeno tvořícím se vodním klínem. Ten způsobí, že pod pneumatikou vznikne souvislá vrstva vody, která má za následek náhlý pokles hodnot součinitele adheze na hodnoty 0,01 – 0,001. Tento jev označujeme jako aquaplaning. Aquaplaning způsobí, že vozidlo se stává neovladatelným.



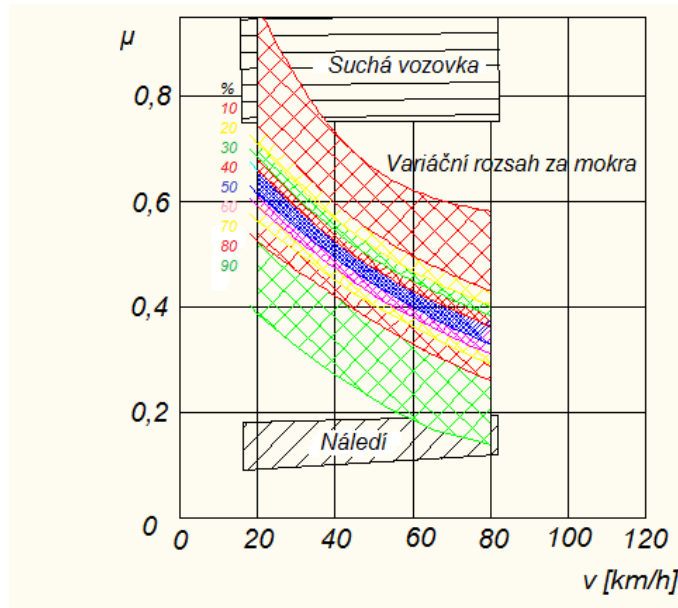
Obr. 8 – Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu [7]



Obr. 9 – Závislost součinitele adheze na stavu vozovky [9]

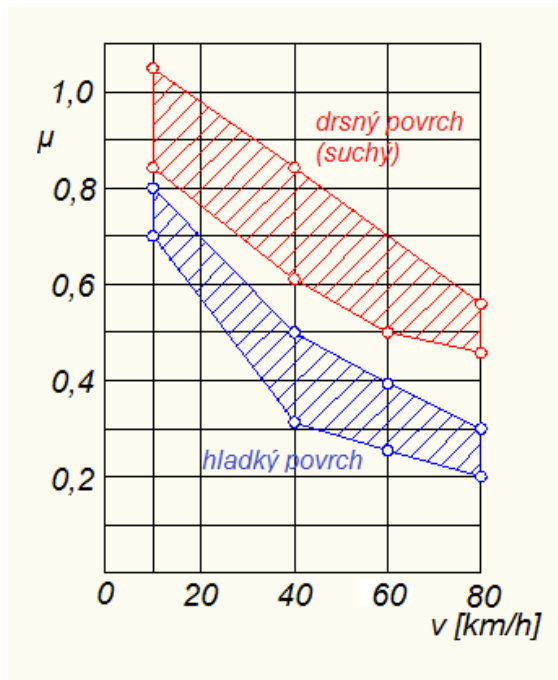
3.3 Vliv rychlosti

„Na suchém povrchu vozovky je součinitel adheze nezávislý na absolutní rychlosti jízdy. Ovlivňuje ho míra skluzu po povrchu vozovky. Hodnota součinitele adheze u vozovky pokryté tajícím sněhem nebo mokré značně klesá při zvyšující se rychlosti jízdy z různých počátečních hodnot a libovolně strmě na různých površích vozovky.“ [4]



Obr. 10 – Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek [4]

S rostoucí rychlostí klesá hodnota součinitele tření. Z hlediska bezpečnosti je to důležité hlavně u brzdění. Jak nám zobrazuje obr. 11 je pokles adheze při rychlosti 80 km/h téměř 50 % k hodnotám při nízké rychlosti.



Obr. 11 – Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy [9]

Jediným povrchem, kde hodnoty součinitele adheze se zvyšující se rychlostí stoupají, ovšem velmi nepatrně, je ujetý sníh či led se suchým povrchem.

3.4 Vliv skluzu kola

Zde hovoříme o dvou pojmech prokluz a skluz kola. Prokluz kola můžeme spatřit při náhlé akceleraci, kdy je rychlost dopředná nižší než obvodová rychlost. Nás ale zajímá spíše skluz kola, který nastává, jestliže je rychlost dopředná větší než obvodová rychlost.

S mírou skluzu se kombinuje vliv rychlosti jízdy a vzájemně ovlivňují interakci mezi povrchem vozovky a pneumatikou. Působí tak přímo na hodnotu součinitele adheze. Největších hodnot součinitele adheze v podélném směru dosahujeme odvalování pneumatiky po povrchu vozovky se skluzem 15 – 30 %. Toto nám znázorňuje skluzová charakteristika. Obr. 3.

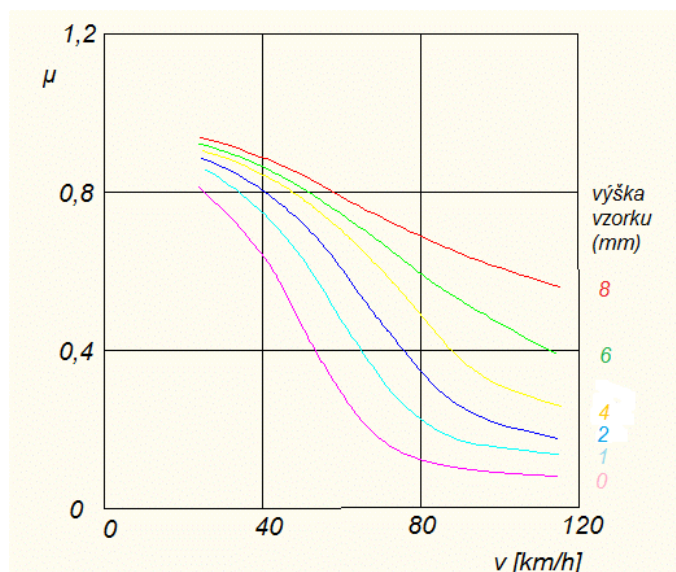
3.5 Vliv ročního období a teploty

Vliv ročního období má za následek obnovování drsnosti povrchu vozovky. V létě, kdy je spíše sucho a teplo, se povrch vozovky obroušuje, což zapříčiňuje, že v tomto období jsou povrchy vozovek nejkluzčí za mokra. Obroušené částičky jsou zatlačovány vlivem provozu do měkkého povrchu. Ty jsou pak z textury povrchu v zimním období vlivem vody vymílány, jelikož v tomto období povrch vozovky zkréhne. Tento cyklus se neustále opakuje. Drsnost povrchu vozovky se tedy regeneruje v zimním období.

Nachází-li se teplota povrchu vozovky v rozmezí 0 – 20 °C, za mokra hodnota součinitele adheze mírně klesá. S dále se zvyšující teplotou, klesá již hodnota součinitele adheze nepatrně. Jiný vliv má teplota tuhnutí na součinitel adheze. Ten, pokud padá teplota pod bod mrazu, roste. Na ledu s mokřým povrchem při bodu tuhnutí naměříme hodnotu součinitele adheze v rozmezí 0,05 – 0,12.

3.6 Vliv dezénu a složení pryže běhounu pneumatiky

Každý dezén pneumatiky má jiné protismykové vlastnosti. Ovlivňují je především tvar a hloubka vzorku na pneumatice. Výška vzorku pneumatiky se projeví hlavně na mokřém povrchu vozovky, kde spolu s makrotexturou povrchu vozovky odvádí vodu pryč ze styčné plochy. Rozdíl je také mezi novou a ojetou pneumatikou. Nová pneumatika má výrazně lepší přilnavost na kluzkém povrchu. Ojetá pneumatika nebo pneumatika bez vzorku je mnohem náchylnější ke vzniku aquaplaningu. Situace se ale rapidně mění na suchém povrchu, kde má lepší protismykové vlastnosti pneumatika bez vzorku.

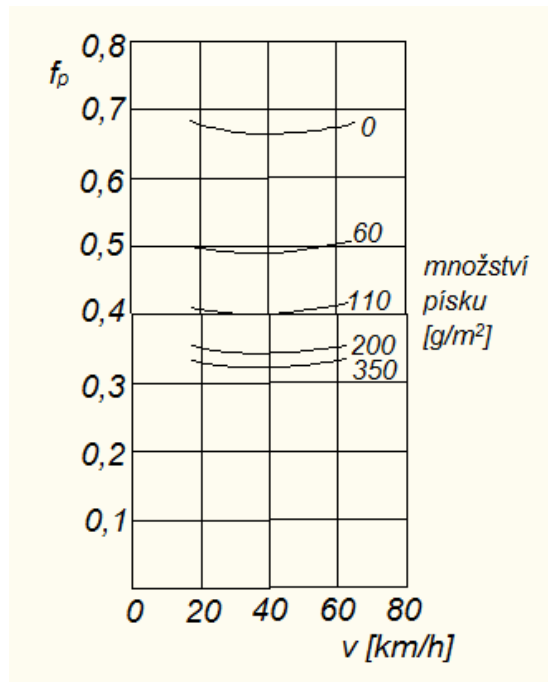


Obr. 12 – Závislost součinitele adheze na rychlosti a výšce vzorku [9]

Pneumatiky jsou vyráběny z různé tvrdosti pryže. Můžeme říci, že pneumatiky z měkčí pryže nemají tak dlouhou životnost oproti tvrdším pryžím. Mají za to ale lepší součinitel adheze za sucha i mokra.

3.7 Vliv znečištění vozovky

Znečištění má výrazný vliv na protismykové vlastnosti povrchu vozovky, zejména písek, štěrky nebo hlína. Nebezpečí je spíše v náhlé změně povrchu, kde se vyskytnou nečistoty. To má za následek odlišné podmínky na styčné ploše. Více či méně všechny nečistoty se projeví až na mokré vozovce. Výjimkou je písek, jenž má vliv na součinitel adheze i za sucha.



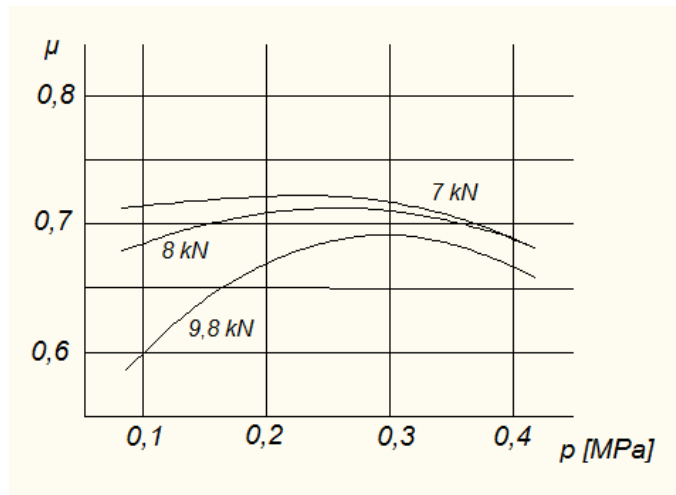
Obr. 13 – Hodnoty součinitele adheze pod zablokovaným kolem při znečištění vozovky pískem [4]

3.8 Vliv stáří vozovky

Na nově položeném povrchu vozovky, se po zahájení provozu drsnost povrchu zlepšuje. Jelikož vlivem provozu se obrušují povrchy zrn kameniva a tím se mění charakteristická struktura uválcovaného povrchu. Po dvouletém provozu se již projevují pouze sezónní změny vlivem ročního období.

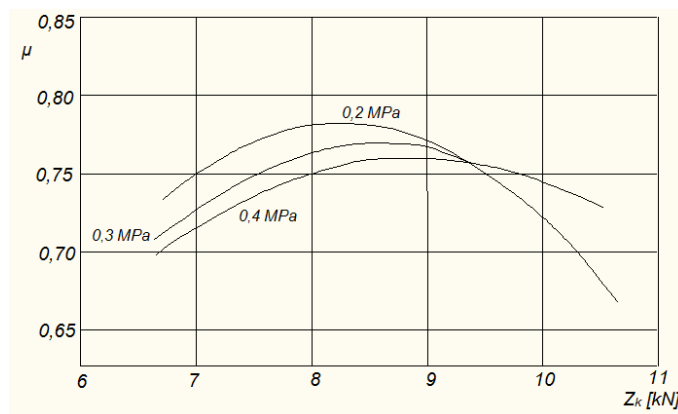
3.9 Vliv huštění pneumatiky a zatížení kola

Jestliže chceme zvětšit stykovou plochu mezi povrchem vozovky a pneumatikou, a tím zvýšit využitelnou adhezní sílu, brzdná dráha se neprodlouží, musíme pneumatice snížit přetlak. Při nesprávném huštění se styková plocha zmenšuje. Při podhuštění se zmenšuje směrem od centra, jenž je odlehčováno. A naopak při přehuštění směrem do centra.



Obr. 14 – Závislost součinitele adheze na tlaku huštění (suchý beton) [9]

Vliv zatížení kola nemá skoro žádný vliv na hodnotu součinitele adheze. Lze zahrnout do rozpětí tolerančních hodnot součinitele adheze. Hodnota zatížení kola je brána jako hodnota zatížení vlastní hmotností vozidla až po dovolenou celkovou hmotnost.



Obr. 15 – Závislost součinitele adheze na zatížení kola (suchý beton) [9]

3.10 Vliv polohy jízdních stop na vozovce

Tento vliv nejvíce patrný na více pruhových silnicích, kde jsou různé protismykové vlastnosti v každém pruhu. Nejvíce pojížděny jsou krajní pruhy. Na klasických silnicích jsou v jednotlivých pruzích ohlazeny stopy příslušející rozchodu kol nákladních vozidel. Jelikož pneumatiky nákladních vozidel obrušují povrch vozovky více.

4 Používané měřicí metody

Metody, které se dnes na území České republiky používají pro zjišťování součinitele tření, jsou popsány v normách. Základní normou v oblasti protismykových vlastností povrchů je norma ČSN 73 6177. V této normě jsou uvedeny zkušební metody, které můžeme v současnosti pro měření protismykových vlastností v České republice použít. Popsány jsou zde postupy i následné vyhodnocení. Těchto metod je v normách popsáno celkem šest.

Používané zkušební metody měření [10]:

- Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem (PTV – Pendulum Test Value)
- Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD – Mean Texture Depth)
- Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD – Mean Profile Depth)
- Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výtokoměrem (OT_p – čas vytékání vody pro délku úseku 25mm)
- Zjišťování součinitele podélného tření dynamickým měřicím zařízením (f_p)
- Zjišťování součinitele bočního tření dynamickým měřicím zařízením (f_b)

Aby bylo možné provádět měření protismykových vlastností povrchů vozovek výše uvedenými metodami, je pro danou metodu vypočten převodní vztah, jelikož hodnoty naměřené těmito metodami musí odpovídat hodnotám, které jsou zjištěny národním referenčním zařízením. Hodnoty uvedené v tabulce č. 3 při rychlosti 60 km/h.

Tab. 3 – Hodnocení protismykových vlastností F_p [10]

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

Tento převodní vztah se určí regresní analýzou. Národním referenčním zařízením bylo zvoleno zařízení Tatra Runway Tester (TRT), které je používáno a výsledky měření jsou archivovány od 70. let 20. století. Tímto strojem se zjišťuje součinitel podélného tření.



Obr. 16 – Nový Tatra Runway Tester (skříň Ford Tranzit) [30]

Některé tyto metody jsou již zastarale, ale pro svou jednoduchost se používají i v současnosti. Největším příkladem toho je odměrná metoda (MTD – Mean Texture Depth) nebo také nazývána jako písková zkouška. Tato metoda se používá již od samých začátků měření protismykových vlastností povrchů. Její výhoda spočívá v lehkosti provedení a relativní rychlosti provedení s následným vyhodnocením. Nevýhodou je, že se musí provádět za hezkého počasí, neboť měřený povrch vozovky musí být dokonale suchý.

Nejvíce používanou měřicí metodou není ale odměrná metoda ani použití zařízení Tatra Runway Tester nýbrž zkouška kyvadlem (PTV - Pendulum Test Value). Jedná se opět o poměrně jednoduchou metodu měření, která nám však již při měření řekne hodnoty součinitele tření povrchu vozovky. Nevýhodou této metody je, že kyvadlo je poměrně těžké a neskladné a při manipulaci s ním musíme být opatrní, aby nedošlo k jeho rozštelování. V takovémto případě nesmí být kyvadlo používáno a musí být opět zkalibrováno ve speciální laboratoři.

Více o těchto dvou metodách a postupech měření bude pojednáno v následujících podkapitolách, neboť měření jsem prováděl též pomocí těchto základních metod.

Vezme-li každou z těchto šesti normami uznanými metod, jedná se o metody, kde dochází k fyzickému kontaktu měřícího zařízení z měřeným povrchem vozovky. Měřicí

zařízení se buď o povrch tře, nebo se textura povrchu něčím vyplňuje anebo se měří čas výtoku vody. Navíc se většina času měření provádí venku, kde ne vždy panují vlidné povětrnostní podmínky. A proto se v tomto směru otevírají dveře, aplikování nových postupů a moderních metod. Velkou šanci se zde mají uplatnit metody využívající bezkontaktní měření s následným virtuálním zpracováním a vizualizací. Nabízí se provádět měření protismykových vlastností povrchů vozovek fotogrammetrií nebo pomocí 3D skeneru. A právě problematikou fotogrammetrie se budu v dalších kapitolách zabývat.

4.1 Odměrná metoda

Touto metodou zjišťujeme průměrnou hloubku makrotextury na povrchu vozovky, kdy rozprostíráme skleněné kuličky po povrchu a poté měříme celkovou vyplněnou plochu. Zjistíme tak pouze střední hodnotu hloubky makrotextury, jelikož vliv mikrotextury se zde neprojevuje.

4.1.1 Měření

Prvním krokem před samotným měřením, můžeme udělat v teple domova, je nutné si odměřit přesné množství materiálu. V minulosti se jako plnicí materiál používal písek, proto název písková zkouška. Dnes se již písek nepoužívá. Byl nahrazen skleněnými kuličkami o předepsané zrnitosti. „Zrnitost kuliček musí být taková, aby minimálně 90 % jejich hmotnosti propadlo sítím 0,25 mm a zbytek zůstal zadržen na síti 0,18 mm“ [11]. V mém měření jsem použil plné skleněné kuličky BALOTINA o předepsané zrnitosti 0,18 – 0,25 mm. K odměření jsem použil odměrný válec. Díky odměrnému válci jsem si na každé měřené místo odměřil kuličky o celkovém objemu 25 cm³, což představuje 40 gramů.

V dalším kroku, již na místě měření, jsem po důkladné kontrole vybral místa, kde budu zkoušku provádět. Vybral jsem povrch, který byl homogenní, suchý a především byl bez známek povrchových vad a nerovností. To znamená, že povrch je bez trhlin či spár. Celkem jsem těchto míst vybral osm. Poté jsem tato vybraná místa očistil drátěným kartáčem a dočistil měkkým štětcem. Tím jsem z měřeného povrchu vozovky odstranil úlomky a uvolněná zrna kameniva a připravil si ho k následnému provedení zkoušky.



Obr. 17 – Odstranění nečistot z povrchu vozovky

Na takto mnou připravený povrch vozovky jsem vysypal již odměřené množství skleněných kuliček, které jsem lehkým přitlačováním stěrky k povrchu vozovky rozprostřel do plochy kruhového tvaru. Skleněné kuličky jsem rozprostřel, dokud nebyly prohlubně v povrchu vozovky zaplněny do roviny s vrcholky kameniva na povrchu vozovky.



Obr. 18 – Rozprostírání skleněných kuliček stěrkou

Když už se vytvářející kruhová plocha ze skleněných kuliček neztvrděla, přistoupil jsem k měření průměru této plochy. Průměry jsem změřil na čtyřech místech, která byla od sebe po obvodu rovnoměrně vzdálena. Naměřené hodnoty jsem si poznamenal a dále pokračoval v měření na dalších zvolených místech.



Obr. 19 – Měření průměru rozprostřené plochy

4.1.2 Vyhodnocení

Po změření všech míst, jsem přistoupil k samotnému vyhodnocování zkoušky. Z naměřených hodnot jsem si stanovil aritmetický průměr naměřených průměrů každého měřeného místa. A pro výpočet střední hloubky makrotextury jsem použil vzorec:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2} \quad (3)$$

kde,

- MTD střední hloubka textury [mm]
- V objem materiálu (vnitřní objem zásobníku) [mm³]
- D aritmetický průměr změřených průměrů vyplněné kruhové plochu [mm]

Tab. 4 – Zjištěná střední hloubka makrotextury

Číslo stanoviště	MTD	Klasifikační stupeň
1. měření	0,923 mm	1
2. měření	0,814 mm	1
3. měření	0,999 mm	1
4. měření	1,025 mm	1
5. měření	1,031 mm	1
6. měření	0,685 mm	2
7. měření	0,923 mm	1
8. měření	0,977 mm	1

Dále aritmetickým průměrem těchto spočtených hodnot dostaneme průměrnou hloubku makrotextury povrchu vozovky v měřeném úseku. V mém případě se jedná o celkovou průměrnou hloubku textury povrchu vozovky $MTD = 0,922$ mm. Díky takto naměřené hodnotě určím z tabulky 5. klasifikační stupeň. V mém případě měření je klasifikační stupeň číslo 1.

Tab. 5 – Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD [10]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MTD	$\geq 0,75$	0,74 – 0,60	0,59 – 0,50	0,49 – 0,38	$\leq 0,37$

4.2 Zkouška kyvadlem

Touto metodou měříme protismykové vlastnosti povrchu vozovky na malých plochách ($0,01$ m²). Tento fakt musíme zohlednit, když se rozhodujeme, zda tuto metodu použijeme na povrchu, který má nehomogenní charakteristiky. Těmito charakteristikami mohou být rýhy nebo velká makrotextura povrchu vozovky. Podle toho se odvíjí počet měřených míst na vozovce. Ty by měly být nejméně tři. Vzdálenost od sebe by neměla překročit 40 mm, ale záleží na heterogenitě povrchu. Zkoušku můžeme provádět i v laboratorním prostředí. Touto zkouškou se zjišťuje mikrotextura měřeného povrchu vozovky

4.2.1 Měření

Před tím, než jsem postavil kyvadlo na místa, kde jsem prováděl měření, musel jsem očistit povrch vozovky drátěným kartáčem. Místo jsem pak ještě očistil štětcem a opláchl vodou. Měření jsem prováděl na stejných místech, jako byla prováděna předešlá zkouška odměrnou metodou. Proto bylo velmi důležité odstranit z povrchu vozovky všechny skleněné kuličky z minulé zkoušky. Měření tak bylo prováděno tentokrát na mokřem, ale opět homogenním povrchu bez známek povrchových vad a nerovností. Při této zkoušce je důležitý i sklon vozovky, který v mém případě nepřekročil limitních 10° , jak upřesňuje norma. Když jsem povrch vozovky zbavil všech nečistot, postavil jsem na něj kyvadlo tak, že se rameno kyvadla při měření kývalo ve směru jízdy.



Obr. 20 – Nastavení kyvadla do vodorovné polohy

Dále bylo potřeba nastavit podstavec kyvadla do vodorovné polohy. To se udělalo pomocí stavěcích šroubů a libely připevněných k podstavci. V dalším kroku jsem nastavil stupnici. Provedl jsem tedy volný kyv ramene. Ručička se zastavila v bodě 0. Proto jsem nemusel přenastavovat tření v ložiskách, ve kterých se ručička otáčí. Pro kontrolu jsem volný kyv opakoval. Výsledek byl stejný a já mohl postoupit k nastavení výšky ramene, aby byla nastavena správná délka prokluzu. Správná délka prokluzu je 126 mm.

„Horní část kyvadla se aretuje, měřítko se přesune tak, aby roh třecí patky byl na úrovni značky, která se na měřítku nachází vlevo, a pak se botka ramene kyvadla posune směrem doprava a zkontroluje se, zda je hrana třecí patky vyrovnaná se značkou na pravé straně měřítko. Pokud tomu tak není, opakuje se proces dopředu a dozadu tak dlouho, dokud horní část kyvadla není nastavena ve správné výšce, která zaručuje požadovanou délku prokluzu“ [12]. Nastavení prokluzu je velice náročné, a záleží na zkušenostech a šikovnosti měřitele. Zpočátku jsem měl s nastavením prokluzu velké problémy a strávil jsem tím značné penzum času z celkové doby měření touto metodou, ale po několika opětovných nastaveních se tento čas velmi výrazně zkrátil.



Obr. 21 – Nastavení prokluzu kyvadla

Po úspěšném nastavení délky prokluzu, jsem mohl přistoupit k vlastnímu měření. Nejprve jsem navlhčil zkoušený povrch, u kterého jsem také změřil teplotu před měřením. Teplotu jsem změřil i u vody v nádobě. Poté jsem ještě navlhčil třecí patku. Vše bylo tedy připraveno k měřicímu pokusu. Uvolňovacím mechanismem jsem spustil rameno z vodorovné polohy, a když se začalo vracet zpět, zachytil jsem jej, než se opět dotklo povrchu vozovky. Po zachycení ramene jsem určil polohu ručičky na stupnici na celé číslo. Tento postup jsem opakoval pětkrát za sebou. Povrch i třecí patka se musela znovu navlhčit. Po provedení pěti kyvů jsem mohl měření považovat za ukončené, jelikož se mi naměřené hodnoty nelišily o více jak tři jednotky. Aby měření bylo úplné, změřil jsem ještě po zkoušce teplotu pryže a teplotu povrchu vozovky.



Obr. 22 – Měření teploty povrchu před provedením zkoušky

4.2.2 Vyhodnocení

Hodnotu PTV jsem zjistil vzorcem (4) jako aritmetický průměr naměřených hodnot.

$$PTV = \frac{\sum v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5} \quad (4)$$

kde,

$v_1 - v_5$ jsou jednotlivé hodnoty každého kyvu

Nebo se hodnota $PTV = v_j$

kde,

v_j je konstantní hodnota dosažená po třech kyvech

Tab. 6 – Průměrné hodnoty protismykových vlastností povrchu získané kyvadlem

Číslo stanoviště	PTV	PTV _{Coor}	Teplota povrchu [°C]	Klasifikační stupeň
1. měření	54	54	18,3	3
2. měření	56	54	13,5	3
3. měření	69	68	17,7	2
4. měření	65	63	15,0	2
5. měření	61	61	18,7	2
6. měření	54	53	16,5	3
7. měření	61	60	16,2	2
8. měření	66	65	16,1	2

Jelikož na kyvadle při měření byla instalována třecí patka 57, musel jsem provést úpravu aritmetického průměru naměřených hodnot odečtených přímo ze stupnice umístěné na měřícím kyvadle. Opravu hodnoty jsem provedl pomocí zjištěné teploty navlhčeného povrchu vozovky. Díky této zjištěné teplotě jsem mohl vyčíst v tabulce 7, jenž je uvedena v české technické normě ČSN 13036-4 (Zkouška kyvadlem), hodnotu, o kterou mám upravit aritmetický průměr naměřených hodnot na jednotlivých stanovištích.

Tab. 7 – Opravy hodnoty PTV naměřené s použitím třecí patky 57 [12]

Naměřená hodnota [°C]	Oprava naměřené hodnoty
36 až 40	+3
20 až 35	+2
23 až 29	+1
19 až 22	0
16 až 18	-1
11 až 15	-2
8 až 10	-3
5 až 7	-4

Dále aritmetickým průměrem již upravených naměřených hodnot dostaneme protismykové vlastnosti povrchu vozovky v měřeném úseku. V mé případě se jedná o celkovou hodnotu protismykových vlastností povrchu vozovky PTV = 60. Díky takto vypočtené hodnotě určím z tabulky 8. klasifikační stupeň. V mém případě měření je klasifikační stupeň 2.

Tab. 8 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV [10]

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

5 Fotogrammetrie

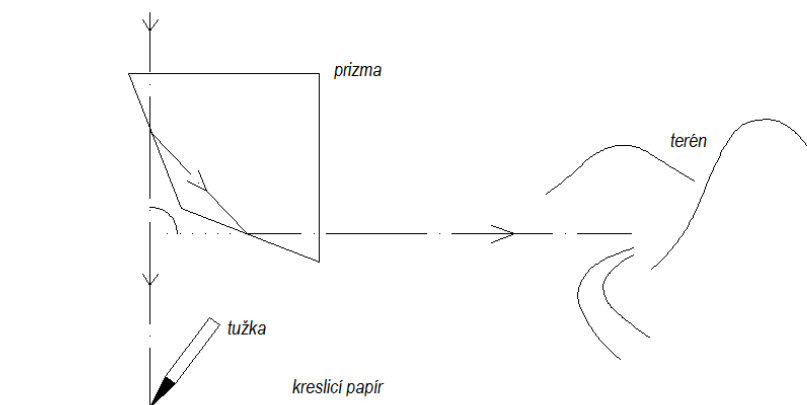
Pojem fotogrammetrie můžeme zařadit pod měřící metody, díky kterým můžeme získat tvar, polohu a velikost předmětu v prostoru bez fyzického přeměrování předmětu jen na základě fotografických snímků. Fotogrammetrii můžeme definovat mnoha způsoby. Uvedu zde pouze jednu z možných definic: „Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu“ [1]. První kdo jako první pojem fotogrammetrie použil, byl Meydenbauer v roce 1858. Pomohl si složením tří řeckých slov: Fotos – světlo, Gramma – záznam a Metrie – měření.

Hlavně kvůli své všestrannosti a univerzálnosti nachází fotogrammetrie uplatnění v celé řadě oborů. Její největší výhodou je, že snímky, ze kterých se následně získávají informace, lze pořídit za velmi malý časový úsek. Je tak zachycen okamžitý stav. Následné vyhodnocení se pak provádí v klidném laboratorním prostředí. Zpočátku nacházela fotogrammetrie uplatnění v kartografii a geodézii. Postupem času ale našla uplatnění i v jiných oborech, kterých je celá řada. Uplatnění našla například ve strojírenství, zemědělství, stavebnictví, medicína, lesnictví, urbanismus a v dalších oborech.

5.1 Historie

5.1.1 První etapa

Ještě před vynálezem fotografie jsou datovány teoretické začátky fotogrammetrie. Úplný počátek fotogrammetrie datujeme do roku 1032, kdy arabský učenec Al Hassan bin Haithm popsal „cameru obscuru“ tzv. dírková komora. Využíval při tom principu středového promítání. Dalším průkopníkem byl Leonardo da Vinci. Ten popsal dírkovou komoru pro konstrukci středových promítání. Pro svou malou světelnost nebyla dírková komora hojně využívána. První opravdový základ fotogrammetrie byl dán až vylepšením konstrukce světelné komory za Jana Keplera jako „camera clara nebo camera lucida“. Nevýhodou těchto zařízení bylo, že obraz byl ručně překreslován.



Obr. 23 – Princip „camery clary“ [13]

Velkým milníkem ve fotogrammetrii se stal objev fotografie ve 30. a 40. letech 19. století. Objev fotografie se připisuje Francouzům J. L. M. Daguerrovi a J. N. Niépcevi. Avšak první fotografický papír byl použit až o deset let později W. H. Talbotem. Zprvu se fotogrammetrie používala na mapování budov a topografické mapování. Pro fotogrammetrické účely byla fotografie použita při mapování ve Francii roku 1861. Pro toto mapování byla použita metoda „metrotopografie“ jinak známa jako stolová nebo průřeková metoda. Metoda je založena na ofotografování terénu z více stanovisek. Vynášené body musely být dobře identifikovatelné. Poté ze známé polohy stanovisek mohly být určeny jednotlivé body terénu buď počítařsky, nebo graficky. Autorem této metody a jedním ze zakladatelů fotogrammetrie byl Aimé Laussedat. Tento vynálezce je uváděn jako vynálezce prvního fototeodolitu. Hlavní zájem o tuto měřickou metodu měla zejména vojenská topografie. V tomto období se také objevují první pokusy o vynesení komory do vzduchu pomocí balónů.

5.1.2 Druhá etapa

Průřeková fotogrammetrie má však velké nedostatky. Těžko se identifikují odpovídající si body na snímcích. Tento problém vyřešil až nová technologie – stereofotogrammetrie. Tento objev se považuje za druhou etapu vývoje fotogrammetrie a datuje se do počátku 20. století. Prvním, kdo se stereofotogrammetrií zabýval, byl F. Stolze. Připsán je mu objev putovní značky. První přístroj pro stereoskopické měření snímkových souřadnic nazývaný „stereokomparátor“ zkonstruoval roku 1901 C. Pulfrich. Dodnes je tento přístroj nej přesnějším přístrojem pro měření na snímcích. Zavedením této technologie se vyřešily problémy projevující se u průřekové fotogrammetrie, usnadnila se identifikace bodů na snímku a položil se základ pro analogovou fotogrammetrii. Stereokomparátorem se však dali snímky vyhodnocovat stále jenom bodově. To vyřešil

až E. Orel, který vynalezl v roce 1909 doplňkové zařízení „stereoautograf“. Pomocí něj lze bez výpočtů kreslit polohu bodů přímo na papír díky mechanické realizaci základních fotogrammetrických rovnic.

Zatím se stále jednalo o pozemní fotogrammetrii, kterou je možné mapovat menší přehledná území. Na mapování větších území je lepší letecká fotogrammetrie. Ta se mohla rozvinout až s rozvojem letectví na počátku 20. století. Již koncem 19. století se ale teorií zabýval Th. Scheimpflug. První snímky z letadla pořídil W. Wright.

5.1.3 Třetí etapa

Tuto etapu můžeme datovat mezi léty 1915 až 1930. Do tohoto období můžeme zařadit největší rozmach letecké fotogrammetrie hlavně díky 1. světové válce, kdy se letecká fotogrammetrie používala pro leteckou špionáž. Docházelo ke zlepšení snímkovacích komor. Byla zkonstruována první panoramatická komora. V následném meziválečném období došlo k velkému rozvoji analogových vyhodnocovacích strojů různých konstrukcí (mechanické, optické, mechanicko-optické). Od roku 1920 byly dány základy moderní letecké fotogrammetrii vynálezem „Autokartografu“ R. Hugershoffem.

5.1.4 Čtvrtá etapa

Toto období se vyznačuje rychlým vývojem techniky a technologií a lze ho datovat do konce 80. let 20. století. Prvním krokem rychlého vývoje byl začátek používání barevných filmů, které přišly na trh v roce 1935. Druhým krokem v této etapě je začátek využívání analytických metod. Tyto metody byly již známé, ale muselo se počkat na rychlé počítače, které by zvládly početní náročnost analytických metod. Byla snaha o postavení analytického stroje, jelikož měření snímkových souřadnic je těmito stroji nejvíce přesné. Výsledkem této snahy je vznik stereokomparátoru pod počítačovou kontrolou, jenž navrhl v roce 1957 U. Helava.

5.1.5 Pátá etapa

Skutečný průlom nastal, ale až v polovině 80. let 20. století. Především ohromný vývoj výpočetní techniky dal základ vzniku digitální fotogrammetrii. Začala se opět používat průseková fotogrammetrie. Díky jednoduché obsluze digitálních fotoaparátů a možnosti použití programů k vyhodnocení se fotogrammetrie dostala více mezi širší veřejnost. Z těchto programů lze poměrně snadno získat 3D model z běžných snímků.

V současnosti se už ve fotogrammetrii nepoužívají pouze fotoaparáty, ale v překrývání fotogrammetrie a dálkového průzkumu země se v oblasti fotogrammetrie derou do popředí družicové technologie díky své rozlišovací schopnosti.

5.2 Dělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii můžeme dělit z pohledu používaných technologií nebo technických hledisek. Je to především díky svému dlouhému vývoji, avšak možná i právě proto se ve světě dělí jinak. Příkladem je dělení fotogrammetrie v Evropě, kde se dělila na leteckou a pozemní. Postupem času se ale nůžky tohoto dělení svíraly tak, že se dnes zdá být toto dělení neopodstatněné. Příchodem nových moderních poznatků se fotogrammetrie začala znovu dělit. Nyní ji můžeme rozdělit podle čtyř kritérií:

- podle počtu vyhodnocovaných snímků
- podle způsobu zpracování snímků
- podle záznamu výstupních hodnot
- podle polohy stanoviště

5.2.1 Podle počtu vyhodnocovaných snímků

5.2.1.1 Jednosnímková fotogrammetrie

Jedná se o fotogrammetrii, kdy pro vyhodnocení máme pouze jeden jediný měřický snímek. Na snímku můžeme určit jenom rovinné souřadnice, lze tak u měřeného předmětu určit jen rovinné souřadnice. Aplikovat se tak může pouze, je-li měřený předmět v rovině nebo blízky rovině. Při prostorovém členění dochází k radikálním posunům ve vyhodnocovací ploše. Tyto posuny znemožňují přesné vyhodnocení. Při řešení jednosnímkové fotogrammetrie se využívá vztahu kolineace a je vyjádřen projektivní transformací.

V pozemní fotogrammetrii, kde je vodorovná osa záběru, se takto vyhodnocují objekty, jenž tvoří svislou rovinu. Příkladem může být vyhodnocování průčelí budov. V letecké fotogrammetrii, kde je svislá osa záběru, se touto fotogrammetrií dá získat polohopisná složka mapy rovinatého území.

5.2.1.2 Vícesnímková fotogrammetrie

Touto fotogrammetrií se dá určit prostorová poloha předmětu. Potřebujeme ale k tomu nejméně dva snímky, které se musí překrývat. Právě díky tomuto překryvu a tomu, že se předmět měření nachází na dvou snímcích, jsme schopni určit prostorovou polohu.

Použijeme-li stereoskopický vjem pro vyhodnocení, vytvoříme tak prostorový model měřeného předmětu díky stereofotogrammetrii. Tato metoda je dnes nejvíce využívána a to především pro svou univerzálnost.

5.2.2 Podle způsobu zpracování snímků

5.2.2.1 Analogová metoda

Tato metoda se již nepoužívá. Technickými prostředky se vytváří analogie chodu paprsku od objektivu ke snímku. K analogii můžeme využít přístroje využívající princip optické projekce, mechanické projekce nebo opticko-mechanickou projekci. U přístrojů pracujících s optickým principem projekce je analogie tvořena jako u fotografování světelným paprskem. U přístrojů používajících mechanický princip je paprsek nahrazen kovovými tyčemi. Tyto stroje musí být velice přesné, tudíž velice komplikované a drahé. Ale i přesto je tato metoda někdy rychlejší a levnější než dnešní moderní technologie.

5.2.2.2 Analytická metoda

Pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému z vyhodnocovaného snímku se při této metodě využívá prostorové transformace, kterou řeší počítače. Souřadnice ze snímku změříme na stojích typu komparátor, které jsou jednoduché ale zároveň přesné. Transformaci provedeme na počítači. Takto dokážeme zpracovat libovolné snímky.

Stroje používající se při vyhodnocování pomocí této metody jsou konstrukce stereokomparátoru s připojením k počítači. Vyhodnocování se provádí na originálních snímcích a po určité době práce na snímku jsou zjištěny transformační klíče.

5.2.2.3 Digitální metoda

Tato metoda využívá také prostorovou transformaci při převodu souřadnic zjištěných na snímku do geodetického systému. Souřadnice ze snímku se zjišťují rovnou na monitoru za využití digitálního obrazu. Více o digitální fotogrammetrii bude pojednáno v následujících kapitolách.

5.2.3 Podle záznamu výstupních hodnot

5.2.3.1 Grafické

„Touto metodou je výsledek vyhodnocení snímků přímo graficky vyznačován na kreslicím stole, připojeném k vyhodnocovacímu přístroji. Někdy je místo grafického

záznamu použít záznam fotografický. Grafické metody vyhodnocení jsou rychlé, při mapování vzniká přímo kartografický originál polohopisné případně i výškopisné složky mapy. S ohledem na nutné chyby ve spojení kreslicího stolu s vyhodnocovacím přístrojem je výsledek vyhodnocení zobrazen s grafickou přesností (tj. s chybami asi $\pm 0,2$ až $\pm 0,4$ mm v měřítku vyhotovené mapy)“ [14]

5.2.3.2 Numerické (číselné, digitální)

Při této metodě se zaznamenávají jednotlivé souřadnice vyhodnocovacích bodů automatickým registračním zařízením na datové medium nebo přímo do paměti počítače. Informace se do výsledné podoby mohou dále zpracovat přímo počítačem nebo použitím dalšího zařízení či systému. Výsledky dostaneme buď v podobě rastrové, nebo vektorové. Nespornou výhodou této záznamu je ukládání, pozdější úprava dat a přenositelnost.

5.2.4 Podle polohy stanoviska

5.2.4.1 Pozemní (blízká, terestrická) fotogrammetrie

Při tomto typu fotogrammetrie je stanovisko umístěno na zemi a je většinou nepohyblivé. Máme dostatek času na samotné fotografování, ale i technické prostředky na určení souřadnic stanoviska nebo prostorové orientace snímku. Z těchto důvodů je zpracování takovýchto snímků jednodušší. Nedostatkem tohoto typu fotogrammetrie je vzájemné zakrývání měřených předmětů. Na snímku se může vyskytnout značné procento ploch, jenž nejdou určit. Další nepřesností je měření v prostoru (vzdálenost k objektu) Proto se tento typ fotogrammetrie spíše používá na objektech, jenž jsou ve srovnatelné vzdálenosti. Velikost dosahu pozemní fotogrammetrie se odhaduje v řádech desítek metrů. Záleží na použité komoře. V extrémních případech může mít pozemní fotogrammetrie dosah až 500 metrů. V posledních letech je tendence aplikovat pozemní fotogrammetrii do celé řady rozdílných oborů jako je strojírenství, lékařství nebo design.

5.2.4.2 Letecká fotogrammetrie

Při letecké fotogrammetrii je komora umístěna na letadle nebo jiném vzdušném prostředku. Takto pořízené snímky zobrazují větší plochu oproti snímkům pořízeným pozemní fotogrammetrií. Nevýhodou tohoto typu fotogrammetrie je, že se velmi těžce určuje prostorová orientace snímku při jeho pořízení. S tímto problémem dále souvisí následné zpracování, které je díky tomu oproti pozemní fotogrammetrii značně složitější.

5.2.4.3 Družicová fotogrammetrie

„Družicová fotogrammetrie vznikla na základě špionážních a interpretačních snímků specializovaných družic již v šedesátých létech. Pro tvorbu fotomap se družicových snímků využívalo i v naší republice. Praktické civilní uplatnění přišlo po startu družice Spot-1 v roce 1984, jelikož družice byla vybavena elektronickým skenerem s rozlišením 10 metrů v panchromatickém režimu s možností tvorby stereozáběrů. Takto získané snímky ale nebylo možno vyhodnotit na běžných zařízeních, bylo nutno vytvořit speciální programové vybavení v oblasti digitální fotogrammetrie. Dnes je družicová fotogrammetrie speciální, ale jinak již běžná technologie a rozlišení dnešních komerčních družic je cca 50 metrů.“[1]

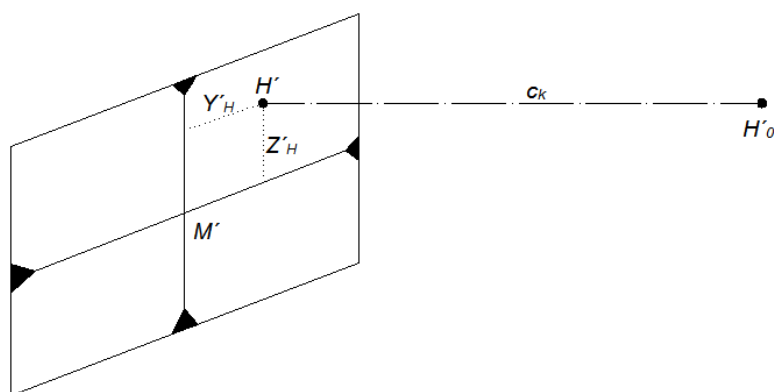
5.3 Základy fotogrammetrie

5.3.1 Vnitřní orientace

Aby se mohl fotografický snímek považovat jako měřický, musí být známa jeho vnitřní orientace. Ta je popsána prvky vnitřní orientace. Tyto prvky jsou udány vztahem mezi rovinou snímku a středem objektivu.

Prvky vnitřní orientace jsou [13]:

- Hlavní bod snímku H' – tj. stopník světelného paprsku na obrazové rovině, které jde středem vstupní pupily a je ve své předmětové části kolmý na obrazovou rovinu. Tento paprsek ve svém celém rozsahu se jmenuje osa záběru. Když optická osa stojí přesně kolmo na obrazovou rovinu, ztotožní se s osou záběru a hlavní bod je tedy stopníkem optické osy. Pata tohoto paprsku bývá udána vzhledem k průsečíku spojnic rámových značek komory. Není-li komora správně justována, pak střed snímku není totožný s hlavním bodem. Poloha hlavního bodu se pak vyjadřuje pravoúhlými souřadnicemi x'_H a z'_H vztaženými ke středu snímku, tedy k bodu M' . Spojnice levé a pravé rámové značky se jmenuje hlavní horizontála, spojnice horní a dolní rámové značky se nazývá hlavní vertikála.
- Konstanta komory c_k – vzdálenost hlavního bodu snímku od zadního hlavního objektivového bodu H_0'



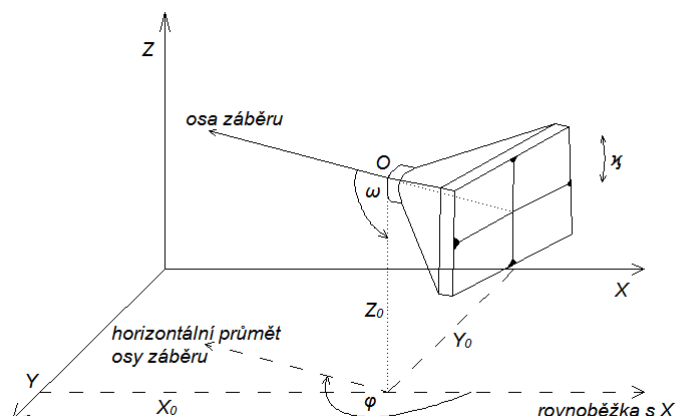
Obr. 24 – Vnitřní orientace [13]

5.3.2 Vnější orientace

Prvky vnější orientace určují polohu paprskového trsu v prostoru, kterou nám prvky vnitřní orientace neurčí. Ty nám popíší vztah mezi snímkem a předmětovým paprskovým trsem. Abychom na snímku polohu paprskového trsu určili, potřebujeme k tomu šest prvků. Těmi prvky jsou úhly α , ω , χ a střed promítání O se souřadnicemi X_0 , Y_0 , Z_0 .

- Úhel stočení α [13] – je horizontální úhel, který svírá osa fotografování s určitým zvoleným směrem.
- Sklon osy fotografování ω [13] – je vertikální úhel, který svírá osa fotografování s rovinou horizontální.
- Úhel pootočení snímku ve vlastní rovině χ [13] – je úhel, který svírá hlavní horizontála s vodorovnou rovinou proloženou bodem H' .

Všechny prvky vnější orientace se dají určit ještě před samotným fotografováním. Úhlové prvky vnější orientace se určují fototheodolitem, který má pro změření úhlů záměrné zařízení. Souřadnic středů promítání se určí geodetickým měřením, jelikož jsou to geodetické souřadnice středu objektivu komory.

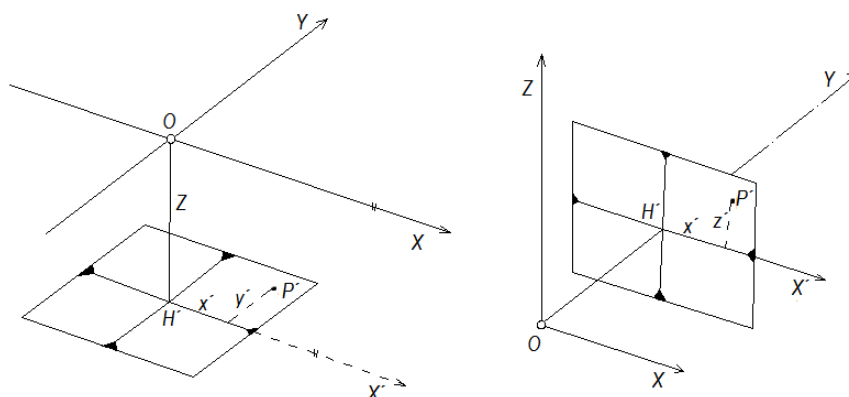


Obr. 25 – Vnější orientace [13]

5.3.3 Snímkové souřadnice a úhly

V pozemní fotogrammetrii se souřadnice na snímku odměřují od hlavního bodu snímku H' . Je-li tento bod totožný se středem snímku M' a hlavní horizontálu a vertikálu bereme za souřadný systém, pak lze početně určit úhly. Tento způsob získání úhlů se označuje jako nepřímý. Chceme-li použít způsob přímý, musíme využít přístroje nazývaného jako snímkoměrný theodolit. Měřická komora tohoto přístroje má stejnou ohniskovou vzdálenost jako používaný fototheodolit.

Pozemní i letecká fotogrammetrie využívá pravouhlého souřadného systému. Rozdíl je však ve směřování os jak je znázorněno na obrázku 26. U pozemní fotogrammetrie je osa Y totožná s rovinou záběru a u letecké fotogrammetrie je osa X ve směru letu.



Obr. 26 – Rozložení os v pozemní fotogrammetrii (vpravo)
a v letecké fotogrammetrii (vlevo) [13]

5.4 Digitální fotogrammetrie

S nástupem nových technologií, zejména pak počítačů (mikroprocesorů), které již svou rychlostí a dostatečnou kapacitou umožňují zpracování digitálních obrazů. První myšlenky o digitálním obrazu se objevují v 50. letech 20. století. Rozvoj však přišel až o 20 let později při prvních letech do vesmíru. Nejvíce se digitální technologie prosazuje u dálkového průzkumu země (DPZ).

Prosazení digitálního obrazu a jeho zpracování na úkor již používaných metod má několik důvodů. Práce s digitálním obrazem je poměrně snadná a lze s ním udělat mnoho úkonů, např. úprava kontrastu, který obraz vylepší, ale neztratíme žádné informace. Snímky můžeme kopírovat, odstraňovat u nich šum či obraz předzpracovat.

Aby bylo možné digitální obraz zpracovat, musel se tedy zvolit určitý nedělitelný obrazový element určité velikosti. Tento element se začal nazývat pixel (Picture element). Obraz se skládá velkého množství pixelů, jenž na sebe navazují a nabývají určitých kódových hodnot. „Obyčejně to jsou kódované radiometrické hodnoty, např. odrazivost, vyjádřená číslem a převedená na stupeň šedi.“[15] Při velmi malé hodnotě pixelu se lidskému oku jeví takto složený obraz jako plynule šedotónový. Informaci obsahující obraz je však potřeba nějak zapsat a k tomu slouží obrazová funkce. Ta definuje souřadný systém a určuje jednoznačně hodnotu pixelu pro dané x, y . V praxi se uplatňuje souřadnicová soustava P, L (sloupec, řádka). Jelikož je velikost pixelu konečná a konečný je i rozsah kódovacích hodnot, nelze pro popis obrazu použít spojitou funkci. Pixely nabývají diskrétních hodnot. A digitální obraz můžeme tedy popsat pomocí matice, tabulka 9.

Tab. 9 – Matematická prezentace digitálního obrazu [15]

→ i (columns, pixel)

	$f(i, j)$	$f(i + 1, j)$	$f(i+2, j)$	$f(i+3, j)$	$f(i+4, j)$
	$f(i, j+1)$	$f(i+1, j+1)$	$f(i+2, j+1)$	$f(i+3, j+1)$	$f(i+4, j+1)$
↓ j (lines)	$f(i, j+2)$	$f(i+1, j+2)$	$f(i+2, j+2)$	$f(i+3, j+2)$	$f(i+4, j+2)$
	...				
	...				$f(m,n)$

5.4.1 Vznik digitálního obrazu

Digitální obraz může vzniknout dvojím způsobem [15]:

- přímo v digitální podobě
- digitalizací analogového obrazu (skenování)

V prvním i ve druhém případě musíme však řešit převod analogového signálu na digitální výstup. Musíme pomocí vzorkovacího teorému vystihnout co nejlépe disktrétními hodnotami průběh spojitého analogového signálu.

Jelikož skenování obrazů na běžných skenerech není pro fotogrammetrii dostatečně kvalitní a profesionální skenery jsou velice drahé, nebudu se dále tímto postupem získávání digitálních obrazů zabývat.

Přímo je digitální obraz získán snímacím zřícením, které čidlem, jenž využívá prvků CCD (Charge Coupled Device), registruje radiometrické veličiny z oblasti a zapíše je v číselné podobě. Používají se mikroelektrické křemíkové čipy, které převádějí detekované elektromagnetické záření na napěťový signál. Tyto fotogrammetrické digitální komory se v pozemní fotogrammetrii používají již delší čas a zcela vytlačily klasické analogové komory. Je potřeba však tyto digitální komory kalibrovat, jelikož speciální digitální fotogrammetrické komory jsou pro pozemní fotogrammetrii drahé a neosvědčily se, používají se polo- či profesionální digitální zrcadlovky.

5.4.2 Využití digitální fotogrammetrie

Digitální fotogrammetrie našla velké uplatnění při zjišťování plošných nebo prostorových souřadnic objektů v mnoha oborech. Největší využití má v letecké fotogrammetrii a dálkovém průzkumu země. V poslední době se však stále více aplikuje v pozemní fotogrammetrii při určování kubatur a tvarů nebo dokumentaci památkových objektů.

5.5 Optické korelační systémy

Optické korelační systémy pracují na principu optické korelace a vytvářejí podobné výsledky laserovému skenování. Je vhodné je použít pro vytvoření modelu objektu s nepravidelnou texturou, která musí být dostatečně výrazná a viditelná. Proto není vhodné tímto postupem modelovat skleněné nebo plastové povrchy. Vhodným programem ke zpracování je PhotoModeler Scanner nebo AgiSoft PhotoScan.

Základem metody je pořízení dvou a více snímků, jejichž osy záběru jsou pokud možno rovnoběžné, nejvhodněji však kolmo na měřený objekt. Snímky mohou být pořízeny z ruky, ale lepší je fotoaparát umístit na základnu. K té je fotoaparát připevněn pohyblivým jezdcem. Lze tak volit různou délku základny. Doporučená vzdálenost mezi místy, ze kterých jsou snímky pořízeny, je $1/3$ až $1/8$ vzdálenosti od objektu. Platí však pravidlo, že čím je základna delší, o to méně podobné si snímky jsou a pak se hůře korelují. Orientace snímků se provádí obrazovou korelací. Aby byl výpočet orientace přesnější, je vhodné k rovnoběžným snímkům pořídít ještě snímky šikmé.

6 Akcelerometry

Akcelerometry můžeme zařadit podle umístění mezi senzory vnitřní. Příkladem vnitřního použití akcelerometru jsou zkoušky jízdní dynamiky, kdy je akcelerometr umístěn uvnitř vozidla. Akcelerometry se mohou měřit veličiny v jednom směru, ale i ve směru všech tří os. Při měření také nemusíme použít pouze jeden akcelerometr, nýbrž je možno umístit je na více míst. Musíme si ale dát pozor na vznik rušivých signálů neboli šumu. Tyto nežádosti lze eliminovat připevněním senzoru lepicími páskami, pomocí šroubů nebo použitím pohlcující podložky na odstranění vibrací.

Akcelerometry se měří hlavně dynamické zrychlení (akceleraci) a zrychlení statické. Dynamické zrychlení vzniká při změně rychlosti pohybujícího se objektu. U tohoto zrychlení je však i nadále přítomné zrychlení statické, které je potřeba ve výsledcích odfiltrout. Statické zrychlení je způsobeno silou, která vzniká působením přitažlivosti Země. Akcelerometry se dají použít i k jiným měřením. Můžeme jimi určovat pozici tělesa, detekovat vibrace či měřit setrvačné a odstředivé síly.

Akcelerometry lze použít v mnoha aplikacích, jako například: [19]

- automobilový průmysl – senzory pro airbagy, zařízení pro řízení jízdní stability vozidla (ESP)
- měření vibrací
- měření natočení a detekce otáčení
- přesné měření náklonu s rychlou odezvou
- měření a detekce pohybu a rychlosti
- měření a detekce seismické aktivity
- měření akcelerace
- měření odstředivé síly a zrychlení
- navigační systémy
- zabezpečovací systémy vozidel

Hlavní veličina, která je akcelerometry měřena, je však zrychlení, které je definováno pomocí II. Newtonova zákona a dáno rovnicí (5).

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (5)$$

kde,

m je hmotnost [kg]

F je síla [N]

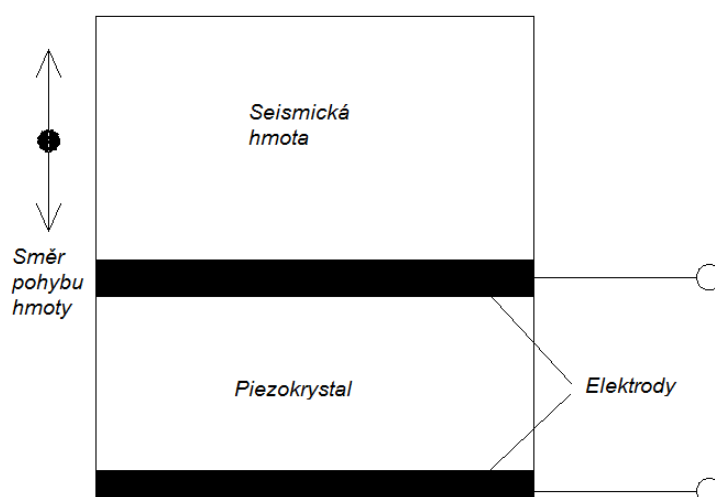
Δv je rozdíl rychlostí [m/s]

Δt je rozdíl časů [s]

6.1 Dělení akcelerometrů

6.1.1 Piezoelektrický akcelerometr

Měření zrychlení tímto akcelerometrem je založeno na piezoelektrickém jevu. Tento jev se projevuje při deformacích, kde stlačením krystalu s piezoelektrickou vlastností se tvoří piezoelektrické napětí. Měříme tedy polohu seismické hmotnosti proti pouzdru senzoru za využití smykové deformace. Výsledkem je vznik zmiňovaného napětí, které je úměrné působící síle.



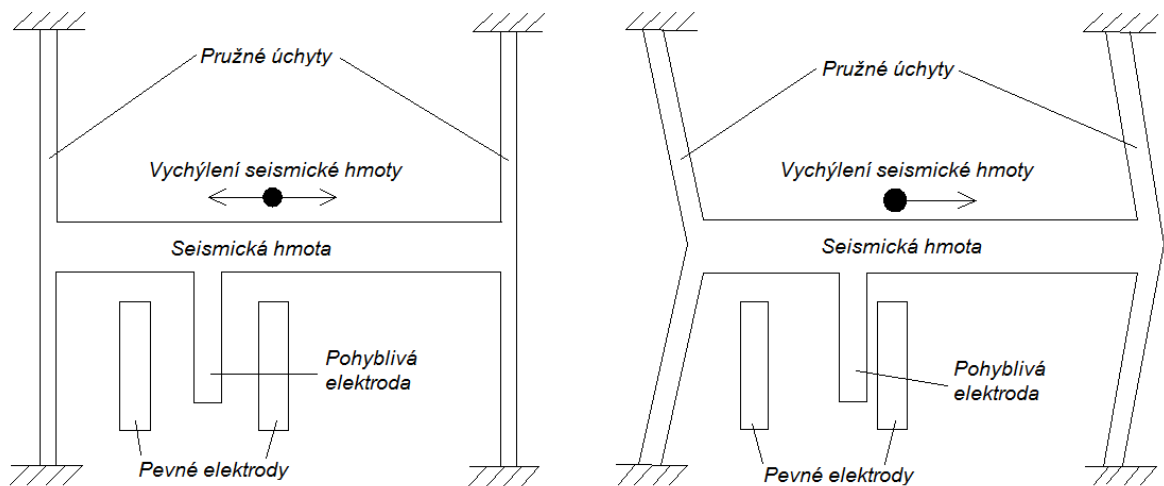
Obr. 27 – Princip piezoelektrického akcelerometru [20]

Díky použití smykové deformace je tento piezoelektrický akcelerometr méně náchylný k rušivým vlivům, kterými mohou být teplotní dilatace, akustické efekty nebo deformace základny pouzdra. Výhodou těchto akcelerometrů je, že je můžeme použít k měření vysokých hodnot dynamického zrychlení (až 20 000 g). Naopak nevýhodou pak je, že jimi nelze změřit statické zrychlení, jelikož nezměří frekvenci menší než 0,1 Hz.

6.1.2 Kapacitní akcelerometr

Nejjednodušší uspořádání kapacitních akcelerometrů je jedna pohyblivá elektroda, tedy hmota, pružně uložena pomocí pružiny a tlumiče. Změnou velikosti zrychlení dochází ke změně kapacity. Jinými slovy při pohybu se mění vzdálenost desek mezi sebou, což zapříčiní změnu kapacity. Je zde využit princip deskového kondenzátoru.

Složitější uspořádání kapacitního akcelerometru využívá hřebenového principu. U tohoto akcelerometru jsou paralelně pospojovány desítky až stovky diferenčních kondenzátorů. Seismická hmota, na které jsou umístěny pohyblivé elektrody, je připevněna na pružných závěsech. Dojde-li k vychýlení z rovnovážného stavu, tak se kapacita na jednom kapacitoru zvýší a na druhém naopak sníží. Takto se přejde od problému měření zrychlení k měření kapacity.

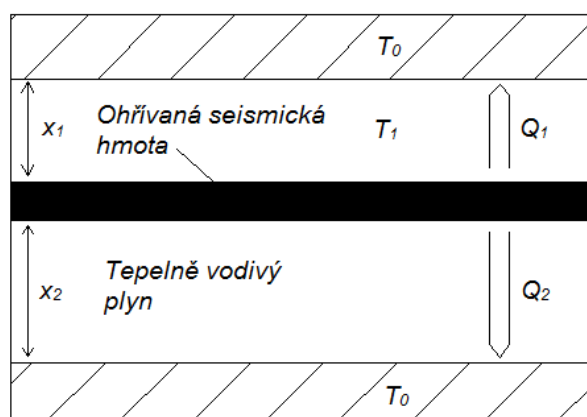


Obr. 28 – Princip kapacitního akcelerometru (hřebenové uspořádání) [20]

6.1.3 Tepelný akcelerometr

„Seismická hmota je umístěna na tenkém nosníku a umístěna v blízkosti tepelné komory nebo mezi dvěma komorami. Hmota i nosník jsou vyrobeny mikrosystémovou technologií mikroobráběním. Prostor mezi těmito komponenty je vyplněn teplotně vodivým plynem. Hmota je ohřívána na povrchu nebo zabudovaným ohřívačem na definovanou teplotu T_1 . Pokud nepůsobí akcelerační zrychlení, potom je teplotní rovnováha mezi hmotou a ohřivanými komorami. Množství tepla Q_1 a Q_2 vedené od hmoty do komor přes plyn je funkcí vzdálenosti x_1 a x_2 . Pro měření teploty je na nosníku umístěn teplotní senzor. Citlivost akcelerometru, jenž je daná vztahem (6) je mnohem menší než u kapacitních nebo piezoelektrických. Výhodou je menší náchylnost k elektromagnetickému nebo elektrostatickému rušení.“[20]

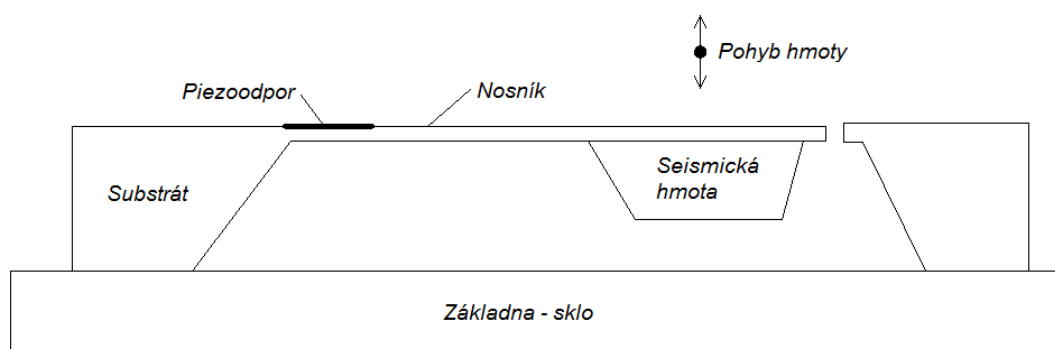
$$\frac{1 \% \text{ změny výstupního signálu}}{g} \quad (6)$$



Obr. 29 – Princip tepelného akcelerometru [20]

6.1.4 Piezoodporový (tenzometrický) akcelerometr

Tento akcelerometr se opět skládá ze seismické hmoty a vetknutého nosníku, na kterém jsou umístěny ve vetknutí snímací senzory. Těmi jsou většinou odporové tenzometry. Pohybem dochází k deformaci nosníku a tedy ke zkrácení či prodloužení piezoodporového prvku. Ten způsobuje změnu ohmického odporu, kde je tato změna úměrná výchylce hmoty. Piezoodporovým akcelerometrem můžeme měřit neměnicí se dynamické zrychlení. Možno měřit frekvenci změn od 0 Hz do 13 kHz.



Obr. 30 – Princip piezoodporového akcelerometru [20]

7 Praktická část

7.1 Cíl měření

Cílem měření bylo ověřit, zda současné používané měřicí metody pro zjišťování součinitele adheze nebo textury povrchu vozovky jdou nahradit novými postupy a technikou měření. V současné době je v České republice uznáno normami šest různých metod, určených k zjištění hodnoty součinitele adheze nebo textury povrchu vozovky. Tyto metody mají jednu věc společnou. Měření probíhá pomocí fyzického kontaktu látky, kterou k měření použijeme, s povrchem měřené vozovky. Výjimkou je měření profilometry, kde může probíhat měření bezkontaktně. Jako měřicí látky se v současnosti používají pryže, které jsou třeny o povrch vozovky, skleněné kuličky, které jsou na povrchu vozovky rozprostírány do kruhové plochy nebo voda, u které se měří čas vytečení z definované nádoby. Ve většině metodách se zaznamenané hodnoty mohou vyhodnotit přímo na místě měření za použití normou definovaných vzorců. Průběh samotných měření s následným vyhodnocení je však velice zdlouhavý, tudíž je potřeba trávit spoustu času venku i za špatného počasí. I zde ale najdeme výjimku v odměrné metodě, která je naopak relativně rychlá zkouška. Počasí je další ovlivňující faktor, jelikož většina soudobých měření pro zjištění hodnoty součinitele adheze nebo textury vozovky se musí provádět na suchém povrchu vozovky. Proto jsme zkusili měřit hodnotu součinitele adheze a textury vozovky novými moderními postupy. Výsledky jsem následně porovnal s výsledky zavedených zkoušek. Využili jsme technologie fotogrammetrie a 3D skenování pro zjištění textury vozovky a měření pomocí akcelerometrů pro zjištění součinitele adheze. Zde budou popsány postupy měření a vyhodnocení pomocí fotogrammetrie a akcelerometrů. 3D skenování je obsahem jiné práce.

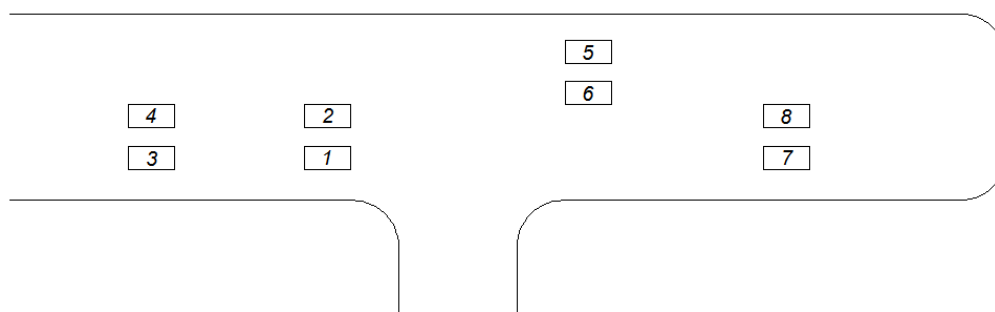
7.2 Lokalita měření

Měření bylo prováděno ve dvou dnech a to 10. října a 11. listopadu v oblasti křižovatky ulic Studničkova a Hlavova. Měření se zúčastnili doc. Ing. Tomáš Mičunek Ph.D, doc. Ing. Drahomír Schmidt Ph.D, Ing. Bc. Kateřina Mičunková, Ing. Zdeněk Svatý, Ing. Luboš Nouzovský, Bc. Lukáš Vopava a Bc. Jiří Henych. Tyto ulice se nachází v klidné oblasti fakult Univerzity Karlovy v Praze v městské části Praha 2 na Albertově. Poblíž se nachází také Fakulta Dopravní, ČVUT v Praze. Provoz na těchto dvou komunikacích byl velmi nízký, proto nebyl důvod zde omezovat nějakým způsobem dopravu. To bylo také jedním kritériem pro výběr lokality. Ulice Hlavova je řešena jako jednosměrná s vyústěním do ulice Studničkovy. A ulice Studničkova slouží spíše jako

placené parkoviště s podélným i kolmým stáním. Asfaltový povrch v ulici Studničkova je poměrně jednotný bez výrazných a viditelných vad či prasklin. To způsobuje, že naměřené hodnoty na jednotlivých stanovištích jsou poměrně shodné. Výjimkou je stanoviště 3, tedy měření s pořadovým číslem 5 a 6. Zde jsou jiné asfaltové pásy s odlišnou texturou. Právě celkový počet měření, kterých bylo osm a použité metody měření, kterých bylo pět, má za následek, že se měření protáhlo do průběhu dvou dnů.



Obr. 31 – Oblast měření [29]



Obr. 32 – Schéma míst jednotlivých měření na stanovištích

7.3 Způsob měření

Jak je vidět z obr. 31 prováděli jsme celkem osm měření rozdělených do čtyř měřících stanovišť rozmístěných různě po ulici Studničkova, jak je zobrazeno na již zmiňovaném obrázku. Na každém stanovišti se provedla dvě měření. Oblasti měřeného povrchu vozovky byly od sebe vzdáleny 1 m na každém stanovišti, jak je ukázáno na obr. 33. Každá měřená oblast se měřila pěti metodami. K měření textury povrchu vozovky a součinitele adheze byla použita fotogrammetrie, 3D skenování, akcelerometr a záznamové zařízení, zkouška kyvadlem a odměrná metoda.



Obr. 33 – Oblasti měřeného povrchu na stanovišti

Nejprve se povrch vozovky změřil rozprostřením skleněných kuliček pomocí odměrné metody, které se poté kartáčem a štětcem z povrchu vozovky odstranily. Následně byla použita metoda zkouška kyvadlem. Tato metoda byla použita až po odměrné metodě, jelikož při této zkoušce musí být měřený povrch vozovky navlhčen a naopak při odměrné metodě musí být povrch vozovky dokonale suchý. Po provedení těchto dvou zkoušek jsme přistoupili k měření akcelerometrem a záznamovým zařízením zaznamenávající průběh jízdy a byly umístěny ve vozidle. Akcelerometrem a záznamovým zařízením jsme však měřili pouze na prvním stanovišti, tedy tam kde jsem dělal první a druhé měření. Na tomto stanovišti jsme dvakrát zabrzdili vozidlem. Jednou ve směru jízdy a podruhé ve směru opačném. Z důvodu časové náročnosti těchto zkoušek, zejména pak zkoušky kyvadlem, počtu měřených oblastí, počáteční přípravou měřeného úseku, brzkého podzimního západu slunce a v poslední řadě i problémy s 3D skenováním se nám nepodařilo měření dokončit za jediný den. V tento den měření se nám podařilo naskenovat a vyfotografovat pouze jednu měřenou oblast. Byly jsme tedy nuceni měření přerušit a pokračovat v něm v jiný den. Druhý měřící den jsme si přesně vyznačili měřená

místa podle pořízených fotografií v první den měření, aby bylo možné naměřené hodnoty porovnat. Tento den jsme již povrch vozovky měřili pouze fotogrammetrií a 3D skenováním, kdy jsme se v pořadí měření různě měnili, jelikož jsme používali srovnávací šablonu, díky které lze výsledné modely porovnat. Je nutno poznamenat, že měření po oba měřící dny probíhalo na dokonale suchém povrchu vozovky. Při měření kyvadlem byla teplota navlhčeného povrchu vozovky nebo třecí patky vyšší než 5 °C, jinak by nešla tato metoda použít.

Tento problém nastal, když jsem se seznamoval s těmito zavedenými měřicími metodami minulý podzim. Teplota ovzduší splnila normou dané kritéria, nikoli však teplota navlhčeného povrchu vozovky. Naměřená teplota byla nižší než normou daných 5 °C. Proto toto měření nelze brát za směrodatné. Teplota však nehraje roli u odměrné metody. Na tu potřebujeme pouze suchý povrch a ten v té době byl. Je však důležité poznamenat, že měření jsme dělali úplně jinak. Tenkrát jsme měřili na zcela jiných čtyřech místech v jízdni stopě. Každé místo měření bylo vzdáleno od toho předešlého okolo dvou metrů. I tak můžu ale říci, že po vyhodnocení tohoto měření, jsem došel k podobným výsledkům. Průměrná střední hloubka makrotextury v této jízdni stopě vyšla 0,813 mm. Je to tedy zhruba o jeden milimetr méně než při novém měření, ale stále klasifikační stupeň je číslo 1. Povrch měl i tenkrát výbornou makrotexturu.

7.4 Odměrná metoda – zhodnocení

Přesný postup měření s následným vyhodnocením průměrné hloubky makrotextury pomocí odměrné metody je popsán v kapitole 4.1. V tabulce 4 nalezneme spočtené hodnoty střední hodnoty makrotextury podle vzorce 3 a zařazení do klasifikačních stupňů. Z tabulky je patrné, že výsledné hodnoty zjištěné na jednotlivých stanovištích se od se výrazně neliší. Je to zapříčiněno tím, že jednotlivá místa měření na stanovištích, jenž jsou od sebe vzdálena jeden metr, se nachází na vozovce o velmi podobné textuře. Odlišné je to však na stanovišti číslo tři, kde probíhalo 5. a 6. měření. To ostatně můžeme vidět na obr. 33. Zde se nachází měřená místa na dvou různých površích vozovky o různé textuře. Zapříčiněno to může být rozkopáním a následnou opravou povrchu vozovky v minulosti. Rozdíl středních hodnot makrotextury je zde velice výrazný. Činí 0,346 mm. Když to srovnáme se zbylými stanovišti, tak zde činí rozdíl výsledných středních hloubek makrotextury pouze setiny milimetru. Rozdíl na třetím stanovišti je tak výrazný, že klasifikační stupeň střední hloubky makrotextury 6. měření je číslo 2. Zbylá měření mají klasifikační stupeň číslo 1. Aritmetickým průměrem všech vypočtených středních hloubek makrotextury jsem dostal hodnotu MTD = 0,922 mm, které odpovídá

klasifikační stupeň číslo 1. Mohu tedy říci, textura povrchu vozovky v ulici Studničkova, až na lokální výjimky, má velmi dobrou makrotexturu.

7.5 Zkouška kyvadlem – zhodnocení

Popsaný přesný postup měření s následným vyhodnocením zkoušky kyvadlem, kterou se zjišťuje hodnota mikrotextury povrchu vozovky vyjádřená jako PTV (Pendulum Test Value), je popsána v kapitole 4.2. V tabulce 6 nalezneme výsledné zprůměrované naměřené hodnoty jednotlivých měření podle vzorce 4. Tyto zjištěné hodnoty jsou dále upraveny podle tabulky 7 na hodnotu PTV_{Coor} . V tabulce je dále každé opravené hodnotě přiřazen klasifikační stupeň. Z tabulky 6 je patrné, že mezi výslednými hodnotami jednotlivých měření, jsou výrazné rozdíly. Mezi nejlepší a nejhorší opravenou hodnotou je rozdíl patnáct jednotek. Nejlepší hodnota mikrotextury povrchu vozovky byla zjištěna při třetím měření, naopak nejhorší při šestém měření. Tyto rozdíly jsou však nepatrné v rámci jednotlivých stanovišť, pohybují se do pěti jednotek, Stanoviště mají i stejný klasifikační stupeň. Ten je u druhého a čtvrtého stanoviště číslo 2 a u prvního stanoviště číslo 3. Rozdílné je to opět na třetím stanovišti, kde i při této zkoušce má rozdílný povrch měřených oblastí vliv na výslednou hodnotu a klasifikační stupeň. Na tomto stanovišti činí rozdíl upravených hodnot osm jednotek. Z důvodu tohoto rozdílu má každé měření na tomto stanovišti jiný klasifikační stupeň, a to číslo 2 a 3. Je vidět, že klasifikační stupně zjištěné kyvadlovou zkouškou jsou horší než ty, které byly zjištěny odměrnou metodou, zde jsou téměř všechny stupně 1. Aritmetickým průměrem všech naměřených hodnot jsem dostal celkovou hodnotu PTV měřeného úseku, která je $PTV = 60$. Tato hodnota velmi těsně odpovídá klasifikačnímu stupni číslo 2. Z tohoto zjištění plyne, že textura povrchu vozovky v ulici Studničkova nemá tak výbornou mikrotexturu povrchu vozovky jako makrotexturu.

7.6 Zjišťování součinitele adheze akcelerometrem a záznamovým zařízením

7.6.1 Použitá zařízení a software

- Xsens MTi-G

Jedná se o zařízení, které propojuje lokální MEMS snímače a globální polohovací systém, tedy inerciální měřící jednotku IMU a GPS modul. Snímač tvoří akcelerometr, kterým zařízení snímá zrychlení ve všech třech osách, gyroskop, kterým zařízení snímá úhlové rychlosti otáčení kolem tří os a GPS přijímač k určení polohy. Zařízení ale využívá

i dalších pomocných senzorů. Těmi senzory jsou 3D magnetometr, snímač tlaku a pro kontrolu snímač teploty. Každý ze snímačů má jiný rozsah. Ty jsou uvedeny v tab. 10.

Tab. 10 – Rozsahy snímačů [22]

Snímač	Akcelorometr [m/s ²]	Gyroskop [st/s]	Magnetometr [mGauss]	Teploměr [°C]	Barometr [Pa]
Rozsah	± 50	± 300	± 750	- 55 až + 125	30 až 120

Díky velkému počtu čidel lze tímto zařízením měřit široké spektrum veličin, které je možno různě nastavit. Nejčastěji se toto zařízení využívá u dynamických testů dopravních prostředků a záznamu pohybu, ale přes svou robustnost i u nárazových testů vozidel.

- Záznamové zařízení E-TANU

Toto záznamové zařízení se používá ke sledování provozu před vozidlem. Jelikož je dnes doprava na pozemních komunikacích velmi intenzivní, dochází zde proto k velkému počtu dopravních nehod nebo skoro nehod. Někdy viník dopravní nehody z místa ujede a pro poškozeného je pak velmi těžké dokázat svou nevinu. Díky tomuto zařízení lze poskytnout autentické důkazy o nehodě, jelikož je nepřetržitě zaznamenávána. Díky instalovanému akcelometru se k záznamu jízdy zjišťuje zrychlení nebo zpomalení, z nichž lze určit rychlost.

K zařízení je přiložen i podpůrný software, který slouží k následnému stažení naměřených dat. Aby nemohlo dojít k manipulaci naměřených dat třetí osobou je potřeba ke stažení znát heslo.

- MT Manager

Tento program je dodáván se zařízením Xsens MTi-G. Slouží k jeho nastavení před provedením samotného měření. Nastavit v něm lze, jestli chceme měřit například zrychlení ve všech třech osách nebo úhel klopení, klonění nebo stáčení. Následně se program využívá ke stažení surových naměřených dat k dalšímu zpracování.

- NI Diadem

Tento program je používán jako alternativa k asi nejrozšířenějšímu programu MS Excel. Lze v něm však zpracovat mnohem více dat a to až okolo 100 bilionů, což je šestkrát

více než v MS Excel. Na rozdíl od MS Excel je možné v tomto programu provádět crash analýzu či přímou filtraci dat.

7.6.2 Příprava a vlastní měření

Zjišťování součinitele adheze těmito zařízeními jsme prováděli pouze na prvním stanovišti, tedy v oblasti prvního a druhého měření. Na tomto místě jsme udělali celkem dvě měření, která nebyla se shodným směrem jízdy. K měření jsme měli k dispozici automobil Škoda Fabia 1,2 vyrobený v roce 2007. Vozidlo bylo vybaveno systémem ABS a obuto zimními pneumatikami od výrobce TURANZA. Rozměry a naměřené hloubky vzorku jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 11 – Rozměry a hloubky vzorku dezénu

Umístění	Typ	Rozměr	Hloubka vzorku dezénu [mm]	Naměřený tlak [bar]
Pravé přední kolo	TURANZA ER3FZ	195/55 R15 85H	5,1	1,9
Levé přední kolo	TURANZA ER3FZ	195/55 R15 85H	5,0	2,2
Pravé zadní kolo	TURANZA ER3FZ	195/55 R15 85H	5,1	2,2
Levé zadní kolo	TURANZA ER3FZ	195/55 R15 85H	4,8	2,3

K měření bylo ale ještě potřeba vozidlo vybavit měřícími zařízeními. Nainstalovali jsme tedy do vozidla zařízení Xsens MTi-G a záznamové zařízení E-TANU. Zařízení Xsens MTi-G jsme pomocí oboustranná lepicí pásky připevnili ke středovému tunelu vozidla. Z důvodu přesného měření jsme museli zamezit vstupu okolních vlivů (šumů) a odstranit vibrace. Záznamové zařízení E-TANU jsme připevnili z vnitřní strany na čelní sklo vozidla, aby zaznamenávalo dění před vozidlem. Záznamové zařízení bylo déle nutné spojit přes kabel s vozidlem z důvodu napájení. Zařízení Xsens bylo napájeno přes notebook. Jak byla zařízení nakonec umístěna je vidět na obrázku 34.



Obr. 34 – Umístění zařízení Xsens MTi-G (vlevo) a záznamového zařízení (vpravo)

Po nainstalování zařízení jsem přistoupil k samotnému nastavení. To probíhá u zařízení Xsens MTi-G pomocí programu MT manager. V tomto programu napřed zařízení vrátím do továrního nastavení, abych si byl jistý, že se mi do měření nebudou projevovat chyby z minulých měření. Dále přikročím k nastavení výstupů měření. Zde jsem nastavil, že jako výstup požaduji zrychlení, velikost magnetického pole, úhlovou rychlost, úhel klopení, klonění a stáčení, GPS souřadnice a rychlost. Rychlost zde však není počítaná ze zrychlení, ale je dopočítána ze zjištěné polohy GPS. Úhly klonění, klopení a stáčení se v tomto programu dopočítávají pomocí Kalmanovy filtrace z rychlosti úhlové. Velmi důležité je nastavení vzorkovací frekvence. V mém případě, jelikož měřím jízdní dynamiku vozidla a mám zapnutou kalibraci dat, jsem ji nastavil 100 Hz. Tedy, že vždy za 0,01 sekundy bude zaznamenána jedna hodnota. Dále je nutné nastavit jak se má zařízení chovat v případě ztráty komunikace. Já jsem zvolil takovou komunikaci, že při její ztrátě zřízení měří dál a jakmile se komunikace znovu obnoví, plynule naváže v zaznamenávání hodnot. V zobrazeném grafu se tato chyba objeví jako oblast nenaměřených dat (část grafu bude chybět). Při měření však tento problém nenastal. Na závěr je nutné ještě zvolit vhodný Kalmanův filtr. Já zvolil, že měřený objekt se pohybuje ve směru osy x snímače. Proto je nutné sjednotit osový systém senzoru a měřeného předmětu, tedy vozidla.

Po nastavení senzoru jsme museli před vlastním měřením počkat okolo 15 minut, než se senzor ustálil a zachytil signál ze satelitů GPS. Ke správnému měření je zapotřebí signál alespoň ze čtyř satelitů. V našem případě jsme zachytili signál se satelitů sedmi, což je více než dostačující a mohli přistoupit k vlastnímu měření.

Po zapnutí nahrávání senzoru Xsens i záznamového zařízení jsme rozjeli automobil ulicí Studničkova na oblast prvního a druhého měření směrem k ulici Hlavova. Při první měření jsme v oblasti měření začali brzdit z rychlost 40 km/h. Po zastavení vozidla jsme nahrávání ukončili a připravili k druhému měření. Tentokrát jsme ale měřili ze směru

opačného. Při tomto měření jsme začali brzdit z rychlosti lehce větší než 30 km/h. Brzdit se vždy začalo těsně před místem, kde se prováděla zkouška kyvadlem a odměrná metoda, aby byla bržděním pokryta celá oblast měření.

7.6.3 Vyhodnocení

Po naměření bylo potřeba získaná data stáhnout a uložit je do textových souborů. Ze zařízení Xsens MTi-G se naměřená data získala opět pomocí programu MT manager. Jako data jsem dostal takové výstupy, jaké jsem si před začátkem měření nastavil. Data ze záznamového zařízení E-TANU jsem získal pomocí dodávaného programu. Z toho programu jsem dostal pouze zrychlení v osách x a y a čas. Tyto získané textové soubory jsem pak nahrál do prázdného pracovního prostoru programu NI Diadem, ve kterém jsem vyhodnocení této metody dokončil. Při nahrávání textového souboru z programu MT manager bylo zapotřebí eliminovat první čtyři nepotřebné řádky a podle pátého pojmenovat jednotlivé vstupní veličiny. V dalším kroku bylo zapotřebí vložit kanál času o stejné vzorkovací frekvenci, kterou jsme měřili. Tedy frekvenci 100 HZ čemuž odpovídá krok 0,01 s. Poté jsem do vytvořené nové skupiny pomocí skriptu, který už je v Diademu předpřipravený, transformoval hodnoty zrychlení ve všech třech osách.

Tato transformace se nazývá Eulerova a provádí se z důvodu odstranění parazitních zrychlení. Za toto parazitní zrychlení je považováno gravitační zrychlení, které se vlivem tlumičů a podélného sklonu vozovky promítá do osy x i osy y. Jelikož je zařízení srovnáno do nulové polohy k automobilu a nikoli proti vozovce projevuje se zrychlení v ose x i když automobil stojí. Tato transformace vychází ze vzájemného vynásobení matic rotací kolem všech tří os. To, že jsem na začátku nastavení ztotožnil osu x snímače a vozidla, pomůže ke zjednodušení matice, kterou jsem získal vzájemným vynásobením rotačních matic. Transformované hodnoty získám vynásobením této zjednodušené matice vektorem zrychlení. Dostaneme tedy vztah:

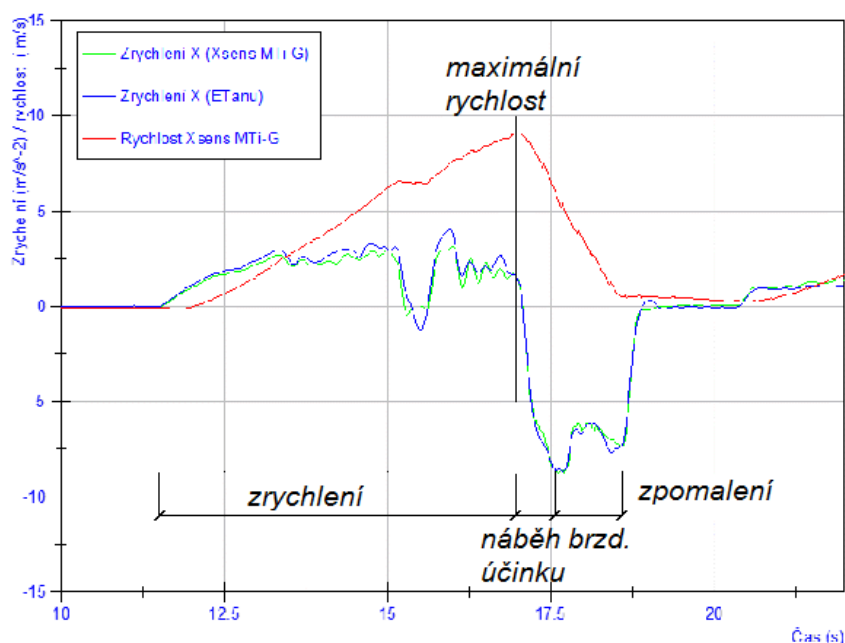
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & \cos\Psi & \cos\varphi * \sin\Psi \\ \sin\varphi * \cos\Psi & -\sin\Psi & \cos\varphi * \cos\Psi \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Takto transformované hodnoty jsem pak dále musel znovu transformovat. Tentokrát transformací Fourierovou. Touto transformací zjistím, jakou frekvencí musím filtrovat hodnoty, abych z nich odstranil šum. Čas a zrychlení v ose x se mi přetransformoval na frekvenci a amplitudu signálu. Tyto dva nové kanály jsem si zobrazil do grafu a určil jsem frekvenci, při které dochází k ustálení amplitudy signálu a stabilizuje se. To značí přechod do oblasti šumu. V tabulce 12 jsou uvedeny zjištěné hranice frekvence, kterými budu dále filtrovat.

Tab. 12 – Zjištěné frekvence

Zařízení	Pořadí měření	Frekvence [Hz]
Xsens MTi-G	1. jízda	5
Xsens MTi-G	2. jízda	2
E-TANU	1. jízda	4
E-TANU	2. jízda	4

Zjištěné frekvence jsem použil k následné filtraci kanálů zrychlení v ose x a času. Jako metodu filtrace jsem vybral metodu IIR. Metoda IIR je filtr s nekonečnou impulsní odezvou. A jako filtr jsem zvolil filtr s dolní propustí. Za limitní frekvence jsem nastavil mnou již zjištěné frekvence uvedené v tabulce 12. Typ zvoleného filtru je filtr Butterworthův čtvrtého stupně. Touto filtrací jsem získal filtrovaný signál zrychlení v ose x. Pro přehlednost a lepší srozumitelnost jsem mu ještě přiřadil jednotky. Takto zfiltrovaný signál bylo nutno offsetovat. Tedy bylo zapotřebí posunout zfiltrovaný signál do nuly, protože na začátku měření bylo vozidlo v klidu. Tato nepřesnost je dána vlastností akcelerometru. Offset jsem provedl odečtením zadaného počtu prvních hodnot. Signál se tak posunul do hodnoty nula, jak je možné vidět na obr. 35. Tento průběh závislosti zrychlení a rychlosti na čase je pro druhou jízdu měření. Pro první jízdu je uveden v příloze A1.



Obr. 35 – Graf průběhu zrychlení a rychlosti (2. jízda)

Z takto vytvořeného grafu můžu vyjádřit hodnotu zpomalení. Při jejím vyjadřování nebyl uvažován náběh brzdného účinku a prodleva brzd. Její určení jsem bral statisticky. Určil jsem oblast, ze které se hodnota brzdného zpomalení vypočítávala. Tato oblast se vyskytuje mezi prvním a posledním peakem brzdného zpomalení, jak je znázorněno na obr. 35. Pro vypočtení zmiňovaného zpomalení jsem použil kvadratický průměr. Spočtené hodnoty zpomalení obou jízd jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 – Spočtené zpomalení a rychlost

Pořadí měření	a efektivní [m/s ²]	a průměrné [m/s ²]	v maximální [km/h]
1.	8,51	8,47	39,71
2.	8,84	8,83	32,65

Jak je z tabulky 13 vidět, měření jsme prováděli za odlišných rychlostí. Tyto rychlosti jsou dopočteny z rychlostí v osách x a y, které zařízení Xsens MTi-G vypočetlo z dat GPS. Okamžitou rychlost jsem získal výpočtem odmocniny ze součtu kvadrátů změřených rychlostí.

Tento postup zjišťování brzdného zpomalení jsem provedl úplně stejně i pro záznamového zařízení E-TANU. U tohoto zpracování jsem naopak nemusel provádět offset filtrovaného signálu, jelikož tento problém už je nějakým způsobem vyřešen a odstraněn přímo v měřícím zařízení.

Pro výpočet součinitele adheze jsem použil upravený vzorec 7 pro výpočet zrychlení, kde za zrychlení jsem dosadil mnou zjištěné hodnoty efektivního brzdného zpomalení.

$$a = \mu * g \quad (7)$$

kde,

a je zrychlení [m/s²]

μ je součinitel adheze

g je tíhové zrychlení [9,81 m/s²]

Výsledné hodnoty součinitele adheze pomocí upraveného vzorce 7 pro jednotlivé jízdy měření jsou uvedeny v tabulce 14. Z tabulky je patrné, že zjištěné součinitele adheze se od sebe liší velmi nepatrně, i když byl brzdný manévr proveden z různě vysokých rychlostí. Mnou zjištěné hodnoty součinitele adheze odpovídají rozmezí hodnot uvedených v tabulce 2 pro suchý asfalt. Mohu tedy konstatovat, že výsledky tohoto měření jsou správné.

Tab. 14 – Výsledné hodnoty součinitele adheze

Pořadí měření	Součinitel adheze
1.	0,87
2.	0,90

7.7 Zjišťování střední hloubky makrotextury za využití fotogrammetrie

7.7.1 Použitá zařízení software

- Fotoaparát Nikon D600

Fotoaparát Nikon D600 je full frame fotoaparát s možností výměny objektivů. Je vybavený 24MPx full frame CMOS snímačem se sklopným zrcátkem. K automatickému ostření je fotoaparát vybaven tichým SWM motorkem s možností ručního doostření. Disponuje až 39 ostřicími body, přičemž 9 z nich je křížových. Na zadní části je fotoaparát vybaven 3,2“ LCD displejem s vysokým rozlišením 640x480 RGB pixelů. Expoziční čas lze nastavit v rozmezí od 1/4000 sekundy do 30 sekund. Rozsah citlivostí je od ISO 100 do ISO 6400. Tento rozsah citlivostí je možno ještě rozšířit směrem nahoru na ISO 12800 respektive ISO 25600 anebo směrem dolů na ISO 50. Záznamy lze ukládat v různých formátech (JPEG, MOV, NEF (RAW)). Další technické specifikace fotoaparátu jsou uvedeny v příloze B1.



Obr. 36 – Fotoaparát Nikon D600 [27]

- Nikon AF-Nikkor 1:1,4D

Tento objektiv je jeden ze starších modelů od firmy Nikon. To se odráží na designu objektivu, který obsahuje tradiční clonový kroužek. Nicméně objektiv už je také vybaven funkcí autofokus, kterou ovládá tělo fotoaparátu. Je vybaven tradičním rozložením 7 prvků do šesti skupin za využití pouze kulových ploch. Proto obraz pořízený s tímto objektivem je bez zkreslení s vynikajícím rozlišením a barvami. Jeho ohnisková vzdálenost je 50 mm a světelnost F1,4. Další technické specifikace objektivu jsou uvedeny v příloze B2.

- PhotoModeler Scanner

PhotoModeler Scanner je fotogrammetrický program od kanadské společnosti Eos Systems Inc. a je jedním z nejrozšířenějších programů pro fotogrammetrické vyhodnocování. Mnou byla použita 64-bitová verze PhotoModeler Scanner 0.0.910. Pro vyhodnocování je dobré, že program podporuje využití kódových značek. Lze s ním vyhodnotit jak leteckou, tak i pozemní fotogrammetrii. Program využívá principů průřezové fotogrammetrie. Výsledky práce lze vyexportovat například v klasickém textovém souboru TXT nebo ve formátu DXF v podobě trojrozměrného modelu.

- AgiSoft PhotoScan

AgiSoft PhotoScan je program od ruské společnosti AgiSoft LLC. Tato společnost se zabývá automatickým 3D modelováním a mapováním, které je založeno na technologiích digitálního obrazu a počítačového zobrazení. Program PhotoScan zpracovává data pomocí metody SfM (Structure of Motion). Ke zpracování dat byla použita 64-bitová verze AgiSoft PhotoScan Professional 0.9.1.1632. Zpracování dat probíhá za pomoci automatizovaných postupů umožňující zpracování velkého množství snímků. Program zpracovává velké množství formátů JPEG, RAW, PNG a BMP. Škála exportních formátů je opět velmi široká. Možnost exportu dat je v podobě klasického textového souboru TXT se souřadnicemi a barvami bodů nebo v podobě 3D modelu ve formátech DXF či FBX. Z programu lze též vyexportovat digitální výškový model nebo ortofotosnímky.

- Autodesk AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil je program od americké společnosti Autodesk. Tento program je dá se říci nadstavbou AutoCADu, který tvoří jeho jádro. To znamená vše, co v tomto programu navrhujeme je dynamicky propojené. Změny v návrzích se nám tedy projevují automaticky, čímž získáváme stále aktuální dokumentaci. Ke zpracování dat jsem použil Autodesk AutoCAD Civil 3D 2014 potažmo 2015. Program je skvělým pomocníkem pro

projektanty zabývající se dopravními, ekologickými a vodohospodářskými stavbami neboli tam, kde je vhodné pracovat se 3D modely. Pro dopravní projektanty jsou nejvíce užitečné výpočty kubatur zemních prací, návrhy tras a nivelet či modelování koridorů s možností vizualizace projektu. Do programu je možno načíst GIS data, mapové podklady i bodová pole z řady zdrojů. Díky svému výstupnímu formátu DWG, který je nejpřesnější formátem pro ukládání projekčních dat, je možné tento soubor nahrát do dalších aplikací, než těch od firmy Autodesk.

- Code::Blocks

Code::Blocks je zdarma dostupný software pro programátory programující v programovacích jazycích C a C++. Je možné do něj nahrát i jiné projekty z jiných programovacích programů.

7.7.2 Příprava a vlastní měření

V posledním způsobu měření, kterým jsem měřil texturu povrchu vozovky, jsem přistoupil k fotografování povrchu vozovky, abych tyto fotografie mohl následně vyhodnotit za pomoci fotogrammetrických softwarů. Při tomto posledním měření jsme se na každém místě měření střídali s kolegou, který měřil stejná místa, ale s technologií 3D skenování. Před tímto měření, při měřeních zkušebních, jsem jako šablonu používal list papíru, na kterém byly zobrazeny čtyři kódované v lícovací body neboli targety. Tato šablona však byla nevyhovující pro měřicí metodu 3D skenování, a tak jsme byli donuceni vytvořit šablonu novou.

Základem šablony je tvrdý neohebný plech, aby nedocházelo k její deformaci a tím i ke vzniku nepřesností při měření. Rozměry šablony jsou zvoleny tak, aby po vytvoření otvoru, byla zbývající šířka plechu dostačující pro zakrytí povrchu vozovky. Vnější rozměry šablony jsou 32 x 22 centimetru. Vyříznutý čtvercový otvor má rozměry 10,5 x 10,5 centimetru. Otvor je vyříznut schválně o 0,5 cm větší, aby v oříznutém souboru 10 x 10 centimetru byly zaznamenány správně krajní hodnoty. Na šablonu jsme pak umístili kódované v lícovací body dvou typů, jedny pro fotogrammetrii a druhé pro 3D skenování. Celkem jsme na šablonu umístili 76 kódovaných v lícovacích bodů. Pro účely fotogrammetrie jsme na šablonu umístili 55 kódovaných v lícovacích bodů neboli targetů. Tyto značky jsou 12-bitové. To jsou ty kruhové značky, které mají uprostřed černého mezikruží černou tečku. Mezikruží je přerušováno, aby nenastal případ, že některé targety budou shodné. Každý target je tedy unikátní a má své kódové označení. Pro účely 3D skenování slouží ty ostatní kruhové značky s bílými středy. Těchto značek je na šabloně umístěno 21. Na šabloně jsme ještě znázornili osy x a y. Osy nám ukazují,

jaký bod z těchto rámových značek má souřadnice 0,0. Šablonu s vyznačenými rámovými značkami pro jednotlivé způsoby měření je zobrazena na obr. 37.



Obr. 37 – Multifunkční srovnávací šablona

Tuto multifunkční srovnávací šablonu jsme museli vytvořit, aby bylo možné naměřené a vyhodnocené data pořízená fotogrammetrií a 3D skenováním dále mezi sebou porovnat. To však již není předmětem této diplomové práce.

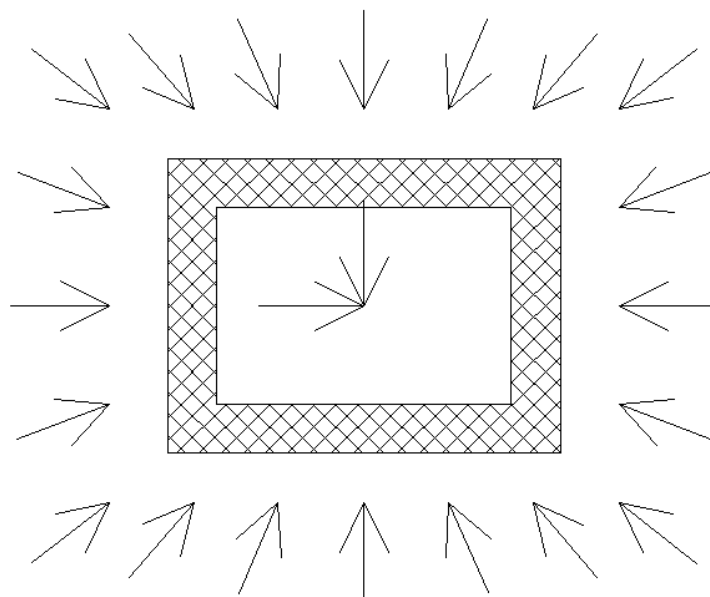
Ještě před samotným měřením, v tomto případě fotografování bylo potřeba nastavit fotoaparát, aby vzniklé snímky byly co nejvíce shodné. Nejprve jsem nastavil objektiv fotoaparátu na ohniskovou vzdálenost 50 mm. Aby nedošlo k rozštelování objektivu, musel jsem clonový kroužek zafixovat do stálé polohy. Z tohoto důvodu jsem musel na fotoaparátu vypnout funkci autofokus. Zaostřování tedy probíhalo fyzickým přibližováním a oddalováním fotoaparátu od povrchu vozovky. Poté jsem přistoupil k vnitřnímu nastavení fotoaparátu pomocí tlačítek na zadní straně přístroje. Přehled nastavených parametrů je uveden v tabulce 15.

S takto nastaveným fotoaparátem a nachystanou šablonou jsem mohl s kolegou přistoupit k vlastnímu fotografování povrchu vozovky. Jelikož jsem toto měření dělal až druhý den měření, bylo nejprve nutné označit si všech osm míst měření podle pořízených fotografií v první den měření. To jsem udělal hlavně proto, aby výsledné hodnoty získané tímto způsobem měření, tedy fotogrammetrickým vyhodnocením, byly porovnatelné s hodnotami získanými odměrnou metodou v první den měření. Na určené místo jsem vždy přiložil naší vytvořenou šablonu a vyfotografoval toto místo z různých úhlů pohledu.

Tab. 15 – Nastavení fotoaparátu

Nastavení fotoaparátu	
Citlivost	ISO 1600
Clona	f/10
Expoziční čas	1/100
Ohnisková vzdálenost	50 mm
Expozice	+1 krok
Režim blesku	Bez blesku
Šířka	6016 px
Výška	4012 px
Rozlišení	300 px/palec

Celkem jsem při každém focení daného místa pořídil dvaadvacet snímků. Snímky jsem pořizoval, s co největším překryvem a pohled do středu fotografovaného místa. Pohledy focení jsou znázorněny na obr. 38. Nejprve jsem postupně vyfotografoval měřené místo celé kolem do kola, kdy pořizované snímky jsou přibližně pod úhlem 45 až 60 stupňů. Takto jsem získal dvacet snímků pro další vyhodnocení. Zbylé dva snímky jsou pořízeny kolmo k povrchu vozovky. Tyto dva snímky jsou vůči sobě pootočené o 90 stupňů.



Obr. 38 – Směry fotografování

Všechny snímky byly pořízeny ze vzdálenosti 50 centimetrů. Při dodržování této vzdálenosti jsem se řídil pokyny fotoaparátu, který mi říkal pomocí proměnných symbolů, zda fotoaparát oddálit či přiblížit. Zpočátku jsem měl veliké problémy dostat fotoaparát

do požadované vzdálenosti pro získání dokonale ostrých fotografií. Ale postupem času jsem již neměl výraznější problémy a fotografování každého místa měření proběhlo v řádech minut. Nad každým místem měření jsem provedl dvojí fotodokumentaci, abych předešel případným problémům v případě nepovedených či neostrých snímků. V průměru jsem strávil 4,25 minuty pořizováním jedné sady fotodokumentace (dvaadvacet snímků), tzn. 17 minut na jednom stanovišti. Celkově mi pořízení všech snímků trvalo 68 minut.

7.7.3 Vyhodnocení

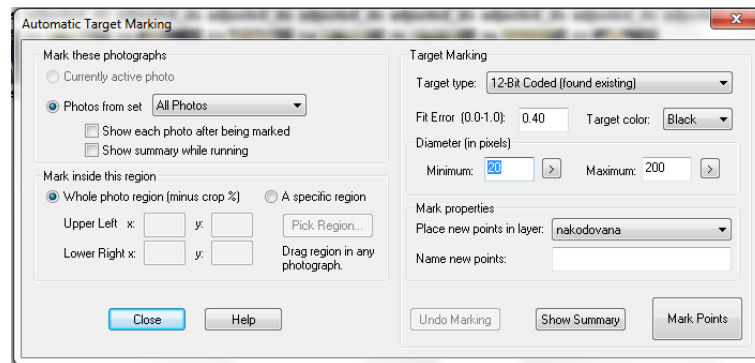
K vyhodnocení dat ze získaných snímků je potřeba více počítačových programů, se kterými jsem se musel naučit postupně pracovat a poměrně výkonný počítač. Při vyhodnocování dat jsem použil tyto programy: PhotoModeler Scanner, AgiSoft PhotoScan, Code::Blocks a Autodesk Civil 3D. Více o nich pojednává kapitola 7.7.1. Před vlastním zpracováním je možné ještě získané snímky v počítači upravit (kontrast, stíny, zřetelnost) třeba v programu Photoshop CS. Mnou získané snímky jsem však dále neupravoval, jelikož se mi zdálo, že žádné změny provedené na snímcích nevedly k lepšímu výsledku, než měl pořízený originál.

7.7.3.1 Zjištění souřadnic targetů

Než jsem však mohl přistoupit k vytvoření vlastního modelu povrchu vozovky, musel jsem zjistit souřadnice targetů na naší šabloně. Je nutné podotknout, že tento problém se řeší pouze teď při prvním vyhodnocení. Bude-li se tímto způsobem vyhodnocovat jiné měření, tento krok bude přeskočen, neboť souřadnice targetů na šabloně již budou známy a postačí je pouze nahrát do programu, jímž se bude vytvářet model. Nesmí ale dojít ke změně pozic targetů na šabloně. K řešení tohoto problému jsem využil program PhotoModeler Scanner.

Nejprve však bylo nutné vyfotografovat si samotnou šablonu. Při jejím fotografování jsem použil stejný postup, jako při fotografování povrchu vozovky. Znovu jsem ji tedy vyfotografoval celou kolem dokola pod úhlem cca 45 stupňů a poté jsem pořídil snímky i kolmo k šabloně. Těchto snímků s fotoaparátem nasměřovaným kolmo k šabloně je pořízeno více než při fotografování povrchu vozovky. Cílem fotografování bylo, aby se na snímku objevilo co nejvíce kódovaných v lícovacích bodů. Celkem jsem pořídil 27 snímků šablony. Fotoaparát však musel zůstat nastaven na ohniskovou vzdálenost 50 mm, aby byly snímky zaostřeny na stejnou vzdálenost. Až nyní jsem mohl přistoupit k hledání souřadnic targetů a vytvoření modelu destičky.

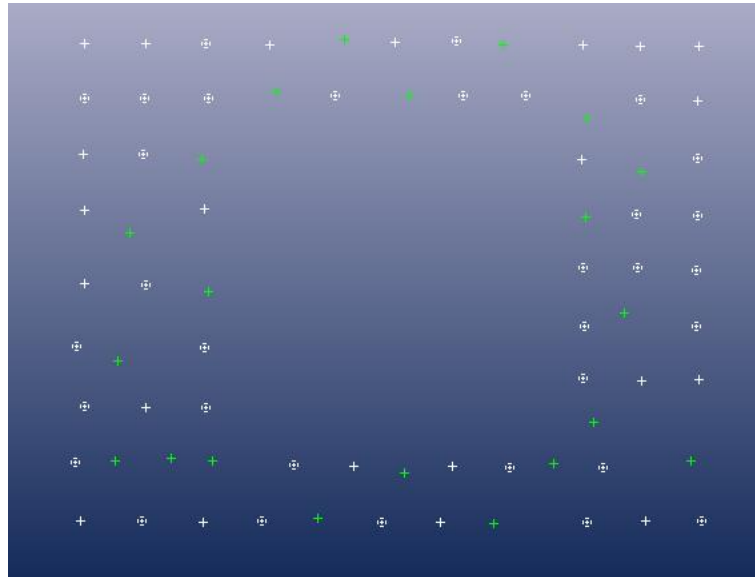
Při zahájení vytváření modelu jsem vybral *Automated Project* → *Smart Point Projekt*. Do takto založeného projektu jsem nahrál z adresáře pořízené snímky vlastní šablony. Projekt byl založen takto, aby byly automaticky detekovány targety. Po načtení snímků do programu jsem musel najít jednotlivé rámové značky. K tomu jsem využil příkaz v horní liště *Marking* → *Automatic Target Marking* a otevřel si dialogové okno pro vyhledávání kódovaných v lícovacích bodů (obr. 39). V tomto okně jsem si nastavil, že chci najít 12-bitové targety černé barvy a chybovost na rozpoznání odpovídajícího znaku jsem nechal 0,4. Program nenašel 12-bitové targety úplně všechny. Našel pouze ty, u kterých si mnou nastavenou chybovostí byl jistý.



Obr. 39 – Vyhledávání rámových značek (12-bitové targety)

Abych rozpoznal i ostatní targety určené fotogrammetrii, musel jsem celý postup vyhledávání opakovat znovu s tím rozdílem, že tentokrát jsem nehledal již 12-bitové targety, ale nechal jsem vyhledat pouze černé středy nerozpoznaných targetů. Po tomto kroku jsem měl vyhledány všechny 12-bitové targety. Nerozpoznány tak zůstaly kódované v lícovací body pro skener. Ty jsem vyhledal třetím opakováním tohoto postupu. Tyto značky byly nalezeny přes svou bílou kruhovou plochu. Program označil jako hledané targety i body, které rámovými značkami nejsou. Proto bylo nutné vzít snímek po snímku a přebytečně nalezené body vymazat. Následně jsem přikročil k vytvoření modelu přes příkaz v horní liště *Project* → *Process*. A přes příkaz *Referencing*, opět na horní liště, body pospojoval. Do takto vytvořeného modelu jsem pak nadefinoval souřadný systém přes ikonu *External Geometry Explorer*. Souřadnice jsem nadefinoval pro body určené pro skener, jelikož souřadnice těchto bodů byly určeny 3D skenerem. Nahrané souřadnice z textového souboru jsem musel jednu podruhé ručně přiřadit odpovídajícím si bodům v modelu. Aby byl model kompletní musel jsem do něj ještě nahrát kalibraci fotoaparátu. To jsem udělal přes příkaz v horní liště *Project* → *Cameras*. Zde jsem použil z knihovny již předdefinovanou kalibraci mého fotoaparátu. Nejhorší bod v kalibraci měl nepřesnost označení 0,823 pixelu a celková nepřesnost RMS byla 0,136 pixelu. Vypočtené parametry vnitřní orientace jsou uvedeny v příloze

A2. Po nahrání kalibrace jsem znovu přetvořil model a vyšla mi nejvyšší nepřesnost určení bodu 0,66 pixelu a největší nepřesnost RMS 0,314 pixelu. Spočetli se i souřadnice ostatních bodů. Na obr. 40 je tento model zobrazen. Jsou na něm barevně odlišeny body, které patří buď fotogrammetrii nebo 3D skeneru. Bílou barvou jsou znázorněny ty pro fotogrammetrii a barvou zelenou pro 3D skener.



Obr. 40 – Výsledný model šablony (souřadnic bodů – PhotoModeler)

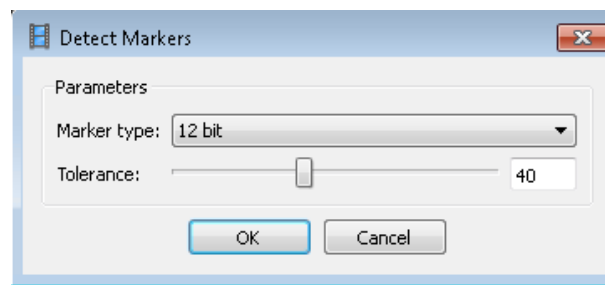
Získané souřadnice bodů jsem poté vyexportoval a dále upravil v Excelu. Tato úprava spočívala v tom, že identifikační kódy targetů ve PhotoModeleru neodpovídají identifikačním kódům targetů v AgiSoftu. Musel jsem tedy vzít jeden target po druhém a přiřadit mu odpovídající kód pro AgiSoft. Tento postup byl velmi zdlouhavý a náročný na neudělání chyby při přepisování kódových označení. Po dokončení úprav jsem získal souřadnice a kódové číslo každého targetu umístěného na šabloně. Souřadnice jsou potřebné pro vytvoření modelu textury povrchu vozovky v programu AgiSoft PhotoScan.

7.7.3.2 Vytvoření modelu textury povrchu vozovky

Když už jsem měl známé souřadnice, získané v programu PhotoModeler, v textovém souboru, mohl jsem přistoupit k dalšímu zpracování v programu AgiSoft PhotoScan, kterým jsem vytvořil 3D model textury povrchu vozovky.

Nejprve jsem do programu musel nahrát z adresáře pořízené a mnou dále neupravené snímky z jednoho místa měření. Nahrané snímky byly ve formátu RAW. Docílil jsem toho přes záložku v horní liště *Workflow* → *Add Photos*. Po nahrání snímků jsem přistoupil k vyhledání targetů, jenž jsou v programu označovány jako „Markers“. Jejich vyhledávání může být ruční nebo automatické. Já jsem zvolil vyhledávání automatické. Targety jsem

vyhledal přes odkaz *Tools* → *Markers* → *Detect Markers*. Nastavení vyhledávání jsem nechal na programem nastavených hodnotách (obr. 41). Tedy že chci vyhledat 12-bitové targety s tolerancí 40 %. Program vyhledal a na všech snímcích označil všechny rámové značky určené pro fotogrammetrii, jenž jsou vyznačené na šabloně. Nalezeno bylo tedy všech 55 targetů. Tyto nalezené body slouží k nastavení souřadného systému, k následnému vzájemnému vyrovnání snímků nebo k měření vzdáleností. Minimální počet snímků, na kterých jsou vyznačeny targety, je dva, s tím že na jednom snímku musí být vyznačeny alespoň čtyři targety.



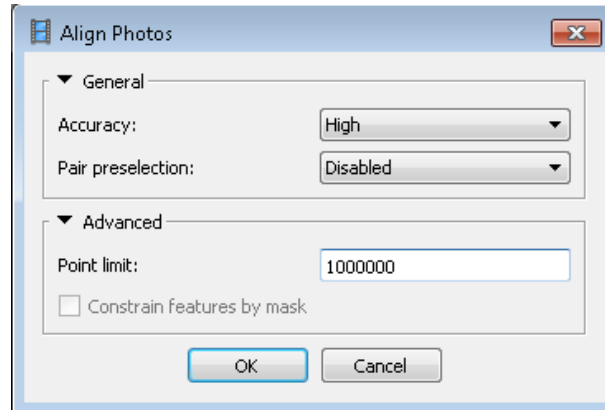
Obr. 41 – Dialogové okno vyhledání targetů

Poté jsem nalezeným targetům přiřadil souřadnice nahráním již zmiňovaného textového souboru vytvořeného v PhotoModeleru přes příkaz *Ground Control* → *Import*. Import byl proveden od druhého řádku, aby byla vynechána hlavička souboru. Ještě před vyrovnáním snímků bylo potřeba nahrát kalibraci fotoaparátu přes záložku *Tools* → *Camera Calibrations*.

Před vlastním nahráním kalibrace jsem ji musel vytvořit v bezplatné licenci programu AgiSoft Lens. Do tohoto programu jsem nahrál sadu pěti upravených snímků a provedl kalibraci. Ta byla provedena úspěšně při ponechání všech parametrů na výchozích hodnotách. Na snímcích byla zobrazena černo-bílá šachovnice. Pořízeny byly vyfotografování LCD monitoru, kde byl zobrazen tento vzor. Tuto získanou kalibraci ve formátu XML jsem přes zmiňovanou cestu nahrál do programu AgiSoft PhotoScan. Vypočtené parametry vnitřní orientace jsou uvedeny v příloze A3. Při kalibraci jsem zaškrtl volbu „Fix calibration“. To znamená, že program vzal tyto hodnoty za závazné při dalším zpracování.

Po nahrání souřadnic všem zjištěným targetům a kalibrace fotoaparátu následoval proces „Align Photos“. Tento proces způsobil vzájemné vyrovnání snímků vůči sobě a odhadl pozice kamer nad povrchem vozovky. Přes cestu *Workflow* → *Align Photos* jsem zobrazil dialogové okno tohoto procesu (obr. 42). Prvním nastavitelným parametrem procesu vyrovnání je „Accuracy“. Nechal jsem ho na výchozím parametru „High“. Druhým nastavitelným parametrem procesu vyrovnání je „Pair preselection“.

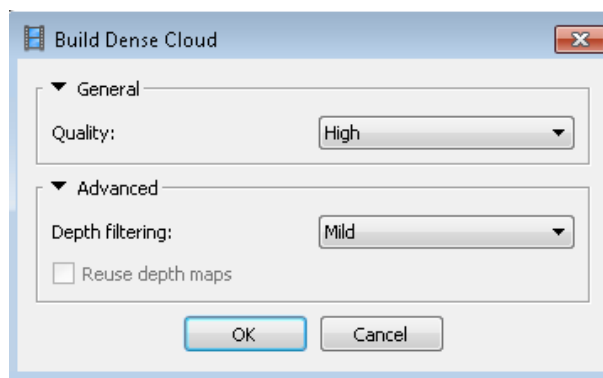
I tento parametr jsem nechal jako výchozí „Disabled“, jelikož jsem neznal polohu fotoaparátu v době pořízení snímku. A třetí parametr „point limit“ jsem nastavil na hodnotu jeden milion. Tímto parametrem udávám počet bodů obsažených v základním mračnu.



Obr. 42 – Dialogové okno vyrovnání snímků

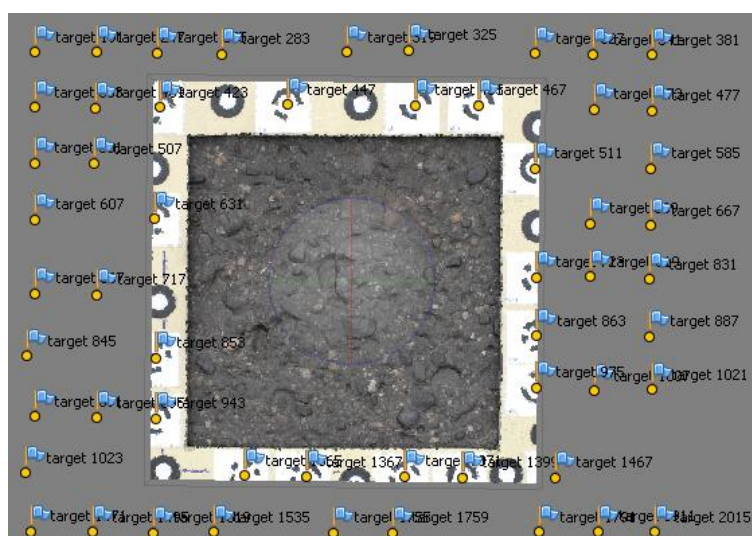
Po přiřazení souřadnic jednotlivým targetům, vzájemném vyrovnání snímků a odstranění chyb jsem provedl optimalizaci procesu vyrovnání snímků novým přepočtením bodů. Odstranění chyb po vzájemném vyrovnání jsem udělal přes *Edit* → *Gradual Selection* a zde jsem za kategorii zvolil „Reprojection error“. Tento parametr jsem se snažil dostat pod hodnotu jedna. Po tomto kroku jsem znovu provedl optimalizaci procesu vyrovnání snímků. Po nové optimalizaci jsem se znovu podíval na odstraňování chyb a znovu se snažil dostat pod hodnotu jedna. Tyto kroky jsem u každého místa vytvářeného modelu dělal minimálně dvakrát, než se mi parametr „Reprojection error“ pod hodnotu jedna podařilo dostat. Aby vytvořený model byl co nejčistší a neobsahoval mnoho zbytečných bodů, odstranil jsem ručně ty body, které byly viditelně nad nebo pod úrovní bodů ostatních. Dále jsem zmenšil ohraničení pro vytvoření modelu na nejmenší možný tvar, aby se mi vymodeloval pouze potřebný čtverec 10 x 10 centimetrů. Program tyto vyřazené body na výstupu ořízne. Nikoli však vyhledané targety.

Po tomto procesu přípravování bodů jsem mohl konečně přistoupit k vytvoření samotného modelu textury povrchu vozovky. Použil jsem k tomu příkaz *Workflow* → *Build Dense Cloud* (obr. 43).



Obr. 43 – Dialogové okno pro vytvoření modelu

V dialogovém okně pro vytvoření modelu jsem parametr „Quality“ změnil na „High“. S tím mi ale stoupla časová doba zpracování modelu. Druhý parametr „Depth Filtering“ jsem nechal jako výchozí „Mild“ z toho důvodu, že vytvořený model bude obsahovat s velkou četností malé detaily. Model vygenerovaný pomocí hustého mračka bodů je zobrazen na obr. 44. Tímto krokem jsem získal programovým výpočtem informace o hloubce obrazu.



Obr. 44 – Vytvořený model textury povrchu vozovky (AgiSoft PhotoScan)

V tab. 16 jsou shrnuty všechny důležité hodnoty ze všech osmy vytvořených modelů. Můžeme z ní vyčíst, že po provedení procesu vzájemného vyrovnání snímků program vytvořil předběžný model, který čítal okolo 150 tisíc bodů. V tomto směru se odlišuje model z osmého měření, kde jej program vytvořil pouze ze 100 tisíc bodů. Tento počet bodů se razantně navýšil vygenerováním modelu z hustého mračka bodů, jak je vidět ve třetím sloupci. Pro vytvoření těchto modelů vygeneroval program přes 2 miliony bodů, tvořící jednotlivé modely. Zde se odlišuje model ze šestého měření, který je tvořen necelými dvěma miliony bodů. Jak ale znázorňuje poslední sloupec, neznamená to, že

tento model se v přesnosti liší od ostatních. Ve čtvrtém až šestém sloupci jsou uvedeny chybovosti určení souřadnic targetů, jak je detekoval program Agisoft PhotoScan oproti nahraným souřadnicím, které jsem získal při určování souřadnic targetů na šabloně v programu PhotoModeler Scanner. Jak je vidět chybovost určení souřadnic x a y se pohybuje v tisícinách milimetru, což jsou rozhodně zanedbatelné hodnoty. Chybovost určení souřadnice z je poměrně větší. Ta se pohybuje v rámci setin milimetrů. Ale i toto určení je velmi přesné. Celková chybovost učení souřadnic je pak prostý vektorový součet souřadnic x, y, a z. Poslední sloupec ukazuje chybovost určení polohy bodu na snímku vůči vypočtenému modelu v pixelech. Výsledné hodnoty se pohybují hluboko pod jeden pixel. Což můžu brát za velmi uspokojivé a konstatovat, že detekování targetů bylo velmi přesné. Je vidět, že přesnosti určení jsou u každého vytvořeného modelu měření poměrně stejné a u žádného modelu výrazně nevybočují.

Tab. 16 – Souhrn výstupů z modelu

Pořadí modelu	Bodové mračno (Point Cloud)	Husté mračno (Dense Cloud)	Chybovost určení souřadnice X [mm]	Chybovost určení souřadnice Y [mm]	Chybovost určení souřadnice Z [mm]	Celková chybovost určení souřadnic [mm]	Celková chybovost [pix]
1. model	176978	2330120	0,008	0,006	0,056	0,057	0,244
2. model	175923	2225328	0,008	0,006	0,052	0,053	0,292
3. model	141885	2332224	0,01	0,008	0,064	0,065	0,370
4. model	166944	2224179	0,011	0,01	0,029	0,033	0,395
5. model	165891	2392133	0,008	0,007	0,069	0,069	0,306
6. model	157890	1985404	0,008	0,007	0,043	0,044	0,335
7. model	154464	2089119	0,008	0,009	0,023	0,026	0,336
8. model	105387	2128779	0,01	0,008	0,041	0,043	0,339

Vytvoření modelu byl poslední krok v programu AgiSoft PhotoScan v mé cestě k získání průměrné hloubky makrotextury povrchu vozovky. K dalšímu zpracování jsem musel data z programu vyexportovat do textového souboru. V tomto souboru je u každého bodu povrchu vozovky uvedena souřadnice x, y a z, barvy bodů a normály x, y a z. Aby byly výsledné hodnoty průměrné hloubky makrotextury přesné, musel jsem z tohoto velkého souboru souřadnice bodů vybrat ty, které se vyskytují pouze v potřebném čtverci 10 x 10 centimetrů. Vyřešení tohoto problému mi dělalo velké problémy. Až jsem k jeho vyřešení použil volně stažitelný program Code::Blocks. V tomto programu jsem vytvořil

programovacím jazykem C++ algoritmus, který mi ze souboru, získaného programem PhotoScan, vybral jen pro mě důležité body, vyskytující se ve čtverci 10 x 10 centimetrů. Aplikováním algoritmu na všech osm souboru se souřadnicemi bodů jsem získal osm souboru nových, ale již jen se souřadnicemi potřebných bodů. Algoritmus je možné nalézt v příloze C1 této práce. V příloze A4 – 11 jsou zobrazeny jednotlivé modely povrchu vozovky z míst měření vytvořené po oříznutí souřadnic. Je zde tedy zobrazen povrch bez srovnávací šablony.

7.7.3.3 Zjištění objemu materiálu

V dalším zpracování jsem pokračoval v programu Autodesk Civil 3D, v němž jsem zjistil objem materiálu. Tento objem je shora ohraničen vodorovnou plochou procházející nejvyšším bodem vytvořeného modelu a zdola je ohraničena vlastním povrchem vozovky. Tento získaný objem je nejdůležitější pro konečné vyhodnocení a vyjádření střední hloubky makrotextury.

Před vytvořením povrchu v Civilu jsem musel u každého oříznutého modelu zjistit souřadnice nejvyššího bodu vyříznutého povrchu vozovky. K vyřešení této úlohy jsem opět použil program Code::Blocks, ve kterém jsem trochu upravil již vytvořený algoritmus pro oříznutí souřadnic bodů. Tento upravený algoritmus mi u každého povrchu našel souřadnice x, y a z nejvyššího bodu vyskytujícího se v povrchu. Vytvořený algoritmus je uveden v příloze C2.

Nyní jsem přistoupil k nahrání uříznutých souřadnic do programu Autodesk Civil 3D. Na začátek jsem si vytvořil prázdný projekt, do kterého jsem přes *Definice* → *Soubory bodů* nahrál potřebné souřadnice bodů. Vznikl mi ohraničený povrch, v němž jsou jednotlivé body pospojovány do trojúhelníkové struktury. Pomocí kružnice a získaných souřadnic x a y jsem vyznačil nejvyšší bod v povrchu, kterým jsem si proložil pomocnou přímkou tak, aby mi protínala hranice povrchu. Přes nástroje *Trasa* jsem si vytvořil trasu „Tečnovým polygonem bez oblouků“ spojením hranic povrchu přes vyznačený nejvyšší bod. Následným krokem bylo vytvoření profilu vytvořené trasy přes nástroje *Profil* → *Vytvoření profilu povrchu*. Na vytvořeném profilu si přímkou zvýrazním nejvyšší bod trasy. Opět v nástrojích *Profil* → *Nástroje vytvoření profilu* a kliknutím na nadpis vytvořeného profilu jsem vytvořil niveletu trasy spojením horních bodů. Po zhotovení profilu jsem vybudoval koridor přes nástroje *Koridor*. V šabloně typických řezů jsem musel vybrat vzorový příčný řez, abych mohl v koridorech měnit parametry. Prvním změněným parametrem byla frekvence. Zde jsem všechny číselné hodnoty změnil na hodnotu jedna a přebudoval koridor. Nyní přichází nejpracnější část tohoto vyhodnocování, kdy se musí křivkou obtáhnout hranice povrchu. Spojují se body, které

se vyskytují na hranici. Výsledná křivka musí kopírovat hranice povrchu, aby nedošlo ke zkreslení při výpočtu kubatur. Po obtažení jsem změnil další parametr koridoru přes *Vlastnosti koridorů* → *Parametry* → *Cíl*. V tomto nastavení změním v cílové trase z „Žádný“ na „Vybrat z výkresu“ a vyberu mnou vytvořenou křivku. Na závěr se opět přebuduje koridor. Další krok je přes nástroje *Stopy příčných řezů*. Ze seznamu vyberu vytvořenou trasu a v *Nástrojích stop příčných řezů* změním ve staničení na „Podle rozsahu staničení“. V zobrazeném dialogovém okně nastavím šířku na 100 metrů a krok na 1 metr. Poté jdu znovu do *Vlastnosti koridorů* → *Povrchy* a vytvořím povrch koridoru, do kterého přidám typ dat „Spojnice“ a kód „Top“ a znovu přebuduji koridor. Poté si rozbalím *Trasy* v levém sloupci a otevřu si *Vlastnosti stop příčných řezů*. V záložce „Příčné řezy“ zkontroluji datové zdroje, zda jsou všechny na pravé straně ve „Zdrojích dat“. Ve stejných vlastnostech pak v záložce „Definice materiálu“ přidám nový materiál a v typu množství vyberu násyp. Pak přidám povrchy. Nejprve přidám vytvořený povrch vozovky, u kterého dám podmínku „Nad“. Jako druhý povrch přidám povrch z koridoru, kde dám podmínku „Pod“. To znamená, že bude vyplněna oblast nad povrchem vozovky a pod povrchem koridoru. Povrch koridoru jsem nastavil, že je vodorovný a prochází nejvyšším bodem povrchu vozovky. To je veškeré nastavení pro výpočet kubatur, které představují objem vyplňujícího materiálu. Na závěr si už nechám tento výpočet programem spočítat a zobrazit do tabulky (obr. 45)

CELKOVÉ KUBATURY							
Staničení	Plocha výkopu	Plocha násypu	Objem výkopu	Objem násypu	Celkový objem výkopu	Celkový objem násypu	Čistý objem
0,099996	0,00	0,00	0,00	90,10	0,00	16015,05	-16015,05

Obr. 45 – Výsledný výpočet celkového objemu materiálu

7.7.3.4 Výpočet střední hloubky makrotextury

Po získání objemu materiálu jsem přistoupil k určení střední hloubky makrotextury jednotlivých povrchů měření. K vyhodnocení jsem použil upravený vzorec (8) pro výpočet střední hloubky makrotextury. Úprava vzorce (3) pro výpočet střední hloubky makrotextury spočívá v obměnění jmenovatele, kdy část pro výpočet plochy kruhu je nahrazena výpočtem plochy čtverce, protože tento geometrický tvar má otvor v naší vytvořené šabloně.

$$MTD = \frac{V}{a * a} \quad (8)$$

kde,

MTD je střední hloubka makrotextury [mm]

V je zjištěný objem materiálu [mm³]

a je strana vyříznutého čtverce v šabloně [100 mm]

Dosazením hodnot do vzorce (8) jsem získal výsledné střední hloubky makrotextury (tab. 17) počítané z pořízených snímků povrchu vozovky. Tyto snímky byly převedeny fotogrammetrickými principy do počítačového modelu.

Tab. 17 – Výsledné střední hloubky makrotextury (fotogrammetrie)

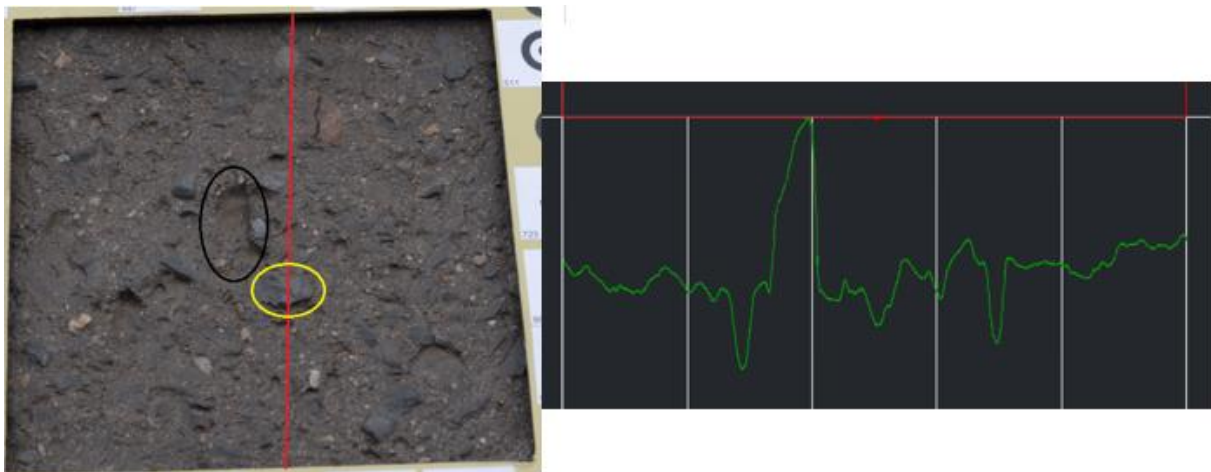
Pořadí měření	Zjištěný objem [mm ³]	Střední hloubka makrotextury - fotogrammetrie [mm]	Klasifikační stupeň	Střední hloubka makrotextury - odměrná metoda [mm]	Rozdíl [mm]
1. měření	12967,7	1,297	1	0,923	0,374
2. měření	10271,9	1,027	1	0,814	0,213
3. měření	25086,1	2,509	1	0,999	1,51
4. měření	16409,1	1,641	1	1,025	0,616
5. měření	15326,7	1,533	1	1,031	0,502
6. měření	10155,5	1,016	1	0,685	0,331
7. měření	15833,9	1,583	1	0,923	0,66
8. měření	16015	1,602	1	0,977	0,625

7.7.3.5 Zhodnocení výsledků a využitelnosti fotogrammetrie

Z tab. 17 lze vyčíst, že střední hloubky makrotextury zjištěné fotogrammetrií jsou vždy o pár desetin milimetrů vyšší než střední hloubky makrotextury zjištěné odměrnou metodou. Rozdíl těchto středních hloubek na jednotlivých místech měření se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,7 milimetru. Extrémem v porovnání metod pro zjišťování střední hloubky makrotextury je třetí měření, kde rozdíl činí 1,5 milimetru. Při aplikování tab. 5 na získané výsledky mi vyšlo, že všechny místa měření mají klasifikační stupeň 1 a tudíž velmi dobrou makrotexturu povrchu vozovky. Lze si ale všimnout, že získané hodnoty odměrnou metodou a fotogrammetrií spolu vzájemně korespondují. Na stejném místě

měření nejnižším zjištěným středním hloubkám makrotextury odměrnou metodou odpovídají nejnižší střední hloubky makrotextury získané fotogrammetrií. Na téměř hladkém a málo členitém povrchu vozovky, povrchy druhého a šestého měření (obr. A5 a A9 v příloze), se rozdíly pohybují v přijatelných mezích 0,2 – 0,3 milimetru. S rostoucí členitostí povrchu vozovky se rozdíly jednotlivých středních hloubek makrotextury zvyšují a pohybují se v rozmezí 0,5 – 0,7 milimetru. Zde se již začínají projevovat menší nepřesnosti odměrné metody a velká přesnost vyhodnocení počítačovými programy. Tento interval rozdílů se objevuje na čtvrtém, pátém, sedmém a osmém místě měření (obr. A7, A8, A10, A11 v příloze). Nejvíce patrné rozdíly v přesnosti měření obou metod jsou vidět na výrazně členitém povrchu vozovky.

Tento případ v mém měření nastal při třetím měření. Jak je vidět na fotografii (obr. 46 vlevo), v tomto povrchu se vyskytuje kousek kamene výrazně vyčnívající z textury povrchu vozovky (znázorněn žlutou elipsou) a v těsné blízkosti tohoto kousku kamene poměrně značná prohlubeň v textuře povrchu vozovky (znázorněna černou elipsou).



Obr. 46 – Povrch třetího měření (vlevo) a podélný profil trasy (vpravo)

Červená čára znázorňuje trasu procházející přes nejvyšší vrchol v textuře povrchu vozovky. Touto trasou jsem vyhodnocoval v Autodesku Civilu 3D objem materiálu potřebný k vyplnění povrchu vozovky. Podélný profil trasy je vyobrazen na obr. 46 vpravo. Je vidět, že zmíněný kousek kamene skutečně razantně vyčnívá nad okolní texturu povrchu vozovky. Zde se teprve nejvíce projevují odlišné postupy metod. U odměrné metody jsou skleněné kuličky rozprostírány do kruhové plochy a v případě lokálního extrému jako je tento, se metoda stává nepřesnou, jelikož tento extrém není při rozprostírání skleněných kuliček plně zahrnut. Skleněné kuličky se rozprostírají do plochy okolo něj a kamen vyčnívá nad rozprostřenou plochu. Kdežto u fotogrammetrie je tento extrém zahrnut a při vyhodnocování se s jeho souřadnicemi pracuje. Rozdíl získaných středních hloubek makrotextury u těchto povrchů je ještě zvýrazněn tím, že

u fotogrammetrického vyhodnocování tímto lokálním extrémem prokládám vodorovnou rovinu. Tato rovina je podstatná právě při zjištění objemu vyplnění, jelikož objem vyplněného materiálu jsem zjišťoval od povrchu vozovky po tuto vodorovnou rovinu. V tomto směru se nabízí zpřesnění vyhodnocení tohoto měřicího postupu. Odlišné postupy měření mají za výsledek, že u třetího měření je rozdíl vypočtených hodnot střední hloubky makrotextury povrchu vozovky výrazný, a to 1,5 milimetru.

Ze získaných výsledků můžu usoudit, že měření střední hloubky makrotextury povrchu vozovky fotogrammetrií je možné. Jedná se však o velice přesnou metodu měření a porovnání s odměrnou metodou může být jen orientační. A to jak jsem si ověřil spíše u méně členitých povrchů vozovky, jelikož v odměrné metodě se rozprostření skleněných kuliček řídí subjektivním názorem a zkušenostmi měřitele. U fotogrammetrie se vždy získá přesný obraz povrchu vozovky. V mém případě oblasti vozovky 10 x 10 centimetrů. Určitou roli v přesnosti nebo nepřesnosti vyplnění povrchu vozovky mohou hrát samotné skleněné kuličky, které mají jasně předepsanou zrnitost 0,18 – 0,25 milimetru. U vyhodnocování v Civilu se mohl vyplnit prostor pouze kontinuálním materiálem bez nějaké přesné zrnitosti, protože to program neumí. Povrch je tak obkreslen velmi přesně a nevznikají zde žádné nevyplněné prostory, jako u skleněných kuliček. Je ale nutné podotknout, že ty nevyplněné prostory způsobené tvarem kuliček a povrchu vozovky jsou velmi malé, mohu říci téměř zanedbatelné.

Zjišťování střední hloubky makrotextury povrchu vozovky fotogrammetrií, jak je vidět na samotném zpracování a vyhodnocení měření, je velice přesná metoda měření. Při mém vyhodnocování jsem použil lehké zjednodušení, kdy za referenční rovinu jsem bral vodorovnou rovinu procházející nejvyšším bodem povrchu vozovky. V tomto směru se nabízí další zpřesnění této jinak už velmi přesné metody. Jedním z možných způsobů zpřesnění vidím v rozdělení vyhodnocovaného povrchu na šest až devět menších oblastí. V každé oblasti by se zvlášť určil objem vyplněného materiálu a střední hloubka makrotextury. Výsledná střední hloubka makrotextury povrchu vozovky by byla dána aritmetickým průměrem středních hloubek makrotextury vypočtených v jednotlivých oblastech. Další zpřesnění je možné, jakým způsobem bude proložena referenční rovina. Rovinu proložit tak, aby byl co nejvíce napodoben pohyb stěrky při odměrné metodě, která kopíruje texturu povrchu vozovky a různě se naklání vždy podle tří nejvyšších bodů v textuře povrchu vozovky pod ní. Zpřesnění by spočívalo v tom, přenést tento problém do počítačového vyhodnocení. Bylo by nutné vymyslet algoritmus, kterým by byly v jednotlivých oblastech rozděleného měřeného povrchu vozovky nalezeny tři nejvyšší body. Těmito body by se pak proložila rovina a zjistil objem vyplněného prostoru. Tímto řešením by však stoupla náročnost vyhodnocování. Ne tak

že by nebylo možné napsat algoritmus, který by tyto tři nejvyšší body našel, ale výrazně by stouply požadavky na operační systém počítače. Již při mém zjednodušeném vyhodnocování jsem potřeboval velmi výkonný počítač, abych mohl vyhodnocení dokončit. Při představě dalšího ztížení a zpřesnění výpočtů by musel být použit nějaký superpočítač, aby byly výsledky dostány v přijatelném čase. Tento problém je velkou nevýhodou fotogrammetrického zjišťování střední hloubky makrotextury povrchu vozovky. Jen doba, kterou potřeboval počítač k vytvoření všech osmi 3D modelů, se blížila jednomu dni. Další hodiny počítač potřeboval ke zjištění objemu materiálu, kterým je vyplněn prostor mezi rovinami. Naopak velkou výhodou metody je rychlost, jakou lze pořídit snímky povrchu vozovky na místě měření. Pořízení snímků trvá jen pár minut. Za další výhodu považuji to, že snímky je možno pořídit i za stavu, kdy je povrch vozovky vlhký, což odměrnou metodou nelze.

8 Závěr

Snahou této diplomové práce je poukázat na možnost využití moderních technologií a nových postupů v problematice zjišťování součinitele adheze a střední hloubky makrotextury povrchu vozovky. Pro stanovení střední hloubky makrotextury povrchu vozovky byla použita fotogrammetrie, které se věnuje převážná část této diplomové práce a jako doplněk byla provedena zkouška za účelem zjištění součinitele adheze povrchu vozovky akcelerometrem a záznamovým zařízením.

Ve druhé a třetí kapitole této práce jsou psány základní fyzikální vlastnosti adheze Amonton – Coulombovým zákonem a adhezní elipsou. Je zde poukázáno na tenkou hranici mezi pojmy adheze a tření. Třetí kapitola seznamuje s velkým počtem vlivů, které působí na součinitel adheze povrchu vozovky. Tyto vlivy se projevují různými stavy pneumatiky nebo vlivy působící z povrchu vozovky.

Čtvrtá kapitola zmiňuje měřící metody pro zjištění součinitele adheze a střední hloubky makrotextury povrchu vozovky, které jsou v současnosti u nás používané v této oblasti a jejich vzájemnou provázanost.

Pátá a šestá kapitola se zabývá zákonitostmi fotogrammetrie a principy akcelerometrů. U fotogrammetrie jsou popsána kritéria dělení a základy fotogrammetrie, ale též i její historický vývoj. U akcelerometrů se práce zabývá jejich rozdělení a stručným popisem jejich funkčnosti.

Poslední sedmá nejstěžejnější kapitola je věnována samotnému experimentu a jeho vyhodnocení. Popsány jsou zde postupy vyhodnocování jednotlivých zkoušek. V první části zkouška s akcelerometrem a záznamovým zařízením. V té druhé pak zjišťování střední hloubky makrotextury povrchu vozovky fotogrammetrií. Výsledky této zkoušky jsou porovnány s hodnotami získané odměrnou metodou. Průběh vyhodnocování a výsledky odměrné metody jsou v kapitole čtyři. Právě tuto zkoušku by mohla fotogrammetrie nahradit. Porovnáním výsledků, ale docházím k závěru, že hodnoty získané fotogrammetrií jsou v průměru o 0,5 milimetru vyšší. Zkoušky tak nelze spolu porovnávat, protože jsou principiálně odlišné. Nicméně je z výsledků patrné, že fotogrammetrii je možné pro získání střední hloubky makrotextury povrchu vozovky použít. Je zde ještě velký prostor pro zpřesnění této zkoušky, ale i výsledky získané zjednodušeným vyhodnocením jsou velmi průkazné. S příchodem ještě výkonnějších počítačů se jedná o zkoušku, kterou bude možné v budoucnu používat a odměrnou metodu nahradit.

9 Seznam použité literatury

- [1] Pavelka, K., Fotogrammetrie 1, Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2009
- [2] Němec, Z., Prostředky automatického řízení elektrické, Brno, Fakulta strojní, VUT Brno
- [3] Šachl, J., Problematika měření protismykových kvalit povrchu vozovek, Kandidátská disertace, 1974
- [4] Šachl (st.), J., Šachl (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silničních nehod, Praha, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znaleství v dopravě, 2008
- [5] Horák, Z., Krupka, F., Šindelář, V., Technická fyzika, Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 1961
- [6] Bradáč, A., a kolektiv, Soudní inženýrství, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 1997
- [7] Vlček, F., Dynamika motorových vozidel, Brno, Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000
- [8] Vopava, L., Adheze pneumatik a její měření, Praha, Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, 2013
- [9] Vala, M., Tesař, M., Teorie a konstrukce silničních vozidel I., Pardubice, Univerzita Pardubice, 2002
- [10] ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [11] ČSN EN 13036-1: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [12] ČSN EN 13036-4: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [13] Hermany, J., Pichlík, V., Fotogrammetrie – Učebnice pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol zeměměřických, Praha, Kartografie, 1976
- [14] Šmidrkal, J., Fotogrammetrie I. – Teoretické základy, Praha, České vysoké učení technické v Praze, 1985
- [15] Pavelka, K., Fotogrammetrie 2, Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2011

- [16] Přednášky z předmětu MMT, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze, 2015
- [17] Svatý, Z., Aplikace fotogrammetrie ve znalecké praxi, Praha, Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, 2014
- [18] Šimíček, M., Implementace metody Structure from Motion do UAV fotogrammetrie, Olomouc, Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2014
- [19] Internetový odkaz: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005020601> [staženo 5. 4. 2015]
- [20] Internetový odkaz:
<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf> [staženo 5. 4. 2015]
- [21] Internetový odkaz: <http://www.digizone.cz/clanky/dalkove-ovladani-pro-interaktivni-televizi/> [staženo 5. 4. 2015]
- [22] Internetový odkaz: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/detekce-jizdni-stability-nakladnich-vozidel/> [staženo 5. 4. 2015]
- [23] Internetový odkaz: http://www.cadstudio.cz/dl/autocad_civil_3d_2013.pdf [staženo 29. 4. 2015]
- [23] Internetový odkaz: <http://www.codeblocks.org/> [staženo 29. 4. 2015]
- [24] Internetový odkaz: <http://www.agisoft.com/> [staženo 29. 4. 2015]
- [25] Internetový odkaz: http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_0_9_0_en.pdf [staženo 25. 4. 2015]
- [26] Internetový odkaz:
<http://www.photomodeler.com/products/scanner/default.html> [staženo 25. 4. 2015]
- [27] Internetový odkaz: <http://www.digimanie.cz/recenze-nikon-d600-vynikajici-vstup-do-sveta-full-frame/4997> [staženo 3. 5. 2015]
- [28] Internetový odkaz: http://www.dpreview.com/lensreviews/nikon_50_1p4_n15 [staženo 3. 5. 2015]

- [29] Internetový odkaz:
<http://www.mapy.cz/zakladni?x=14.4260144&y=50.0684444&z=18&base=ophoto&q=praha> [staženo 3. 4. 2015]
- [30] Internetový odkaz: http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/trt.pdf
[staženo 3. 3. 2015]

10 Seznam obrázků

Obr. 1 – Úhel tření [5]	12
Obr. 2 – Rovnováha na nakloněné rovině [5]	13
Obr. 3 – Skluzová charakteristika pneumatiky [7]	16
Obr. 4 – Adhezní elipsa [6]	17
Obr. 5 a, b – Mezní situace v adhezní elipse [6]	17
Obr. 6 – Vliv textury na součinitel adheze za mokra [3]	19
Obr. 7 – Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze [7]	20
Obr. 8 – Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu [7]	21
Obr. 9 – Závislost součinitele adheze na stavu vozovky [9]	21
Obr. 10 – Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek [4]	22
Obr. 11 – Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy [9]	22
Obr. 12 – Závislost součinitele adheze na rychlosti a výšce vzorku [9]	24
Obr. 13 – Hodnoty součinitele adheze pod zablokovaným kolem při znečištění vozovky pískem [4]	25
Obr. 14 – Závislost součinitele adheze na tlaku huštění (suchý beton) [9]	26
Obr. 15 – Závislost součinitele adheze na zatížení kola (suchý beton) [9]	26
Obr. 16 – Nový Tatra Runway Tester (skříň Ford Tranzit) [30]	28
Obr. 17 – Odstranění nečistot z povrchu vozovky	30
Obr. 18 – Rozprostírání skleněných kuliček stěrkou	30
Obr. 19 – Měření průměru rozprostřené plochy	31
Obr. 20 – Nastavení kyvadla do vodorovné polohy	33
Obr. 21 – Nastavení prokluzu kyvadla	34
Obr. 22 – Měření teploty povrchu před provedením zkoušky	35
Obr. 23 – Princip „camery clary“ [13]	38
Obr. 24 – Vnitřní orientace [13]	44
Obr. 25 – Vnější orientace [13]	45
Obr. 26 – Rozložení os v pozemní fotogrammetrii (vpravo) a v letecké fotogrammetrii (vlevo) [13]	45
Obr. 27 – Princip piezoelektrického akcelerometru [20]	49
Obr. 28 – Princip kapacitního akcelerometru (hřebenové uspořádání) [20]	50
Obr. 29 – Princip tepelného akcelerometru [20]	51
Obr. 30 – Princip piezoodporového akcelerometru [20]	51
Obr. 31 – Oblast měření [29]	53
Obr. 32 – Schéma míst jednotlivých měření na stanovištích	53

Obr. 33 – Oblasti měřeného povrchu na stanovišti	54
Obr. 34 – Umístění zařízení Xsens MTi-G (vlevo) a záznamového zařízení (vpravo)	59
Obr. 35 – Graf průběhu zrychlení a rychlosti (2. jízda)	61
Obr. 36 – Fotoaparát Nikon D600 [27]	63
Obr. 37 – Multifunkční srovnávací šablona	66
Obr. 38 – Směry fotografování	67
Obr. 39 – Vyhledávání rámových značek (12-bitové targety)	69
Obr. 40 – Výsledný model šablony (souřadnic bodů – PhotoModeler)	70
Obr. 41 – Dialogové okno vyhledání targetů	71
Obr. 42 – Dialogové okno vyrovnání snímků	72
Obr. 43 – Dialogové okno pro vytvoření modelu	73
Obr. 44 – Vytvořený model textury povrchu vozovky (AgiSoft PhotoScan)	73
Obr. 45 – Výsledný výpočet celkového objemu materiálu	76
Obr. 46 – Povrch třetího měření (vlevo) a podélný profil trasy (vpravo)	78

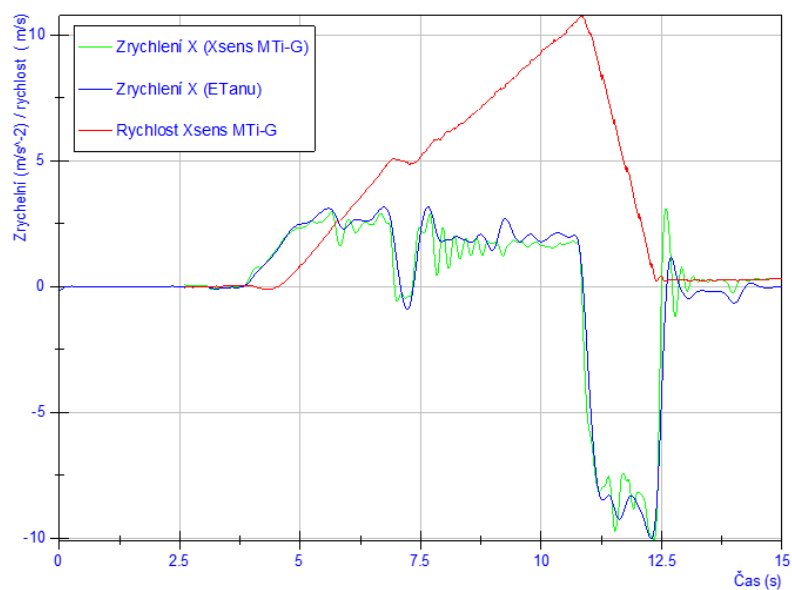
11 Seznam tabulek

Tab. 1 – Porovnání tření tuhých těles a pryže [3]	14
Tab. 2 – Součinitel adheze na různém povrchu [6]	15
Tab. 3 – Hodnocení protismykových vlastností Fp [10]	27
Tab. 4 – Zjištěná střední hloubka makrotextury	31
Tab. 5 – Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD [10]	32
Tab. 6 – Průměrné hodnoty protismykových vlastností povrchu získané kyvadlem ...	35
Tab. 7 – Opravy hodnoty PTV naměřené s použitím třecí patky 57 [12]	36
Tab. 8 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV [10] ...	36
Tab. 9 – Matematická prezentace digitálního obrazu [15]	46
Tab. 10 – Rozsahy snímačů [22]	57
Tab. 11 – Rozměry a hloubky vzorku dezénu	58
Tab. 12 – Zjištěné frekvence	61
Tab. 13 – Spočtené zpomalení a rychlost	62
Tab. 14 – Výsledné hodnoty součinitele adheze	63
Tab. 15 – Nastavení fotoaparátu	67
Tab. 16 – Souhrn výstupů z modelu	74
Tab. 17 – Výsledné střední hloubky makrotextury (fotogrammetrie)	77

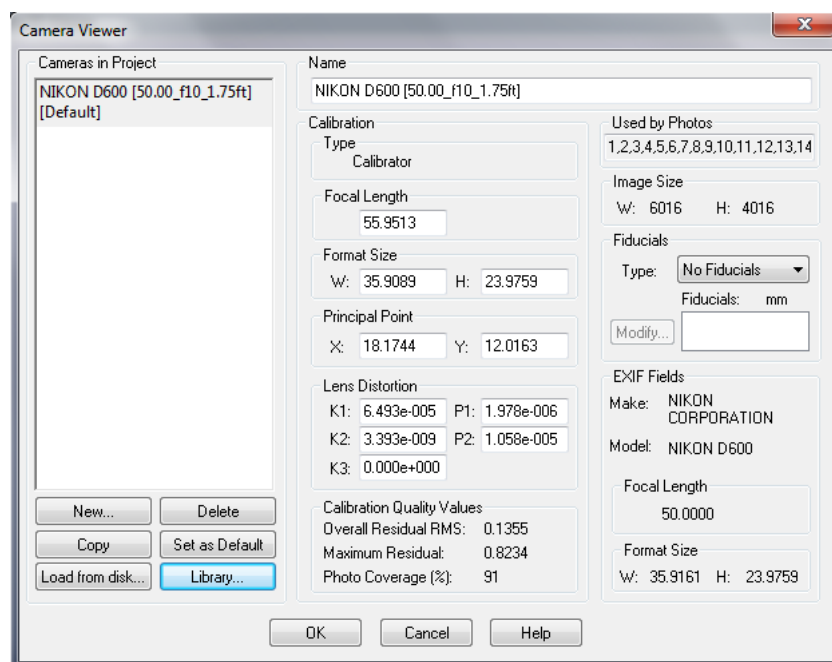
13 Seznam příloh

A1 – Graf průběhu zrychlení a rychlosti (1. jízda)	89
A2 – Kalibrace fotoaparátu (PhotoModeler Scanner)	89
A3 – Kalibrace fotoaparátu (AgiSoft PhotoScan)	90
A4 – Model povrchu vozovky prvního měření	90
A5 – Model povrchu vozovky druhého měření	91
A6 – Model povrchu vozovky třetího měření	91
A7 – Model povrchu vozovky čtvrtého měření	92
A8 – Model povrchu vozovky pátého měření	92
A9 – Model povrchu vozovky šestého měření	93
A10 – Model povrchu vozovky sedmého měření	93
A11 – Model povrchu vozovky osmého měření	94
B1 – Technické specifikace fotoaparátu Nikon D600 [27]	95
B2 – Technické specifikace objektivu Nikon AF-Nikkor 1:1,4D [28]	97
B3 – Záznamový formulář 1 (odměrná metoda)	98
B4 – Záznamový formulář 2 (odměrná metoda)	99
B5 – Záznamový formulář 1 (zkouška kyvadlem)	100
B6 – Záznamový formulář 2 (zkouška kyvadlem)	101
C1 – Algoritmus pro oříznutí bodů do plochy 10 x 10 centimetrů	102
C2 – algoritmus pro získání nejvyššího bodu	103

A Přílohy obrázků

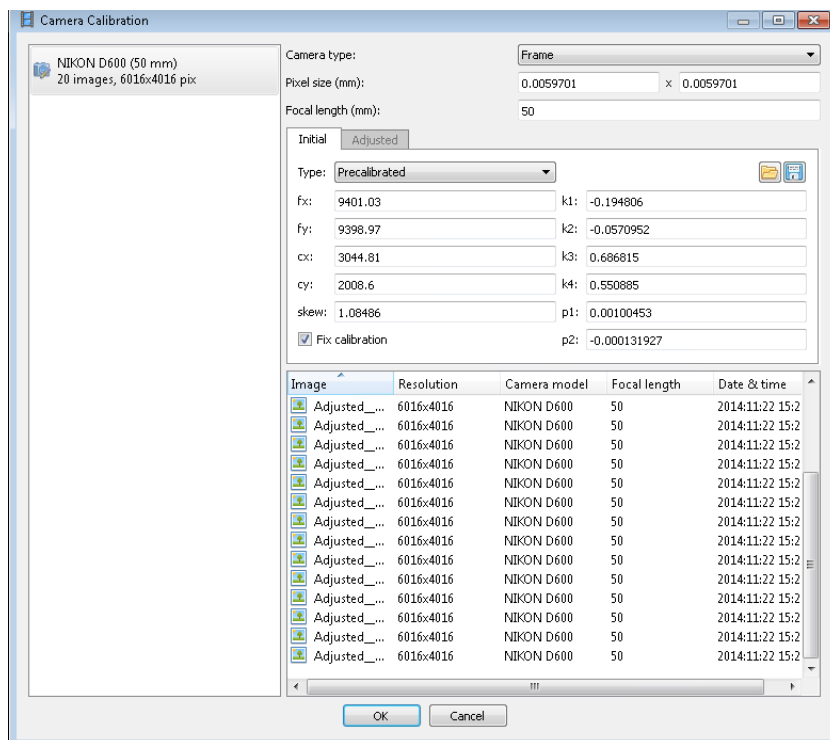


A1 – Graf průběhu zrychlení a rychlosti (1. jízda)



A2 – Kalibrace fotoaparátu (PhotoModeler Scanner)

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky



A3 – Kalibrace fotoaparátu (Agisoft PhotoScan)



A4 – Model povrchu vozovky prvního měření



A5 – Model povrchu vozovky druhého měření



A6 – Model povrchu vozovky třetího měření

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky



A7 – Model povrchu vozovky čtvrtého měření



A8 – Model povrchu vozovky pátého měření

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky



A9 – Model povrchu vozovky šestého měření



A10 – Model povrchu vozovky sedmého měření



A11 – Model povrchu vozovky osmého měření

B Přílohy tabulek

B1 – Technické specifikace fotoaparátu Nikon D600 [27]

Technické specifikace	
Snímací prvek	
Celkový počet pixelů	24,7 MPx
Efektivní počet pixelů	24,3 MPx
Velikost snímače	full frame CMOS (35,9x24 mm)
Rozlišení fotografií	(3:2 FX) 6016x4016, 4512x3008, 3008x2008 (3:2 DX) 3936x2624, 2944x1968, 1968x1312 (3:2 FX wide LV) 6016x3376, 4512x2528, 3008x1688 (3:2 DX wide LV) 3936x2224, 2944x1664, 1968x1112
Rozlišení videa	1920x1080 / 30p, 25p nebo 24p 1280x720 / 60p, 50p, 30p nebo 25p mono zvuk
Poměr stran	3:2
Typ barevného filtru	RGB
Formát záznamu	JPEG (Exif 2,3), MOV (H.264/MPEG-4 AVC), NEF (12/14bitový RAW)
Zaostřování	
Zaostřování (výběr bodu)	Auto fokus Nikon-CAM 4800 (-1 až +19 EV) s 39 AF body, 9 křížového typu (jednotlivé pole, dynamická volba 9 polí, dynamická volba 21 polí, dynamická volba 39 polí, 3D sledování, automatická volba
Zaostřování	AF-S (jednorázový), AF-C (průběžný), AF-A (prediktivní), MF (manuální)
Ostřicí vzdálenost	38 cm
Pomocné zaostřovací světlo	Ano
Elektronická část	
Procesor	EXPEED 3
Testovaný firmware	C1.00, L1.006
Měření expozice	TTL 2016pixelové 3D Color Matrix II, celoplošné se zdůrazněným středem (75% váha 8-20 mm kruhu uprostřed), bodové (4mm kruh, cca 1,5% vázané na použitý AF bod)
Citlivost ISO Rychlost závěrky	AUTO ISO, Lo1 (50), Lo0.7 (64), Lo0.3 (80), 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200,

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky

	4000, 5000, 6400, Hi0.3 (8000), Hi0.6 (10000), Hi1 (12800), Hi2 (25600)
Rychlost závěrky	1/4000 s - 30 s, bulb režim, time režim
Expoziční režimy	auto, prioritá clony, prioritá času, manuál
Vyvážení bílé barvy	automatické, automatické (uchovat teplé barvy), žárovkové světlo, zářivky (7 možností), přímé sluneční světlo, blesk, zataženo, stín, výběr barevné teploty (2500 K až 10000 K), manuální nastavení
Scénické režimy	Portrét, Krajina, Děti, Sporty, Makro, Noční portrét, Noční krajina, Párty/interiér, Pláž/sníh, Západ slunce, Úsvit/soumrak, Portrét zvířat, Světlo svíčky, Kvetoucí příroda, Podzimní barvy, Jídlo, Silueta, High-key, Low-key
Samospoušť	2s, 5s, 10s, 20s (1-9 snímků s intervaly 0,5; 1; 2 nebo 3 sekundy)
Sériové snímání	1-5 fps (CL) 5,5 fps (CH) bracketing (expoziční 3 snímky s až 3EV rozdíly, vyvážení bílé 2-3 snímky nebo Active D-Lighting 2-3 snímky, bracketing blesku 2-3 snímky s až 3EV rozdíly) intervalové snímání (interval snímání 1 s až 24 hodin, max. 999 intervalů, každý může mít až 9 snímků)
Vestavěný blesk - režimy	Zapnutý, Vypnutý, Zapnutý + redukce červených očí, Slow synchro (možno s redukcí červených očí), Slow synchro na druhou lamelu závěrky (možno s redukcí červených očí), vysokorychlostní synchronizace Auto FP high-speedd, X-synch 1/200 s
Vestavěný blesk - dosah	směrné číslo 12 (ISO 100)
Externí blesk	ano, podpora blesků i-TTL včetně bezdrátových, korekce -3 EV až +1 EV
Ostatní	
Hledáček	ano, pentaprismatický (100% pokrytí, 0,7× zvětšení, 97% pokrytí u DX)
LCD displej	3,2" LCD, 921.600 bodů (640×480 pixelů)
Digitální výstup	USB 2.0, AV, HDMI (typ C)
Paměťové karty	SD, SDHC, SDXC (s podporou UHS-I)
Interní paměť	-

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky

Napájení	Li-Ion akumulátor EN-EL15, napětí 7V, kapacita 1900 mAh, výdrž na 900 snímků
Hmotnost	760 gramů (tělo), 850 gramů (včetně příslušenství)
Rozměry	141 x 113 x 82 mm
Barevné varianty	černá
Standartní příslušenství	Li-Ion akumulátor, nabíječka, popruh, plná verze manuálu, krytka těla, krytka okuláru, kryt monitoru, USB kabel, CD-ROM

B2 – Technické specifikace objektivu Nikon AF-Nikkor 1:1,4D [28]

Technické specifikace	
Maximální velikost formátu	35 mm full frame
Ohnisková vzdálenost	50 mm
Ekvivalent 35 mm ohniskové vzdálenosti	75 mm
Diagonální pozorovací úhel (FF)	47°
Diagonální pozorovací úhel (APS-C)	31°
Maximální clona	F1.4
Minimální clona	F16
Konstrukce objektivu	7 prvků / 6 skupin
Počet lamel clony	7
Nejmenší zaostření	0,45 m
Maximální zvětšení	0,15x
AF typ motoru	„Screw drive“ od těla fotoaparátu
Zaostřovací metoda	jednotka
Stabilizace obrazu	žadná
Závit filtru	52 mm, neotáčí se zaostřováním
Dodávané příslušenství	Přední a zadní kryt
Hmotnost	230 g
Rozměry	64,5mm (délka průměru) x 42,5 mm

B3 – Záznamový formulář 1 (odměrná metoda)

Měření provedena v lokalitě, místě:	Albertov
Měření provedeno dne:	10. 10. 2014
Klimatické podmínky:	Polojasno
Teplota vzduchu:	14 °C

Odměrná metoda	
Povrchu v místě měření:	Popis
M1	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M2	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M3	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M4	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.

Použitý zkušební materiál:	Plné skleněné kuličky o zrnitosti 0,18 - 0,25 mm (obchodní název BALOTINA)
-----------------------------------	--

Množství použitého materiálu pro:	Měření	V (cm³)	m (g)
	M1	25	40
	M2	25	40
	M3	25	40
	M4	25	40

Naměřené průměry kruhové plochy rozetřeného materiálu:	Měření	Ø D1	Ø D2	Ø D3	Ø D4
	M1	19,7	18,0	17,7	21,0
	M2	19,4	18,0	18,0	22,5
	M3	20,0	18,3	16,6	22,2
	M4	20,0	16,2	18,8	20,5

Výpočet aritmetického průměru:	Měření	Ø D
	M1	19,775
	M2	17,625
	M3	17,850
	M4	21,550

B4 – Záznamový formulář 2 (odměrná metoda)

Měření provedena v lokalitě, místě:	Albertov
Měření provedeno dne:	10. 10. 2014
Klimatické podmínky:	Polojasno
Teplota vzduchu:	14 °C

Odměrná metoda	
Povrchu v místě měření:	Popis
M5	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M6	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M7	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.
M8	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností.

Použitý zkušební materiál:	Plné skleněné kuličky o zrnitosti 0,18 - 0,25 mm (obchodní název BALOTINA)
-----------------------------------	--

Množství použitého materiálu pro:	Měření	V (cm³)	m (g)
	M5	25	40
	M6	25	40
	M7	25	40
	M8	25	40

Naměřené průměry kruhové plochy rozetřeného materiálu:	Měření	Ø D5	Ø D6	Ø D7	Ø D8
	M5	17,7	18,2	20,0	17,5
	M6	17,3	17,6	18,0	19,4
	M7	17,4	18,6	17,6	18,5
	M8	17,9	17,8	18,7	18,9

Výpočet aritmetického průměru:	Měření	Ø D
	M5	17,575
	M6	18,050
	M7	18,575
	M8	18,575

B5 – Záznamový formulář 1 (zkouška kyvadlem)

Měření provedena v lokalitě, místě:	Albertov
Měření provedeno dne:	10. 10. 2014
Klimatické podmínky:	Polojasno
Teplota vzduchu:	14 °C

Měření kyvadlem	
Povrchu v místě měření:	Popis
M1	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M2	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M3	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M4	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.

		M1	M2	M3	M4
Teplota vzduchy při měření v místě:		14,0	14,0	14,0	14,0
Teplota povrchu vozovky v místě	Před zkouškou	13,3	14,8	16,3	16,1
	Po zkoušce	13,7	15,2	16,7	16,0
Teplota vody použité pro zkoušku v místě:		15,0	15,0	15,3	15,2
Nastavení kluzné části patky v úhlu ke směru jízdy vozidla:		0	0	0	0
Použití třecí patky:		široké	široké	široké	široké
Délka prokluzu:		126 ± 1 mm	126 ± 1 mm	126 ± 1 mm	126 ± 1 mm
Teplota pryže patky po zkoušce:		13,5	14,4	14,4	14,9

		M1	M2	M3	M4
Naměřené hodnoty pro jednotlivé kyvy:	Kyv 1	55	64	54	65
	Kyv 2	55	64	54	65
	Kyv 3	56	65	54	66
	Kyv 4	56	66	55	67
	Kyv 5	57	66	55	67
Korekce:					
Výpočet PTV aritmetickým průměrem:	PTV	Ø M1	Ø M2	Ø M3	Ø M4
		55,8	65,0	54,4	66,0

B6 – Záznamový formulář 2 (zkouška kyvadlem)

Měření provedena v lokalitě, místě:	Albertov
Měření provedeno dne:	10.10.2014
Klimatické podmínky:	Polojasno
Teplota vzduchu:	14 °C

Měření kyvadlem	
Povrchu v místě měření:	Popis
M5	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M6	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M7	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.
M8	Suchý homogenní povrch bez známek povrchových vad a nerovností, sklon menší než 10°.

		M5	M6	M7	M8
Teplota vzduchu při měření v místě:		14,0	14,0	14,0	14,0
Teplota povrchu vozovky v místě	Před zkouškou	18,3	18,6	16,3	17,6
	Po zkoušce	17,0	18,7	16,1	17,8
Teplota vody použité pro zkoušku v místě:		18,2	15,8	16,4	16,5
Nastavení kluzné části patky v úhlu ke směru jízdy vozidla:		0	0	0	0
Použití třecí patky:		široké	široké	široké	široké
Délka prokluzu:		126 ± 1 mm	126 ± 1 mm	126 ± 1 mm	126 ± 1 mm
Teplota pryže patky po zkoušce:		17,1	16,6	14,8	16,1

		M5	M6	M7	M8
Naměřené hodnoty pro jednotlivé kyvy:	Kyv 1	55	60	60	70
	Kyv 2	54	61	62	68
	Kyv 3	54	61	61	69
	Kyv 4	55	62	62	68
	Kyv 5	54	62	60	69
Korekce:					
Výpočet PTV aritmetickým průměrem:	PTV	Ø M5	Ø M6	Ø M7	Ø M8
		54,4	61,2	61,0	68,8

C Přílohy algoritmů

C1 – Algoritmus pro oříznutí bodů do plochy 10 x 10 centimetrů

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

typedef struct
{
    float x, y, z;
    int r, g, b;
    float nx, ny, nz;
    int ok;
} radek;

int main()
{
    FILE * file_in;
    FILE * file_out;

    //otevreni souboru pro zapis
    if ((file_in = fopen("pozice in.txt", "r")) == NULL)
    {
        printf("Chyba pri otevirani souboru !!!");
        return 0;
    }
    else
    {
        printf("Soubor otevren !!!");
    }

    //soubor vystupu
    file_out = fopen("pozice out.txt", "w");

    //pocet radku souboru
    int pocet = 0;
    char c;

    while((c=getc(file_in))!=EOF)
    {
        if(c == '\n')
        {
            pocet++;
        }
    }

    printf("\nPocet radku je : %d", pocet);
    rewind(file_in);

    //alokace pole
    radek *radky;
    if ((radky = (radek *) malloc(pocet * sizeof(radek))) == NULL)
    {
        printf("\nPole se nenacetlo !!!");
        return 0;
    }
    else
        printf("\nPole se nacita...\n");

    //nacitani hodnot po radcich
    for (int i = 0; i < pocet; i++)
    {

```

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky

```
fscanf(file_in, "%f %f %f %d %d %d %f %f %f", &radky[i].x,
        &radky[i].y,
        &radky[i].z,
        &radky[i].r,
        &radky[i].g,
        &radky[i].b,
        &radky[i].nx,
        &radky[i].ny,
        &radky[i].nz);
radky[i].ok = 1;
}

//test
/*
printf("\n%f %f %f %d %d %d %f %f %f", radky[1].x,
        radky[1].y,
        radky[1].z,
        radky[1].r,
        radky[1].g,
        radky[1].b,
        radky[1].nx,
        radky[1].ny,
        radky[1].nz);
*/

//vyrazeni radku
for (int i = 0; i < pocet; i++)
{
    if ((radky[i].x < 12.5) || (radky[i].x > 112.5) || (radky[i].y < 12.5) || (radky[i].y > 112.5))
        radky[i].ok = 0;
}

//vypis hodnot
for (int i = 0; i < pocet; i++)
{
    if (radky[i].ok == 0)
        continue;

    fprintf(file_out, "%.6f %.6f %.6f %d %d %d %.6f %.6f %.6f\n", radky[i].x,
            radky[i].y,
            radky[i].z,
            radky[i].r,
            radky[i].g,
            radky[i].b,
            radky[i].nx,
            radky[i].ny,
            radky[i].nz);
}

fclose(file_in);
fclose(file_out);

return 0;
}
```

C2 – algoritmus pro získání nejvyššího bodu

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <conio.h>
```


Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky

```
typedef struct
{
float x, y, z;
int r, g, b;
float nx, ny, nz;
int ok;
} radek;

int main()
{
FILE * file_in;
FILE * file_out;

//otevreni souboru pro cteni dat
if ((file_in = fopen("pozice in.txt", "r")) == NULL)
{
printf("Chyba pri otevirani souboru !!!");
return 0;
}
else
{
printf("Soubor otevren !!!");
}

//soubor vystupu
file_out = fopen("pozice out.txt", "w");

//pocet radku souboru
int pocet = 0;
char c;

while((c=getc(file_in))!=EOF)
{
if(c == '\n')
{
pocet++;
}
}

printf("\nPocet radku je : %d", pocet);
rewind(file_in);

//alokace pole
radek *radky;
if ((radky = (radek *) malloc(pocet * sizeof(radek))) == NULL)
{
printf("\nPole se nenacetlo !!!");
return 0;
}
else
printf("\nPole se nacita...\n");

//nacitani hodnot po radcich
for (int i = 0; i < pocet; i++)
{
fscanf(file_in, "%f %f %f %d %d %d %f %f %f", &radky[i].x,
&radky[i].y,
&radky[i].z,
&radky[i].r,
&radky[i].g,
&radky[i].b,
&radky[i].nx,
&radky[i].ny,
&radky[i].nz);

radky[i].ok = 1;
}
}
```

Fotogrammetrické měření textury povrchu vozovky

```
//test
/*
printf("\n%f %f %f %d %d %d %f %f %f", radky[1].x,
        radky[1].y,
        radky[1].z,
        radky[1].r,
        radky[1].g,
        radky[1].b,
        radky[1].nx,
        radky[1].ny,
        radky[1].nz);
*/

//vyrazeni radku
for (int i = 0; i < pocet; i++)
{
    if ((radky[i].x < 12.5) || (radky[i].x > 112.5) || (radky[i].y < 12.5) || (radky[i].y > 112.5))
        radky[i].ok = 0;
}

//promenne pro nalezeni bodu s maximalnim z
float max_z = -1000;
int max_z_pos = 0;

//vypis hodnot
for (int i = 0; i < pocet; i++)
{
    if (radky[i].ok == 0)
        continue;

    fprintf(file_out, "%.6f %.6f %.6f %d %d %d %.6f %.6f %.6f\n", radky[i].x,
            radky[i].y,
            radky[i].z,
            radky[i].r,
            radky[i].g,
            radky[i].b,
            radky[i].nx,
            radky[i].ny,
            radky[i].nz);

    //nalezeni bodu s maximalnim z
    if (radky[i].z > max_z)
    {
        max_z = radky[i].z;
        max_z_pos = i;
    }
}

//vypis bodu s max z souradnici
printf("\nBod s maximalni z-souradnici je :nx = %f, y = %f, z = %f", radky[max_z_pos].x,
radky[max_z_pos].y, radky[max_z_pos].z, max_z);

printf("\n\nStisknete libovolnou klavesu pro ukonceni");
getch();

fclose(file_in);
fclose(file_out);

return 0;
}
```