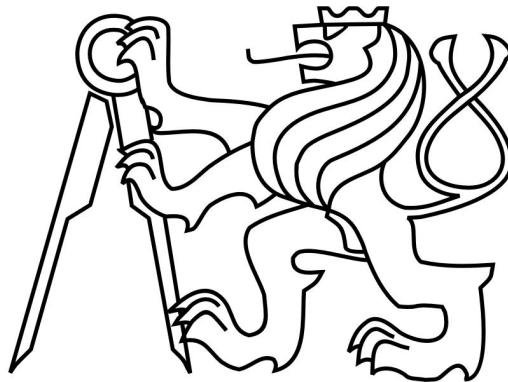


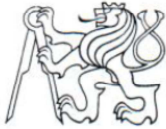
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



DIPLOMOVÁ PRÁCE



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

studijní program: Stavební inženýrství
studijní obor: Projektový management a inženýring
akademický rok: 2015/2016

Jméno a příjmení diplomanta: Jakub Rakovič
Zadávací katedra: Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví
Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Matějka
Název diplomové práce: Vyhodnocení použití moderních technologií kontrolního měření geometrické kvality vrstev ve výstavbových projektech dopravní infrastruktury
Název diplomové práce v anglickém jazyce: The evaluation of modern methods for measurement checking of geometric quality of layers in transport infrastructure construction projects

Rámcový obsah diplomové práce: - Popis tradičních a moderních metod měření
- Srovnání tradičních a moderních metod měření (náklady na realizaci, v životním cyklu projektu)
- Vyhodnocení srovnání z hlediska nákladů životního cyklu

Datum zadání diplomové práce: 7.10.2015 Termín odevzdání: 8.1.2016
(vyplňte poslední den výuky přísl. semestru)

Diplomovou práci lze zapsat, kromě oboru A, v letním i zimním semestru.

Pokud student neodevzdal diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat diplomovou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu diplomovou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č.111/1998 (SZŘ ČVUT čl 21, odst. 4).

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.


.....
vedoucí diplomové práce


.....
vedoucí katedry

Zadání diplomové práce převzal dne: 7.10.2015


.....
diplomant

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x diplomant, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce Ing. Petra Matějky a konzultantů Ing. Lukáše Kutila z firmy Exact Control System a.s. a Ing. Josefa Žáka, Ph.D. z FSv ČVUT Katedry silničních staveb.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Datum

8. 1. 2016

Jakub Rakovič

Vyhodnocení použití moderních technologií kontrolního měření geometrické kvality vrstev ve výstavbových projektech dopravní infrastruktury

The evaluation of modern methods for measurement checking of geometric
quality of layers in transport infrastructure construction projects

ABSTRAKT

Kontrolní měření geometrické kvality vrstev vozovky je základem pro výstavby a rekonstrukce pozemních komunikací. Geodetické práce mohou mít znatelný dopad na výsledné finanční náklady u výstavbových projektů dopravní infrastruktury. Na jedné straně stojí tradiční dlouho používané metody kontrolního měření, na straně druhé jsou moderní progresivní metody jako například fotogrammetrie či laserové skenování. Tato porovnávací analýza kompletně prověří obě metody kontrolního měření geometrické kvality vrstev vozovky a vyhodnotí jejich výhody a nevýhody. Pomocí zvolené metodiky ve výsledku doporučí, kterou z metod je vhodnější pro výstavbové projekty dopravní infrastruktury používat.

ABSTRACT

Checking geodetic measuring of layers geometric quality is foundation of constructions and reconstructions of roadways. Surveying works can have a significant impact on the final costs of the transport infrastructure construction projects. On one side are long time use traditional methods of surveying and on the other side are new progressive modern methods like for example photogrammetry or laser scanning. This comparative analysis completely check a representative of each method of checking geodetic measuring of layers geometric quality and evaluate their pros and cons. By choosen methodic are the both methods evaluated. Finally is recommended which of methods is better to use in the transport infrastructure construction projects.

KLÍČOVÁ SLOVA

laserové skenování; moderní geodezie; nerovnosti vozovek; výstavbové projekty dopravní infrastruktury

KEY WORDS

laser scanning; modern geodesy; road roughness; transport infrastructure construction projects

Obsah

ABSTRAKT	5
ABSTRACT	5
KLÍČOVÁ SLOVA.....	5
KEY WORDS	5
Seznam zkratk	9
1 Úvod.....	10
1.1 Cíle diplomové práce	12
1.2 Všeobecné termíny	12
1.3 Parametry reprezentující nerovnosti povrchů vozovek.....	14
1.3.1 Podélná nerovnost povrchu vozovky	14
1.3.2 Příčná nerovnost povrchu vozovek.....	15
1.4 Zásady měření	16
2 Metody měření	17
2.1 Tradiční metody měření	18
2.1.1 Měřicí lať (podélná a příčná nerovnost).....	18
2.1.2 Planograf (podélná nerovnost)	21
2.1.3 Přesná nivelace (podélná a příčná nerovnost)	23
2.1.4 Profilometr s dvoumotovým odezvovým systémem (podélná nerovnost)	23
2.1.5 Profilometr Dipstick (podélná a příčná nerovnost)	24
2.2 Moderní metody měření	26
2.2.1 Laserové skenování	26
2.2.2 Fotogrammetrie	32
3 Srovnání tradičních a moderních metod měření	35
3.1 Projekt Komořanská.....	36
3.1.1 Exact Control System a.s.	37

3.2	Měřené údaje	38
3.2.1	Kontrola podélné nerovnosti.....	38
3.2.2	Kontrola příčné nerovnosti.....	39
3.2.3	Kontrola příčných sklonů	39
3.2.4	Měření IRI.....	39
3.2.5	Specifikace měření.....	39
3.3	Tradiční metody měření	40
3.3.1	Časová náročnost.....	40
3.3.2	Náklady na měření	42
3.3.3	Přesnost měření	47
3.3.4	Objektivita informace	48
3.3.5	Ověřitelnost informace.....	48
3.3.6	Garance přesnosti MT	48
3.3.7	Bezpečnost při měření.....	49
3.3.8	Ostatní.....	49
3.4	Moderní metody měření	51
3.4.1	Časová náročnost.....	57
3.4.2	Náklady na měření	58
3.4.3	Přesnost měření	59
3.4.4	Objektivita informace	59
3.4.5	Ověřitelnost informace.....	60
3.4.6	Garance přesnosti DMT	60
3.4.7	Bezpečnost při měření.....	61
3.4.8	Ostatní.....	61
4	Ostatní měření pomocí LS	64
5	Vyhodnocení	69
5.1	Metodika hodnocení.....	71

5.2	Shrnutí a hodnocení metod.....	72
5.3	Vyhodnocení metod	77
6	Závěr.....	80
	Použitá literatura	82
	Seznam tabulek	84
	Seznam obrázků	84
	Seznam grafů.....	86

Seznam zkratek

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

BIM – Building Information Modeling

BOZP - Bezpečnost a Ochrana Zdraví při Práci

ČSÚ – Český Statistický Úřad

DMT – Digitální Model Terénu

GIS – Geografický Informační Systém

GPS – Global Position System

IRI – International Roughness Index

LS – Laserové Skenování

MT – Model Terénu

PK – Pozemní Komunikace

ProVAL – Profile Viewing and Analysis Software

ŘSD – Ředitelství Silnic a Dálnic ČR

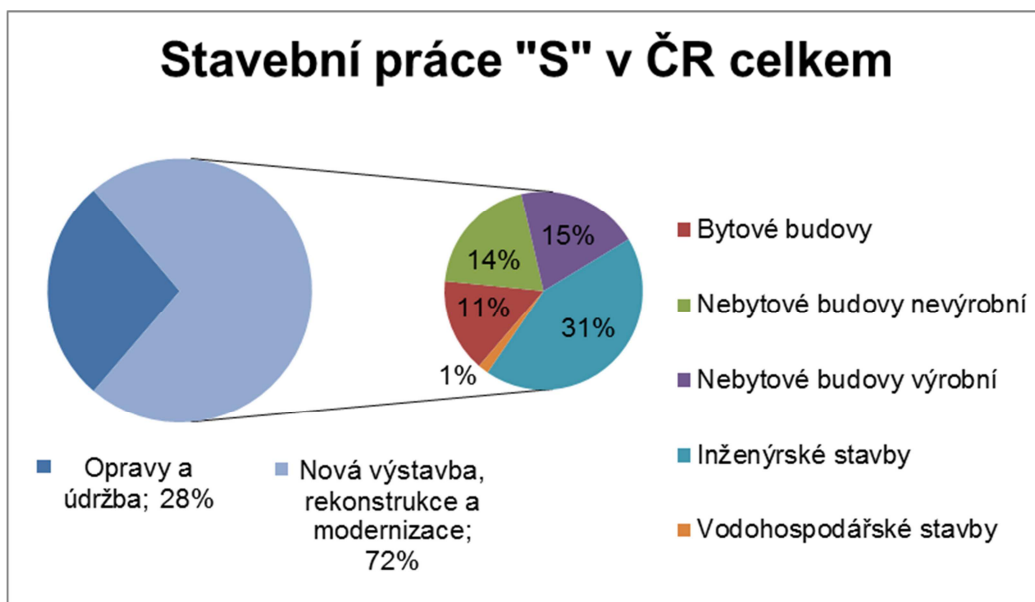
VZ – Veřejná Zakázka

1 Úvod

V posledních sto letech se díky rozvoji automobilového průmyslu výstavba a údržba pozemních komunikací stává význačnou součástí civilizace. [1] V České republice existuje poměrně hustá komunikační síť, která na sebe pochopitelně váže podstatné finanční a materiálové zdroje. PK jsou realizovány z veřejných finančních zdrojů, tedy z peněz daňových poplatníků, což přidává na významu a všeobecném zájmu všech občanů České republiky.

Za stavební práce S, které podle smlouvy o dodávce pro konečného uživatele vyjadřují celkovou hodnotu vlastních výkonů ze stavební činnosti vykazující jednotky včetně zabudovaných materiálů, bylo v tuzemsku podle ČSÚ v roce 2014 vynaloženo 428,3 miliard Kč. [2] Z této částky bylo vynaloženo 130,6 miliard Kč na novou výstavbu, rekonstrukci či modernizaci inženýrských staveb, z nichž, díky husté silniční síti, tvoří většinou část pozemní komunikace. Pokud se ještě přidá částka vynaložená pro opravy a údržbu, tak je zřetelné, že do výstavby a údržby PK jsou i v poměru k pracím S vkládány nemalé finanční částky. Procentuální vyjádření stavebních prací S v České republice celkem je znázorněno v Grafu 1.

Graf 1: Stavební práce S v ČR



Zdroj: Autor na základě údajů z ČSÚ

V dnešní době se uplatňují nové požadavky na dopravu a na životní prostředí. Je tedy nutné jít s dobou a inovovat technologie a postupy navrhování vozovek a jejich údržby a opravy.

Ke standardně kontrolovaným geometrickým parametrům dopravních staveb patří měření nerovností povrchu vozovek. Kontrolní měření nerovností povrchu vozovek se provádí u novostaveb při jejich převzetí od zhotovitele, ale i před koncem záruční doby, zpravidla po pěti letech uvedení od do provozu. U stávajících komunikací se kontrolní měření provádí průběžně pro určení rozsahu jejich údržby a oprav během provozu. Měření geometrických parametrů nerovností během užívání komunikace patří k takzvané proměnným parametrům systému hospodaření s vozovkou (SHV), které jsou evidovány v Silniční databance ŘSD ČR pro dálnice, rychlostní komunikace a silnice první třídy. [3] Vyhodnocování těchto parametrů slouží jako základní podklad pro správce komunikací při plánování oprav a údržby vozovek. Na rozdíl od jiných geodeticky měřených parametrů, například dodržení absolutních výšek podle projektu, nabývá kontrola nerovností vozovek značného významu, jelikož podstatně ovlivňuje životnost komunikací a jízdní komfort. S nerovnostmi na pozemních komunikacích a jízdním komfortem mohou souviset i záležitosti jako je například vlivy na životní prostředí v podobě vyššího hluku či většího obrušování pneumatik, nebo druhotné náklady vzhledem k opotřebení vozidel. Povrchové vlastnosti vozovek mají mimo jiné vliv i na plynulost a bezpečnost na komunikacích. Z tohoto důvodu má geometrie vozovky dopad i na nehodovost. Článek [4] společnosti CONSULTTEST s.r.o. říká, že: *„Finanční ztráta v důsledku usmrcení jedné osoby je statisticky vyčíslena na 17,6 milionu korun, což každoročně přináší nezanedbatelné zatížení českého státního rozpočtu.“* Podle statistik [5] v roce 2015 (pouze leden – listopad) bylo na pozemních komunikacích 609 usmrcených v důsledku dopravních nehod. Je zřejmé, že pokud by se finanční prostředky preventivně vkládaly do rizikových úseků pozemních komunikací, nejen povrchové vlastnosti by byly zlepšeny a ztráty na životech a tím i na ekonomice České republiky by byly nižší.

Definicí měření podélných a příčných nerovností vozovek se zabývá norma ČSN 73 6175 [6]. Je zde popsán standardní způsob určování nerovností pomocí latí, měřících klínek, nivelačního přístroje apod. Kromě standardních

metod a postupů v dnešní době existují alternativní moderní metody měření, které se následně zabývají plošným vyhodnocením nerovností vozovek z mračna bodů, což jsou rozsáhlé sady 3D bodů (až miliardy) získávaných například fotogrammetrickými metodami nebo laserovým skenováním.

Diplomová práce se zabývá problematikou týkající se kontrolního geodetického měření geometrických nerovností vrstev vozovky, jelikož toto může mít zásadní dopad na celkové finanční náklady u výstavbových projektů dopravní infrastruktury. Protože v dnešní době existují kromě standardních metod i progresivní moderní metody měření, bylo zvoleno téma pro vytvoření této diplomové práce, která se zabývá jejich porovnáním a celkovým vyhodnocením.

Práce mohla vzniknout díky vstřícné podpoře konzultantů ze společnosti Exact Control System a.s. pana Ing. Lukáše Kutila a Ing. Marka Příklad, Ph.D., dále pana Ing. Josefa Žáka, Ph.D. z FSv ČVUT Katedry silničních staveb.

1.1 Cíle diplomové práce

Cílem diplomové práce je porovnat tradiční geodetické metody měření nerovností vozovek s alternativními moderními metodami, které v této práci bude zastupovat laserové skenování. Do porovnání je třeba zahrnout všechny možné aspekty, jako je například finanční hledisko, přesnost měření, časová náročnost, objektivita a ověřitelnost informace, bezpečnost měření a mnoho dalšího. Na základě údajů a přiřazení váhy jednotlivým aspektům bude provedeno vyhodnocení obou geodetických metod měření nerovností povrchu vozovek. Z porovnání a následného vyhodnocení bude vytvořena metodika napomáhající při rozhodování, kterou z metod u výstavbových projektů dopravní infrastruktury při kontrolním měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací zvolit s ohledem na veškeré výhody a nevýhody metod.

1.2 Všeobecné termíny

V této kapitole, pro srozumitelnost a ucelenost textu, je na začátek nutné uvést několik definic všeobecných termínů čerpaných z normy ČSN 73 6175 Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek. Jsou zde vysvětleny pojmy:

podélný profil, příčný profil, příčný sklon, vlnová délka, nerovnost, megatextura či provozní způsobilost, které se v diplomové práci dále vyskytují.

Podélný profil je podle normy definován jako: „Průnik mezi povrchem vozovky a referenční rovinou kolmou k povrchu vozovky a rovnoběžnou se směrem jízdního pásu.“ [6]

Příčný profil je podle normy definován jako: „Průnik mezi povrchem vozovky a referenční rovinou kolmou k povrchu vozovky a ke směru jízdního pásu.“ [6]

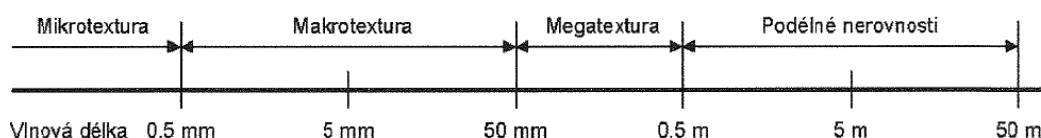
Příčný sklon je podle normy definován jako: „Sklon příčného profilu jízdního pruhu nebo jízdního pásu měřený kolmo k ose vozovky, obvykle vyjadřovaný v procentech.“ [6]

Vlnová délka je podle normy definována jako: „Vzdálenost mezi periodicky se opakujícími částmi sinusové křivky.“ [6]

Nerovnost je podle normy definována jako: „Odchylka povrchu vozovky od filtrovaného skutečného rovného povrchu ve vlnovém rozsahu od 0,5 m do 50 m.“ [6] Viz Obrázek 1.

Megatextura je podle normy definována jako: „Odchylka povrchu vozovky od filtrovaného skutečného rovného povrchu ve vlnovém rozsahu od 50 mm do 500 mm.“ [6] Viz Obrázek 1.

Obrázek 1: Názvosloví z hlediska vlnové délky



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Provozní způsobilost je podle normy definována jako: „Vlastnost povrchu vozovky, která je vyjádřena buď okamžitými měřenými hodnotami protismykových vlastností, podélné a příčné nerovnosti a dopravního hluku (při odvalování pneumatik), nebo druhem, lokací a plochou poruch vozovky.“ [6]

1.3 Parametry reprezentující nerovnosti povrchů vozovek

Nerovnost povrchů vozovek reprezentují zejména parametry, jako jsou podélná a příčná nerovnost. Následující text popisuje tyto parametry do větší podrobnosti, jelikož po celou dobu se s nimi bude v diplomové práci pracovat.

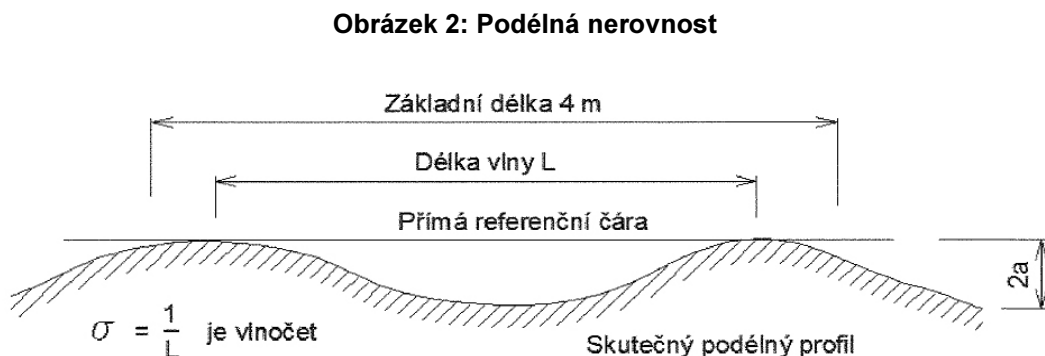
1.3.1 Podélná nerovnost povrchu vozovky

Norma podélnou nerovnost povrchu vozovky definuje jako: „*Odchylka skutečného podélného profilu od přímé referenční čáry ve směru jízdy dopravních prostředků.*“ [6]

Parametry podélné nerovnosti povrchu vozovky

Podélné nerovnosti je možné hodnotit výškovým údajem nebo parametrem nerovnosti. Parametr nerovnosti lze odvodit ze statistické teorie náhodných funkcí nebo stanovit z odezvy zkušebního systému, který přes tyto nerovnosti jede. [6]

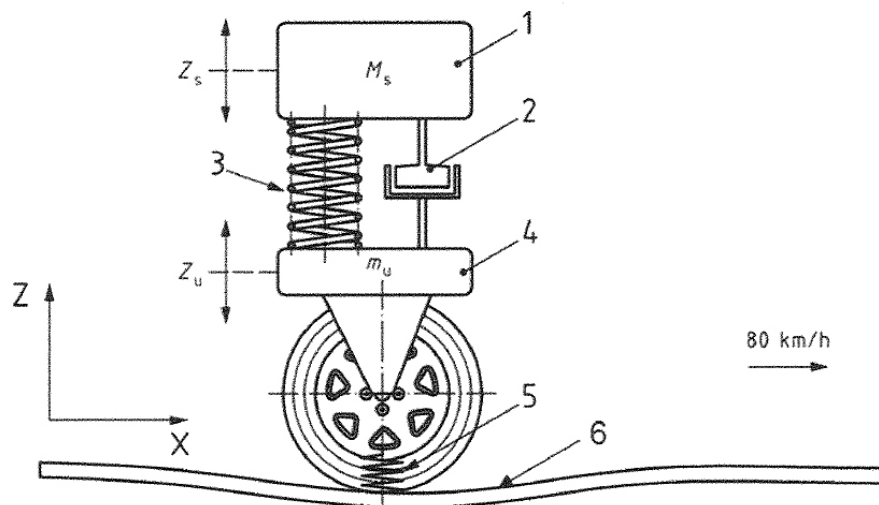
První důležitý parametr podélné nerovnosti vozovky je výškový údaj, tedy **maximální hodnota dvojamplitudy** nerovnosti $2a$, který je zřejmý z obrázku 2. Měří se pod 4 metrovou lať položenou na povrch vozovky a udává se v milimetrech.



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Druhý důležitý parametr podélné nerovnosti vozovky pro diplomovou práci reprezentuje **mezinárodní index nerovnosti IRI** v jednotkách (m/km). Tento parametr se stanovuje pomocí simulace jízdy dvoumotového referenčního odezvového systému o daných parametrech [6], při rychlosti 80 km/h. Simulace jízdy probíhá po podélných nerovnostech zjištěných pomocí přesné nivelace nebo profilometrem Dipstick (viz 2.1.5).

Obrázek 3: Dvoumotový referenční odezvový systém



Legenda

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 Odpružená hmota M_s | 4 Neodpružená hmota m_u |
| 2 Součinitel lineárního tlumení podvozku, C_s | 5 Součinitel tuhosti pneumatiky k_t |
| 3 Součinitel tuhosti podvozku, K_s | 6 Podélný profil $Z(x)$ |
- Z_s Vzdálenost odpružené hmoty od povrchu vozovky
 Z_u Vzdálenost neodpružené hmoty od povrchu vozovky

Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

1.3.2 Příčná nerovnost povrchu vozovek

Norma příčnou nerovnost povrchu vozovky definuje jako: „*Odchylka skutečného příčného profilu od přímé referenční čáry v kolmém směru na směr jízdy dopravních prostředků*“ [6]

Parametry příčné nerovnosti povrchu vozovek

Stěžejním parametrem pro diplomovou práci u hodnocení příčné nerovnosti je výškový údaj o **maximální hodnotě dvouamplitudy**

v milimetrech, podobně jako v případě 1.3.1 s rozdílem, že se pro měření používá dvoumetrová lať.

1.4 Zásady měření

Měření příčných a podélných nerovností s sebou nese několik zásad, které je nutné pro správnost měření dodržovat. Jsou jimi například následující zásady:

- Čistý povrch komunikace, na které se měření provádí.
- Za provozu se statickými metodami měří zpravidla v uzavřeném jízdním pruhu.
- Za provozu se dynamickými metodami měří vždy ve směru pohybu dopravních prostředků.
- Měření se zpravidla provádí v jízdních stopách. Aby výsledky měření mohly být použity pro predikci vývoje hodnocení nerovnosti povrchů vozovek při případném plánování oprav a údržby, je nutné měření provádět v identických jízdních stopách.
- Je nutné dodržovat podmínky bezpečnosti práce při jakémkoli měření, zvláště s ohledem na ostatní účastníky provozu na pozemní komunikaci.
- Měření se provádí vždy v pravém jízdním pruhu, není-li u vícepruhových komunikací specifikováno jinak.
- Je nutné ověřit správné funkce měřicího zařízení podle návodu výrobce před každým měřením.
- Při každém měření se vede záznam, ve kterém jsou uvedeny identifikační údaje o zkoušeném úseku a povrchu vozovky, poloha měřené stopy, datum měření, seznam měřících osob a neobvyklé podmínky zjištěné při měření.

2 Metody měření

V této kapitole bude popsána většina metod používaného kontrolního měření PK. Se zástupci jednotlivých metod bude následně prováděno podrobnější srovnávání. V současné době, kdy je potřeba kontrola vozovky z hlediska geometrické nerovnosti při reklamačním řízení v záruční době, správce komunikace naráží na potřebu identifikace všech problémových míst a jejich následného zaměření a porovnání s přípustnými odchylkami normy.

Používání měření povrchových nerovností latí či nejčastější tabulkový způsob vyhodnocení IRI z měřicího vozidla se hodí pro síťovou úroveň, ale často bývá nedostatečný v případě řešení reklamací. U těchto měření nerovností není vždy úplně spolehlivá vazba na kilometráž komunikace, tzn., že se zde vyskytuje problém s nízkou přesností určení polohy zaměřených míst. Vznikají alternativní způsoby vyhodnocování a analyzování povrchů vozovek. Na základě rozvoje neselektivních metod získávání měřených bodů do podoby bodových mračen se vyvíjejí nové způsoby jak plošně například nerovnosti vyhodnocovat. V následujících kapitolách budou postupně rozebrány základní tradiční metody a nejpoužívanější moderní metody kontrolního měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací. Z tradičních způsobů měření jsou zde vybrány měření pomocí měřicí latě a měřičského klínku, planografu, přesné nivelace, profilometru s dvoumotovým odezvoým systémem, vozidlem se snímačem svislého zrychlení či pomocí profilometru Dipstick. Zástupci moderních metod při zjišťování nejen příčných a podélných nerovností jsou v této práci fotogrammetrie a laserové skenování.

2.1 Tradiční metody měření

Toto označení přísluší metodám, jejichž postupy měření jsou uvedeny v normách a jsou ke kontrolnímu měření standardně a poměrně dlouhou dobu využívány. Jednotlivé kapitoly se zabývají měřením pomocí měřicí latě a měřičského klínku ke zjišťování podélné a příčné nerovnosti. Dále měřením pomocí planografu ke zjišťování podélné nerovnosti nebo měřením pomocí nivelačního přístroje a přesné nivelace ke zjišťování příčné a podélné nerovnosti, ale i mezinárodního indexu nerovnosti či příčných sklonů. Následně jsou popsány způsoby měření pomocí profilometru s dvoumotovým odezvovým systémem ke zjišťování podélné nerovnosti. V neposlední řadě je zde uvedeno měření pomocí profilometru Dipstick ke zjišťování podélných a příčných nerovností.

2.1.1 Měřicí lať (podélná a příčná nerovnost)

Pro vyhodnocení podélné a příčné nerovnosti vozovky je možné použít duralovou lať (Obrázek 4) a měřicí klínek (Obrázek 5).

Pro kontrolní měření podélné nerovnosti se používá duralová lať o délce čtyři metry. Měřicí lať musí splňovat požadavky podle normy [6]. Tloušťka spodní hrany latě nesmí přesáhnout 18 milimetrů, boky musí být kolmé ke spodní ploše, průhyb ve směru měření nesmí být větší než 0,3 milimetru, při položení na dokonale rovnou plochu nesmí v žádném místě latě vzniknout mezera větší než 0,2 milimetru, největší přípustný průhyb v příčném směru je 10 milimetrů.

Pro kontrolní měření příčné nerovnosti se používá duralová lať o délce dva metry. Měřicí lať musí splňovat požadavky podle normy [6]. Tloušťka spodní hrany latě nesmí přesáhnout 18 milimetrů, boky musí být kolmé ke spodní ploše, průhyb ve směru měření nesmí být větší než 0,1 milimetru, při položení na dokonale rovnou plochu nesmí v žádném místě latě vzniknout mezera větší než 0,1 milimetru, největší přípustný průhyb v příčném směru je 2 milimetry.

Klínek zpravidla s rukojetí bývá vyroben z lehkého a otěruvzdorného materiálu, nejčastěji také z duralu. Sklon klínku je 1:10 a na horní straně je vyznačena stupnice, která udává výšku klínku po celé jeho délce. Délka klínku

by neměla přesáhnout 300 milimetrů a jeho šířka se pohybuje od 25 do 35 milimetrů.

V závislosti na četnosti použití musí být lať i měřicí klínek kontrolovány a kalibrovány.

Podélná nerovnost PK se zpravidla měří v předpokládaných vnějších jízdnicích stopách, většinou 0,75 metru od vnitřního okraje vodících proužků, poloha může být také dána normami (viz. vyhodnocení měření) nebo smluvními podmínkami.

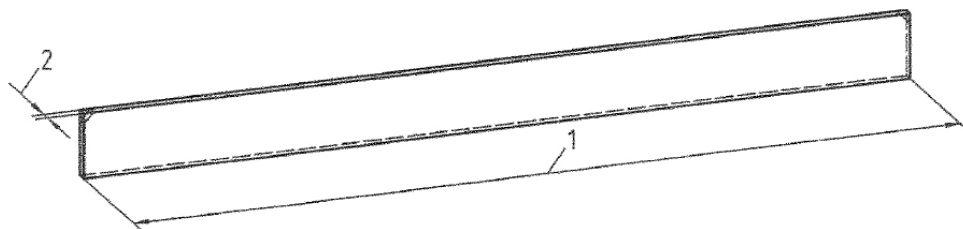
Příčná nerovnost PK se měří v jednotlivých řezech vozovky vzdálených od sebe maximálně tak, jak uvádí příslušný předpis ČSN, TKP staveb PK a souvisící TP.

Poměrně jednoduchým způsobem se měří maximální dvojamplitudy 2a (viz Obrázek 2) pod lať. Způsob a postup měření je znázorněn na Obrázku 6.

Z měření jsou zaznamenávány výškové údaje z každé polohy lať zaokrouhlené na celé milimetry. Při překročení maximálních hodnot je třeba zaznamenat místo a charakter nerovnosti (vydutá, vypuklá). Obvykle se takováto místa značí přímo i na PK.

Následně probíhá vyhodnocení naměřených údajů podle maximálních dovolených hodnot, které jsou uvedeny v technických normách pro stavbu vozovek ČSN 73 6121, ČSN 73 6122, ČSN 73 6123-1, ČSN 73 6124-1,2, ČSN 73 6126-1,2, ČSN 73 6127-1,2,3,4, ČSN 73 6128, ČSN 73 6129, ČSN 73 6130 a ČSN 73 6131 nebo ve smluvních podmínkách.

Obrázek 4: Měřicí lať

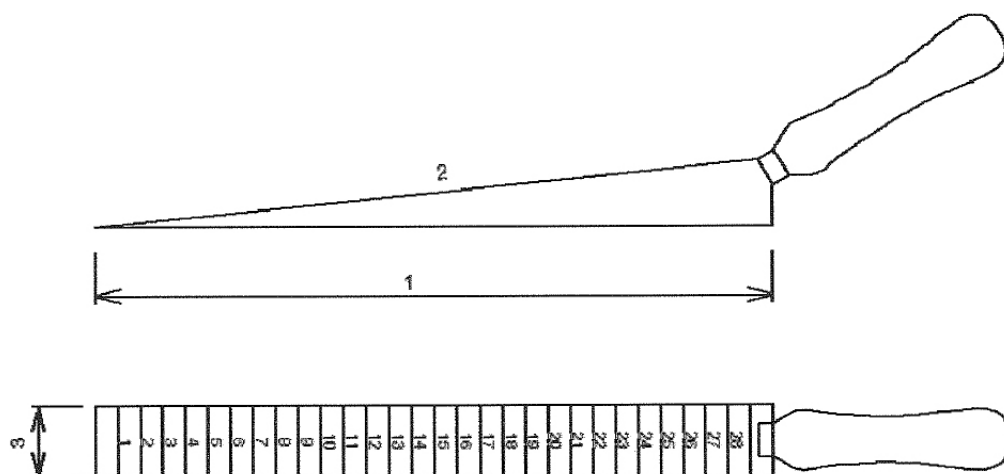


Legenda

- 1 Délka, $l = 4\,000\text{ mm}$ ($2\,000\text{ mm}$) $\pm 3\text{ mm}$ ($\pm 1\text{ mm}$)
- 2 Šířka, $w = \text{max. } 18\text{ mm}$

Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Obrázek 5: Měřicí klínek

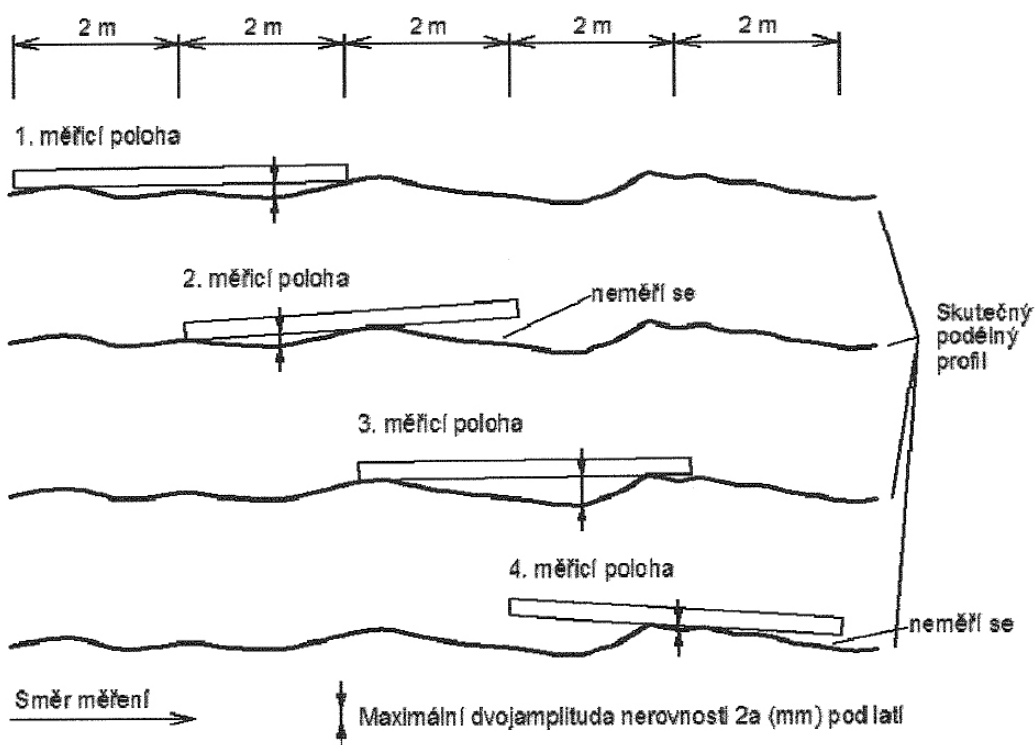


Legenda

- 1 Délka, $l = \text{max. } 300 \text{ mm}$
- 2 Sklon, $s = 1:10$
- 2 Šířka, $w = 25 \text{ mm až } 35 \text{ mm}$

Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Obrázek 6: Postup měření podélné nerovnosti povrchu vozovky latí

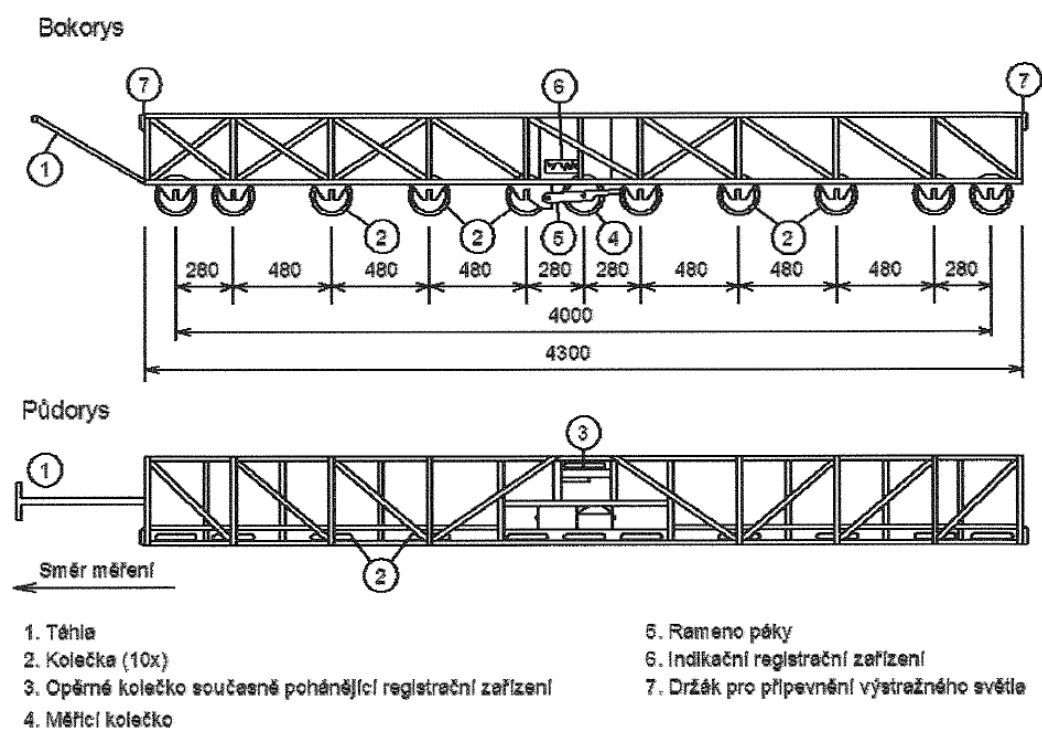


Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

2.1.2 Planograf (podélná nerovnost)

Účel vyhodnocení kontrolního měření pomocí planografu je zjištění podélné nerovnosti pozemní komunikace. Výhodou této zkoušky je, že je možné jí provádět i v průběhu běžného užívání pozemní komunikace. Planograf tvoří základní čtyřmetrová konstrukce, která je osazena soustavou deseti koleček. Při nerovnostech na PK se jedno nebo více koleček nedotýká povrchu a měřící kolečko pohybující se svisle nahoru či dolů na tomto základě měří a registruje podélné nerovnosti vozovky. Zařízení planografu je při měření podélné nerovnosti na PK tažen obsluhou. Přesnost měření je u zařízení 0,5 milimetrů a jeho rozsah může být 0 až 40 milimetrů. Planograf má čtyři základní části, kterými jsou měřící vozík, registrační zařízení, indikační zařízení a měřič vzdálenosti. Jednotlivé části jsou vyobrazeny ve schéma planografu, které je možno vidět na Obrázku 7. Skutečný planograf je na fotografii pod názvem Obrázek 8. Planograf je nutné minimálně jednou za dva roky nechat zkalibrovat oprávněným kalibračním zařízením. Pro mechanické zaznamenávání nerovností se do planografu vkládá registrační papír, na který jsou hodnoty naneseny. Mechanický záznam z planografu na registračním papíře je nazýván viagramem. Příklad viagramu je na Obrázku 9. Planograf se měřícím kolečkem postaví na začátek měřené stopy a je možné zahájit měření, při kterém se zařízení nesmí pohybovat rychlostí vyšší než čtyři kilometry v hodině.

Obrázek 7: Schéma planografu



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Obrázek 8: Planograf



Zdroj: <http://www.testservis.cz/mereni-nerovnosti-vozovek>

Obrázek 9: Viagram mechanického záznamu podélných nerovností

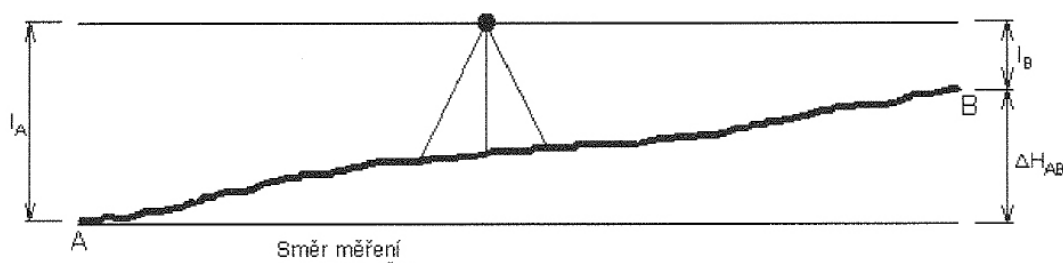


Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

2.1.3 Přesná nivelace (podélná a příčná nerovnost)

Přesným kompenzátorovým nivelačním přístrojem umožňujícím čtení výšek s přesností na 0,1 milimetru je možné zaměřit jak příčné a podélné nerovnosti, tak i například příčné sklony vozovky. Princip tohoto měření spočívá v tom, že nivelační přístroj snímá hodnoty na měřící lati, které jsou v jedné horizontální rovině. Na tomto základě a díky zaznamenávání údajů lze pracovat a určovat výšky jednotlivých měřených bodů, které lze následně použít pro vyjádření nerovností. Výšky podrobných bodů se určují metodou geometrické nivelace ze středu, která je znázorněna na Obrázku 10. Pomocí této metody měření lze výpočtem stanovit míru nerovnosti C nebo mezinárodní index nerovnosti IRI [6]. Z hodnot přesné nivelace lze také stanovit IRI pomocí algoritmu, který je obsažen ve volně dostupném softwaru ProVAL Michiganské univerzity, který je možné stáhnout z webové stránky <http://www.roadprofile.com/>. Vyhodnocení mezinárodního indexu nerovnosti IRI se vyhodnocuje podle přílohy A v normě ČSN 73 6175, pokud dle smluvních podmínek není určeno jinak.

Obrázek 10: Geometrická nivelace ze středu



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

2.1.4 Profilometr s dvoumotovým odezвовým systémem (podélná nerovnost)

Profilometr je zařízení pro měření profilu vozovky v daném rozsahu vlnových délek povrchových nerovností. Popis a schéma dvoumotového referenčního odezвовého systému, kterým je měřen průběh podélné nerovnosti, jsou vyobrazeny na Obrázku 3. Zařízení profilometru s dvoumotovým odezвовým systémem pro měření podélné nerovnosti je upevněno do nosného

vozidla. Profil pro měření podélných nerovností se volí tak, aby měřicí kolo bylo při měření v jízdní stopě. Princip této metody spočívá ve snímání hodnot svislého zrychlení neodpružené hmoty měřicí nápravy a hodnot svislého zrychlení odpružené hmoty karoserie. Z těchto hodnot se stanoví průběh podélných hodnot nerovnosti vyjádřených mezinárodním indexem nerovnosti IRI.

2.1.5 Profilometr Dipstick (podélná a příčná nerovnost)

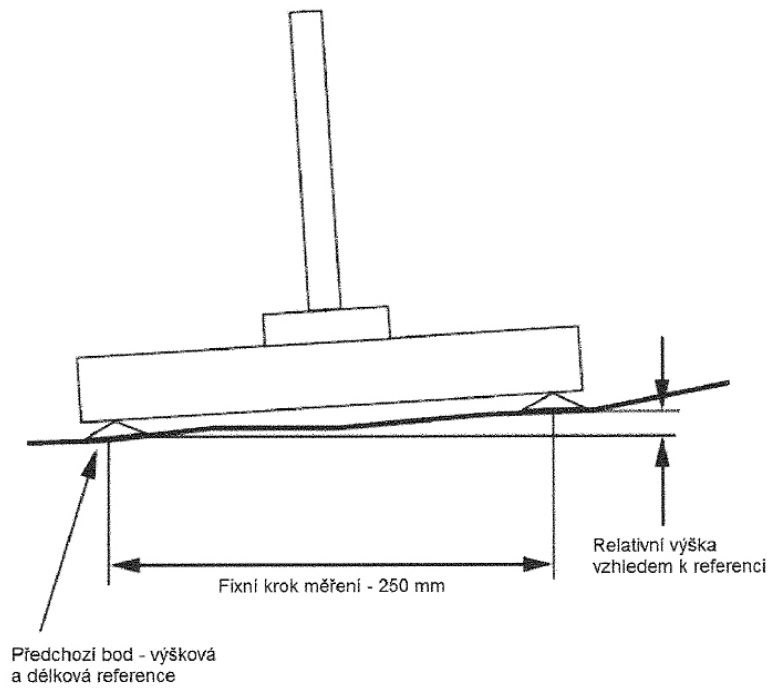
Profilometrem Dipstick je možné provádět kontrolní měření podélných a příčných nerovností hotových vrstev vozovky. Zařízení je vyfotografováno na Obrázku 11. Pomocí Profilometru Dipstick se zjišťuje skutečný profil povrchu PK. Při měření tímto zařízením se tzv. kráčí po profilu, který je k měření určen. Při každém kroku profilometru jsou zaznamenávána data jako rozdíl výšky od předchozího kroku. Přístroj tvoří rám s rukojetí, který je osazen dvěma kloubově uloženými plochami o průměrech 50 milimetrů. Roztečí těchto dvou dosedných ploch je definován interval měření, který se obvykle pro podélnou nerovnost nastavuje na 250 milimetrů a pro příčnou nerovnost 100 milimetrů. Měření profilometrem Dipstick je naznačeno schématem na Obrázku 12. Zařízení obsahuje mikropočítač, který řídí měření, zaznamenává naměřená data nebo slouží k základnímu vyhodnocování a následně k přenosu do počítače pro podrobnější vyhodnocení. Výhoda měření touto metodou je, že je podstatně rychlejší než metoda přesné nivelace.

Obrázek 11: Profilometr Dipstick



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

Obrázek 12: Schéma měření profilometrem Dipstick



Zdroj: Norma ČSN 73 6175 [6]

2.2 Moderní metody měření

Současně s metodami, které jsou používány standardně ke kontrolnímu měření geometrických nerovností vrstev PK, na scénu ve stavebnictví pronikají progresivní moderní metody a postupy. Příkladem těchto netradičních metod je například fotogrammetrie či laserové skenování. Povědomí o těchto principech není příliš velké, ačkoli existují již od konce minulého století. Následující kapitoly popisují zástupce těchto metod, kterými jsou pro tuto diplomovou práci laserové skenování a fotogrammetrie.

2.2.1 Laserové skenování

V geodézii se v průběhu druhé poloviny devadesátých let minulého století objevila nová metoda přímého bezkontaktního určování 3D souřadnic – technologie skenování. O běžném komerčním nasazení této technologie lze hovořit od začátku 21. století. Výhodou této technologie je zejména efektivnost sběru dat.

Metoda laserového skenování umožňuje zaregistrování tvaru a podrobností daného objektu během krátké chvíle a v následných krocích je možné vyhotovování různých výstupů bez nutnosti opětovného doměřování.

Tato moderní metoda pracuje na bázi neselektivního měření řádově tisíce bodů za sekundu na povrchu daných objektů. Výsledky měření bývají tzv. mračna bodů, které obsahují miliony bodů definujících jednotlivé prvky objektů v rámci daného souřadného systému.

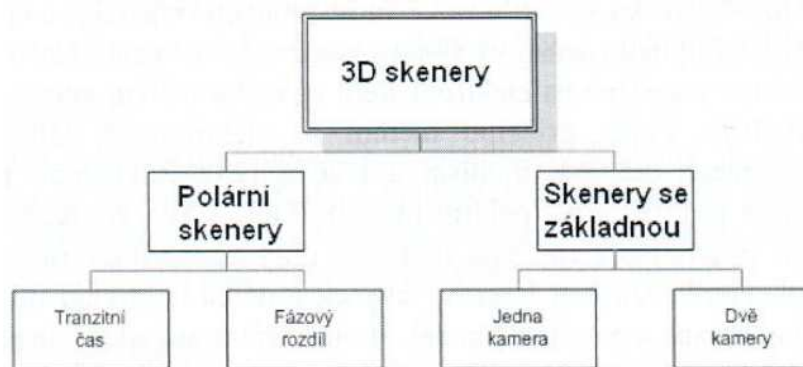
Laserové skenování umožňuje bezkontaktní určování prostorových souřadnic jednotlivých bodů objektu. Pomocí tohoto způsobu měření je možné jednodušeji provádět 3D modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů. Tuto metodu lze použít i pro získání prostorových dat z nedostupných oblastí nepravidelného charakteru jako jsou například skály a lomy. Zaměřování je realizováno s velkou rychlostí, komplexností a také bezpečností. Jistě se zde naproti řadě kladných aspektů pro mnohé mohou objevit i negativa této moderní metody. Jako první každého pravděpodobně napadnou vyšší náklady, větší časová náročnost měření a vyhodnocování výsledků nebo nižší dostupnost a povědomí o této metodě. Nejdůležitějším aspektem bývají ve většině případů finance. Objektivně tato

metoda na první pohled nákladnější je, otázkou ovšem zůstává, zdali je toto hledisko směrodatné pro vyhodnocování a preferování metod tradičních. Laserové skenování má svá pro i proti, je tedy potřeba se na problematiku zaměřit komplexněji a vyhodnotit v jakých případech co převažuje.

Skenovací systémy

Skenovací systémy je možné podle různých hledisek dělit. Například podle principu (Obrázek 13), zorného pole, dosahu, přesnosti určení polohy bodu či rychlosti skenování. Skenovací systémy je také možné dělit podle umístění skeneru na statické nebo kinematické systémy. O statické skenovací systémy (Obrázek 14) se jedná, je-li skener umístěn pevně na zemi, naopak u kinematických skenovacích systémů (Obrázek 15) je skener umístěn na pohybujícím se zařízení (např. automobil, drezína, letadlo, vrtulník). [7] Na současném trhu je nabídka různých laserových skenerů poměrně široká. Zařízení pro skenování nabízejí například firmy Riegl, Leica, Trimble, Topcon, Optech, Callidus, Faro a Gom.

Obrázek 13: Rozdělení skenerů podle měřicího principu



Zdroj: STAVEBNÍ GEODEZIE. Doplňkové skriptum [8]

Obrázek 14: Laserový skener Leica HDS 3000



Zdroj: <http://www.verticalmapping.com/news/HDS3000.html>

Obrázek 15: Lasery umístěné na automobilu a na drezině



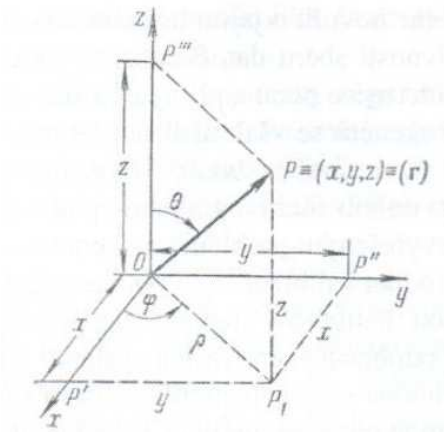
Zdroj: <http://slideplayer.cz/slide/1908538/>

Princip laserového skenování

Základní princip pro fungování laserového skeneru se zakládá na prostorové polární metodě znázorněné na Obrázku 16.

K určení souřadnic bodu P je třeba zaměřit podrobné body na objektu dle předem nastavených parametrů. Je třeba znát délku průvodiče r (měřená délka) a úhly θ , φ . Délka je obecně měřena dálkoměrem (impulzivní či fázový) [9], přičemž je měřen horizontální a vertikální úhel. Pro naskenování bodů objektu se používá různých principů rozmítání laserového svazku [9]. Body na povrchu objektu jsou měřeny v profilech a ve zvolené hustotě na základě rozmetaného laserového svazku. Výsledkem měření skenovacího systému je mračno bodů, které je možné vložit do počítače a v něm s ním dále pracovat.

Obrázek 16: Schematické znázornění prostorové polární metody



Zdroj: STAVEBNÍ GEODEZIE. Doplnkové skriptum [8]

Zpracování mračna bodů

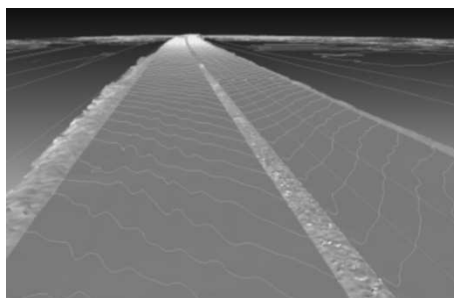
Po naskenování bodů je většinou nutné provést transformaci bodů do požadovaného souřadnicového systému. Následným krokem je odstranění šumu z měření, také odstranění nežádoucích naskenovaných objektů, jako jsou například dopravní prostředky nebo zbytečné okolí měřených objektů (Obrázek 17 a 18). Při zpracování bodového mračna je následně třeba provést aproximaci měřených bodů geometrickými objekty, např. křivkami a plochami, případně tělesy. Tento krok při zpracování představuje nejnáročnější část. Proces skenování je poměrně automatická záležitost, na rozdíl od samotného zpracování mračna bodů. Zpracování probíhá v kanceláři a je časově náročné. Podle informací od geodetické firmy Exact Control System a.s. například hodinové měření jednoho kilometru pozemní komunikace časově vyžaduje jeden pracovní den pro zpracování.

Obrázek 17: Základní výstup - 3D mračna bodů s detaily silnice a okolí



Zdroj: Exact Control System a.s.

Obrázek 18: DMT - Po odstranění šumu z měření a nežádoucích naskenovaných objektů



Zdroj: Exact Control System a.s.

Digitální model

Na vytvořeném digitálním modelu je možné provádět měření, různé úpravy a další operace. Možné jsou i další kroky zpracování a to zejména přiřazování materiálů, jejich textur, osvětlení, ale hlavně informací, které jsou použitelné při používání informačního modelování budov (BIM), jehož tendence zavádění v ČR vzrůstá [10]. Díky počítačovým programům je možné virtuální prohlížení takto vzniklého modelu, které lze využít pro prezentaci modelu, zhodnocení vlivu nové zástavby na stávající ráz krajiny apod.

Vyhodnocení nerovností z DMT

Po vytvoření digitálního modelu terénu je třeba získat vyhodnocení požadovaných nerovností. Toto je možné v softwarech k tomu určených. Například Ing. Josef Žák, Ph.D. z FSv ČVUT Katedry silničních staveb pomocí programovacího jazyka Python vytvořil program s názvem RIRI za účelem hodnocení geometrické kvality vrstev vozovek pozemních komunikací z dat laserového skenování. Program RIRI má ve svém popisu na webových stránkách <http://d2051.fsv.cvut.cz/riri.htm>, že umožňuje provádění analýzy podélných a příčných nerovností, měřených standardně latí a mezinárodního indexu nerovností. Dále lze tato vypočtená data v programu prohlížet a lokalizovat tak úseky a jim odpovídající parametry.

Například při vyhodnocování podélné nerovnosti je v DMT je třeba umístit trasu měření a extrahovat data podélného profilu. Do programu se extrahovaná data podélného profilu z DMT vloží v ASCII pomocí textového

editoru (Obrázek 19). Při vyhodnocování podélné nerovnosti se v programu RIRI nastaví pouze délka latě, kterou se měření simuluje a program spolehlivě vyhodnotí nerovnost opět do souboru textového editoru. Další funkcí programu je možnost vyhodnocených nerovností zobrazit v grafu (Obrázek 20).

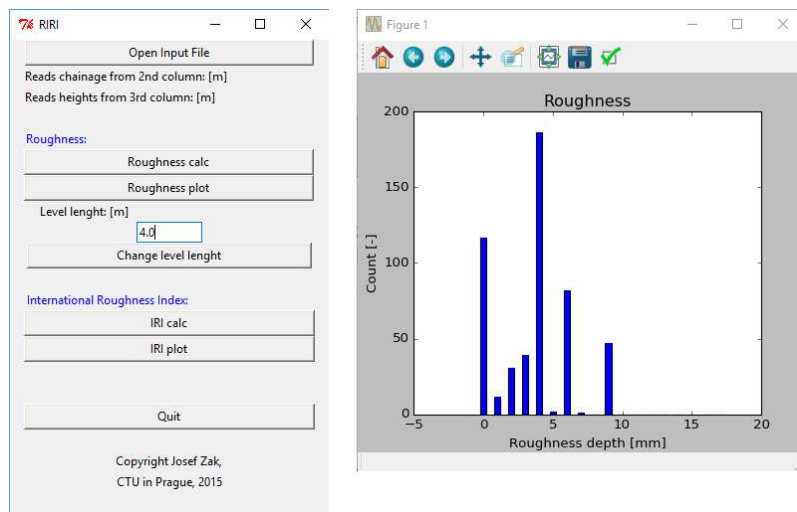
Obrázek 19: Vstupní a výstupní údaje programu RIRI

Č.	Uzamknout	Staničení vrcholu polygonu	Výška PVI
1	0.0000m	248.5403m	-1.99%
2	0.0175m	248.5400m	-2.65%
3	0.1247m	248.5372m	-2.44%
4	0.1682m	248.5361m	-2.44%
5	0.1883m	248.5356m	-2.44%
6	0.3189m	248.5324m	-3.11%
7	0.4086m	248.5296m	-3.56%
8	0.6013m	248.5228m	-3.57%
9	0.6202m	248.5221m	-4.23%
10	0.6290m	248.5217m	-3.78%
11	0.7706m	248.5164m	-3.11%
12	0.8493m	248.5139m	-1.75%

Roughness depth[m]
0.005724
0.004400
0.000407
0.009375
0.002136
0.004483
0.002550
0.000000
0.002883
0.001092
0.000492
0.005263

Zdroj: Autor z programu RIRI

Obrázek 20: Program RIRI a výstupový graf



Zdroj: Autor z programu RIRI

2.2.2 Fotogrammetrie

Další moderní metodou snímkování a měření objektů je fotogrammetrie. Jedná se o disciplínu nejen geodetických prací, kdy se používá fotografické snímkování. Z těchto snímků, pořízených analogově nebo digitálně, lze odvodit umístění, velikost a tvar předmětu měření v prostoru či určit vzájemnou polohu bodů apod. Měřený objekt je zasazen do daného souřadného systému. Využití této metody lze uplatnit v mapování povrchu Země, informační systémy GIS, projektování a dokumentaci apod. Toto lze použít například pro armádu, ve státní správě, stavebnictví nebo v oboru památkové péče. Fotogrammetrie se dělí na fázi přípravných prací, prací v terénu a na práci v laboratoři, kde probíhá zpracování naměřených dat. Výhody u této metody jsou přikládány minimalizaci prací v terénu a celkové úspoře času a nákladů. Navíc se zde objevuje dokumentační hodnota snímků, která má jistě také svou váhu. Nevýhodou může být přesnost této metody. Záleží samozřejmě na konkrétním způsobu měření a na požadavcích měřeného objektu. Obvykle je fotogrammetrie dělena na jednosnímkovou a dvou či vícesnímkovou. Dále je tato metoda rozdělena na pozemní a leteckou fotogrammetrii.

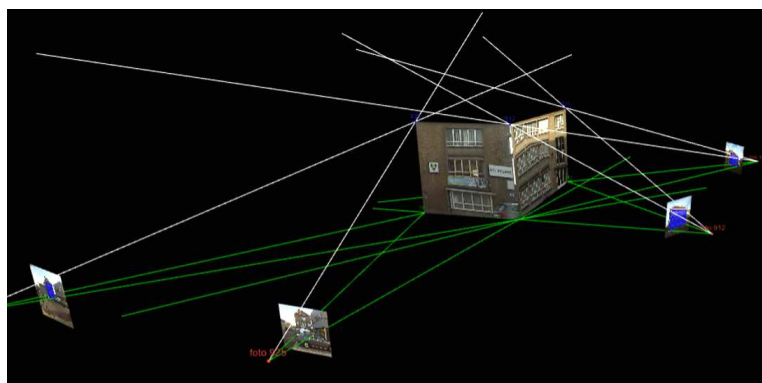
Jednosnímková fotogrammetrie

Používá se ve speciálních případech, kdy je měřený objekt rovinný nebo alespoň přibližně rovinný. Ze samostatných měřičských snímků lze určit pouze rovinné souřadnice. Používá se například u snímání fasád či plochého terénu.

Dvousnímková a vícesnímková fotogrammetrie

Při měření, kde je možné měřený objekt vyjádřit trojrozměrně a vyhodnotit jeho prostorové souřadnice, je třeba použít více měřičských snímků než jeden. Měřený objekt musí být obsažen minimálně na dvou snímcích jako na Obrázku 21. Výpočetní zpracování umožňuje zpřesňování díky aplikaci vyrovnání z více snímků

Obrázek 21: Dvousnímková fotogrammetrie



Zdroj: <http://cartogis.ugent.be/geomobiel/modules.php>

Pozemní fotogrammetrie

U této metody zpravidla bývá stanoviště nepohyblivé a přesnost měření se pohybuje v řádu od 0,01 metru do 0,1 metru. [11]

Letecká fotogrammetrie

U letecké fotogrammetrie, jak z názvu vyplývá, je nosičem snímkovacího zařízení letadlo či helikoptéra. Letecká fotogrammetrie se používá především k dálkovému průzkumu Země. Jelikož snímek je zachycen ve zlomku vteřiny, často se tato metoda využívá při zhotovování map a jejich aktualizaci či při dokumentování rychle se měnících dějů, například dokumentace území zasažené přírodní katastrofou (povodně, vichřice, požár apod.). Znázorněný postup měření je naznačen na Obrázku 22. Alternativou může být v poslední době rozšiřující se pořizování snímků z dálkově ovládaného dronu (Obrázek 23). Přesnost měření u letecké fotogrammetrie bývá zpravidla nižší než u metody pozemní fotogrammetrie a to v řádu decimetrů až metrů.

3 Srovnání tradičních a moderních metod měření

Pro srovnání tradičních a moderních metod geodetického měření byl z každé oblasti vybrán jeden způsob měření, jakožto její zástupce. Z tradičních metod bylo podle ČSN 73 6175 vybráno měření nivelačním přístrojem pro měření IRI a kontrolu příčných sklonů, měření pomocí duralových latí a měřicího klínku pro kontrolu podélné a příčné nerovnosti. Jako zástupce moderních metod bylo vybráno laserové skenování pro veškeré měření. Obě tyto metody byly použity na pozemní komunikaci projektu Komořanská, který je popsán v následující kapitole. Pro srovnání tradičních metod s metodami moderními byly na projektu Komořanská u každé varianty vypočteny či vyčísleny specifika jako například časová náročnost, přímé náklady na měření, přesnost měření. Byly zde také vyjádřeny parametry beroucí v potaz objektivitu informace, garanci přesnosti DMT, ověřitelnost informace nebo bezpečnost při měření či jiné.

3.1 Projekt Komořanská

Jako příklad pro porovnání obou metod bude sloužit projekt s názvem Komořanská. V říjnu 2014 bylo v jižní části hlavního města Prahy (Obrázek 24) realizováno měření klasickými metodami, které zastupuje přesná nivelace a měření duralovou latí a zaměření PK moderní metodou zastoupenou laserovým skenováním

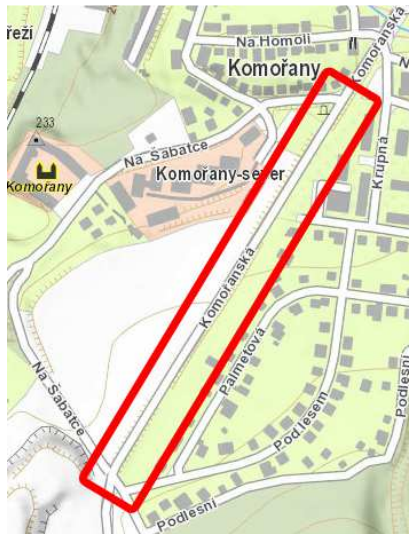
Obrázek 24: Praha - Komořany, základní mapa



Zdroj: <http://mapy.cz>

Obsahem projektu Komořanská bylo zaměření a zpracování dat skutečného provedení obrusné asfaltové vrstvy pozemní komunikace v ulici Komořanská pro kontrolu a převěření provedení díla. Jedná o úsek vozovky v délce 540 metrů v Praze – Komořanech (Obrázky 25, 26). Tato komunikace rychlostní třídy má dva jízdní pruhy, kde každý z nich má šířku 3,5 metru. Projekt byl realizován pro stavební firmu SKANSKA a.s. geodetickou firmou Exact Control System a.s., která provedla zaměření moderní metodou, laserovým skenováním. Definice úkolu zněla - stabilizace bodového pole a polohové a výškové zaměření. Tento samý projekt byl pod dozorem Ing. Josefa Žáka, Ph.D. z FSV ČVUT Katedry silničních staveb přeměřen klasickými metodami, v tomto případě pomocí kompenzátorového nivelačního přístroje přesnou nivelací a pomocí duralových latí o délce dva a čtyři metry a měřícího klínku.

Obrázek 25: Část ulice Komořanská, základní mapa



Zdroj: <http://gis.izscr.cz/>

Obrázek 26: Část ulice Komořanská, katastrální mapa + ortofoto mapa



Zdroj: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz>

3.1.1 Exact Control System a.s.

Geodetická firma Exact Control System a.s. je kompletním dodavatelem služeb v oblasti geodetických prací na území celé Evropy. Má rozsáhlé schopnosti v oboru měření a shromažďování přesných dat, která jsou potřeba. Profesionálové z týmu EXACT usilují o to, aby byli v čelních pozicích v oboru geodetických prací, ale zabývají se také vývojem nových technologií a postupů.

Společnost Exact Control System a.s. nabízí služby jako je **3D skenování** - odborné měření pomocí technologie 3D laserové skenování, která umožňuje rychle a přesně měřit rozlehlé územní celky, dopravní a jiné stavby, závody a ostatní objekty měření. Výsledky se získávají s vysokou mírou detailu a dodávají tak údaje, které jsou potřeba k přesnému zhodnocení staveb. Společnost Exact Control System a.s. může poskytnout přesnou dokumentaci a výkresy, které pomohou v každé fázi projektu a rozvoji stavby.

Mimo jiné Exact Control System a.s. provádí činnosti typu:

- Topografický průzkum
- Průzkum pro stavby a konstrukční práce
- Průzkum pro podpovrchové stavby
- Námořní průzkumy pro ropný a plynárenský průmysl
- Průzkumy průmyslových zařízení
- Hydrografický průzkum
- Používání automatizovaných strojních zařízení
- Pronájem přístrojů a vybavení

3.2 Měřené údaje

Pro srovnání metod budou použity čtyři základní údaje kontrolního měření, které byly zjišťovány na projektu Komořanská. Byla jimi podle normy [6] následující měření: kontrola podélné nerovnosti, kontrola příčné nerovnosti, kontrola příčných sklonů a měření IRI.

3.2.1 Kontrola podélné nerovnosti

Podélná nerovnost byla kontrolována pomocí čtyřmetrové duralové latě a měřicího klínku ve vnitřním pruhu po celé délce vozovky. Z Tabulky 1 je zřejmé, že celkový počet položení latě na vozovku při měření podélné nerovnosti je 269.

3.2.2 Kontrola příčné nerovnosti

Kontrola příčné nerovnosti byla v případě projektu Komořanská prováděna v řezech po 40 metrech délky. Jako klasická metoda byla použita dvoumetrová duralová lať a měřicí klínek. Z Tabulky 1 je zřejmé, že celkový počet položení latě na vozovku při měření příčné nerovnosti je 78.

3.2.3 Kontrola příčných sklonů

Příčné sklony byly stejně jako příčné nerovnosti kontrolovány v řezech po 40 metrech délky. V rámci měření klasickými metodami byl použit nivelační přístroj a lať s libelou. Z Tabulky 1 je zřejmé, že celkový počet měřených bodů při kontrole příčných sklonů je 52.

3.2.4 Měření IRI

Měření International Roughness Index neboli Mezinárodního indexu nerovnosti bylo pomocí nivelačního přístroje a latě s libelou provedeno na úseku dlouhém 100 metrů po každých 25 centimetrech délky. Z Tabulky 1 je zřejmé, že celkový počet měřených bodů při měření mezinárodního indexu nerovnosti IRI je 400.

3.2.5 Specifikace měření

Pro další možné zpracování byla provedena specifikace jednotlivých měření na 540 metrů dlouhém úseku pozemní komunikace u projektu Komořanská. Specifikaci konkrétních měření dané části PK je možno vyčíst z Tabulky 1.

Tabulka 1: Specifikace kontrolních měření na projektu Komořanská

#	Činnost	Specifikace jednotlivých měření
		Počet položení latě
I.	Kontrola podélné nerovnosti (v jednom pruhu)	$(\text{Délka úseku} / \text{Délka latě}) \times 2 - 1$ $(540/4)*2-1$ =269
II.	Kontrola příčné nerovnosti (v řezech po 40m)	$((\text{Délka řezu} / \text{Délka latě}) \times 2 - 1) \times \text{Počet řezů}$ $((7/2)*2-1)*13$ =78
		Počet nivelačních bodů
III.	Kontrola příčných sklonů (v řezech po 40m)	$\text{Délka úseku} / \text{Vzdálenost řezů}$ $540/40=13,5 \rightarrow 13 \text{ řezů} \times 4 \text{ body}$ =52
IV.	Měření IRI (úsek 100m, nivelace po 25cm)	$\text{Délka úseku} / \text{Vzdálenost nivelace}$ $100/0,25$ =400

Zdroj: Autor

3.3 Tradiční metody měření

Tradiční metody, které představuje přesná nivelace a měření duralovými latěmi a měřicími klínky mají několik aspektů, které lze porovnávat. Tyto aspekty jako časová náročnost, přímé náklady na měření, přesnost měření, objektivita informace, garance přesnosti DMT, ověřitelnost informace nebo bezpečnost při měření či jiné jsou popsány v následujících kapitolách, aby poté bylo možno provést srovnání s moderní metodou laserového skenování. Tradiční metody kontrolního měření povrchu pozemní komunikace byly v rámci porovnávání a následného vyhodnocení použity na úseku PK u projektu Komořanská (viz. kapitola 3.1).

3.3.1 Časová náročnost

Časové úseky jednotlivých měřících úkonů byly změřeny přímo při jejich provádění pod dohledem Ing. Josefa Žáka, Ph.D. z FSV ČVUT Katedry silničních staveb. Časová náročnost byla zaznamenávána pro kontrolu podélné nerovnosti, kontrolu příčné nerovnosti, kontrolu příčných sklonů a měření mezinárodního indexu nerovnosti. Jednotlivé časové údaje jsou zaznamenány a rozepsány v následujících odstavcích. Celkové shrnutí časové náročnosti

měření tradičními metodami je zobrazeno v odstavci s názvem Celková časová náročnost níže.

Kontrola podélné nerovnosti

Z Tabulky 2 je možno jednoduchým způsobem vyčísl časovou náročnost měření a zpracování při provádění kontroly podélné nerovnosti pomocí zvolené tradiční metody.

Tabulka 2: Časová náročnost kontroly podélné nerovnosti

	Měření	Zpracování
Počet osob	3	1
Časová náročnost	5 hodin	2 hodiny

Zdroj: Autor

Kontrola příčné nerovnosti

Z Tabulky 3 je možno jednoduchým způsobem vyčísl časovou náročnost měření a zpracování při provádění kontroly příčné nerovnosti pomocí zvolené tradiční metody.

Tabulka 3: Časová náročnost kontroly příčné nerovnosti

	Měření	Zpracování
Počet osob	3	1
Časová náročnost	1,5 hodiny	0,5 hodiny

Zdroj: Autor

Kontrola příčných sklonů

Z Tabulky 4 je možno jednoduchým způsobem vyčísl časovou náročnost měření a zpracování při provádění kontroly příčných sklonů pomocí zvolené tradiční metody.

Tabulka 4: Časová náročnost kontroly příčných sklonů

	Měření	Zpracování
Počet osob	3	1
Časová náročnost	2 hodiny	0,5 hodiny

Zdroj: Autor

Měření IRI

Z Tabulky 5 je možno jednoduchým způsobem vyčíslit časovou náročnost měření a zpracování při získávání mezinárodního indexu nerovnosti pomocí zvolené tradiční metody.

Tabulka 5: Časová náročnost měření IRI

	Měření	Zpracování
Počet osob	3	1
Časová náročnost	4,5 hodiny	4 hodiny

Zdroj: Autor

Celková časová náročnost

Časová náročnost kontrolního měření tradičními metodami celkem je uvedena v Tabulce 6. Samotné měření 540 metrů dlouhé pozemní komunikace u projektu Komořanská třemi osobami v součtu trvalo 13 hodin. Následné kancelářské zpracování jednou osobou vyšlo na 7 hodin. Celková časová náročnost kontrolního měření a následného zpracování konkrétního úseku PK v Komořanech byla 20 hodin.

Tabulka 6: Celková časová náročnost měření tradičními metodami

Časová náročnost měření	13 hodin
Časová náročnost zpracování	7 hodin
Časová náročnost celkem	20 hodin

Zdroj: Autor

3.3.2 Náklady na měření

Pro vyčíslení nákladů na jednotlivá kontrolní měření byl proveden průzkum trhu. Na základě několika ceníků prací jednotlivých geodetických firem byly vyčísleny náklady za jednotlivé úkony. Pro další zpracování byl ze všech zjištěných cen stanoven průměr, který reprezentuje skutečné náklady na kontrolní měření daných veličin tradičními geodetickými metodami.

Ceny za časové úseky

V Tabulkách 7 a 8 byly na základě ceníků firem GEODEZIEPP a ALCEDO podle změřených časových údajů u jednotlivých činností vyčísleny náklady. Průměrná cena prací vztažená k firemním hodinovým sazbám je vyjádřena v Tabulce 9.

Tabulka 7: Cena prací dle hodinového tarifu firmy GEODEZIEPP

Cena dle ceníku firmy GEODEZIEPP		
1 hodina výkonu		
	01 - úředně oprávněného zeměměřického inženýra	600 Kč
	02 - zeměměřického inženýra	480 Kč
	03 - zeměměřického technika	400 Kč
	04 - zeměměřického pomocníka (figuranta)	240 Kč
#	Činnost	Výpočet ceny
I.	Kontrola podélné nerovnosti	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(480+400+240)*5+600*2$ =6 800 Kč
II.	Kontrola příčné nerovnosti	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(480+400+240)*1,5+600*0,5$ =1 980 Kč
III.	Kontrola příčných sklonů	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(480+400+240)*2+600*0,5$ =2 540 Kč
IV.	Měření IRI	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(480+400+240)*4,5+600*4$ =7 440 Kč
CELKEM I. + II. + III. + IV.		18 760 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.geodeziepp.cz

Tabulka 8: Cena prací dle hodinového tarifu firmy ALCEDO

Cena dle ceníku firmy ALCEDO		
1 hodina výkonu		
	01 - úředně oprávněného zeměměřického inženýra	580 Kč
	02 - zeměměřického inženýra	460 Kč
	03 - zeměměřického technika	380 Kč
	04 - zeměměřického pomocníka (figuranta)	180 Kč
#	Činnost	Výpočet ceny
I.	Kontrola podélné nerovnosti	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(460+380+180)*5+580*2$ =6 260 Kč
II.	Kontrola příčné nerovnosti	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(460+380+180)*1,5+580*0,5$ =1 092 Kč
III.	Kontrola příčných sklonů	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(460+380+180)*2+580*0,5$ =2 330 Kč
IV.	Měření IRI	$(02 + 03 + 04) \times \text{čas_měření} + 01 \times \text{čas_zpracování}$ $(460+380+180)*4,5+580*4$ =6 910 Kč
CELKEM I. + II. + III. + IV.		17 320 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.alcedo-project.cz, 2015

Tabulka 9: Průměrná cena prací dle hodinových tarifů

Cena dle ceníku firmy GEODEZIEPP	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	18 760 Kč
Cena dle ceníku firmy ALCEDO	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	17 320 Kč
Průměrná cena za časové úseky	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	18 040 Kč

Zdroj: Autor

Ceny za jednotlivé úkony

V Tabulkách 10, 11, 12 a 13 byly dle jednotlivých úkonů při daných měření vyčísleny náklady podle ceníků firem TESTSTAV, JKVTEST, PROGEKA a PROFIGEO. Průměrná cena prací vztážená k jednotlivým úkonům podle firemních ceníků je vyjádřena v Tabulce 14.

Tabulka 10: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy TESTSTAV

Cena dle ceníku firmy TESTSTAV		
měření podélných nerovností vozovek 4m latí		
1 položení každého měřeného pruhu		22 Kč
měření příčných nerovností vozovek 2m latí		
1 položení v rámci jednoho jízdního pruhu		14 Kč
# Činnost		
I.	Kontrola podélné nerovnosti	Počet_položení_latě x cena 269*22 =5 918 Kč
II.	Kontrola příčné nerovnosti	Počet_položení_latě x cena 78*14 =1 820 Kč
CELKEM I. + II.		7 010 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.teststav.cz, 2015

Tabulka 11: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy JKVTEST

Cena dle ceníku firmy JKVTEST		
Měření nerovností povrchu vozovek (podélné i příčné)		
1 položení		10 Kč
# Činnost		
I.	Kontrola podélné nerovnosti	Počet_položení_latě x cena 269*10= =2 690 Kč
II.	Kontrola příčné nerovnosti	Počet_položení_latě x cena 78*10= =780 Kč
CELKEM I. + II.		3 470 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.jkvtest.cz, 2015

Tabulka 12: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy PROGEKA

Cena dle ceníku firmy PROGEKA		
Kontrolní , skutečné měření provedení a dokumentace komunikace		
1 bod (do 500 bodů)		40 Kč
#	Činnost	Výpočet ceny
III.	Kontrola příčných sklonů	Počet_bodů x cena 52*40 =2 080 Kč
IV.	Měření IRI	Počet_bodů x cena 400*40= =16 000 Kč
CELKEM III. + IV.		18 080 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.progeka.cz, 2015

Tabulka 13: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy PROFIGEO

Cena dle ceníku firmy PROFIGEO		
zaměření výšky		
1 bod		70 Kč
nad 200 položek jednoho typu – sleva 20%		56 Kč
#	Činnost	Výpočet ceny
III.	Kontrola příčných sklonů	Počet_bodů x cena 52*56 =2 912 Kč
IV.	Měření IRI	Počet_bodů x cena 400*56 =22 400 Kč
CELKEM III. + IV.		25 312 Kč

Zdroj: Autor z ceníku www.profigeo.info, 2015

Tabulka 14: Průměrná cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony

Cena dle ceníku firmy TESTSTAV	
CELKEM I. + II.	7 010 Kč
Cena dle ceníku firmy JKV/TEST	
CELKEM I. + II.	3 470 Kč
Cena dle ceníku firmy PROGEKA	
CELKEM III. + IV.	18 080 Kč
Cena dle ceníku firmy PROFIGEO	
CELKEM III. + IV.	25 312 Kč
Průměrná cena za jednotlivé úkony	
CELKEM I. + II.	5 240 Kč
CELKEM III. + IV.	21 696 Kč
Průměrná cena za jednotlivé úkony	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	26 936 Kč

Zdroj: Autor

Z následující Tabulky 15 je patrné, že vypočtená průměrná cena tradičních geodetických prací na konkrétním úseku projektu Komořanská činí 22 488 Kč. Směrodatná odchylka průměrovaných cenových údajů je 4 448 Kč, což činí necelých 20% vypočtené průměrné ceny. V tomto rozsahu prací by měly pravděpodobně větší význam ceny spočtené za časové úseky, ale zahrnutím cen za jednotlivé úkony do průměru se vytvoří případná rezerva. Za těchto okolností lze říci, že vypočtená průměrná cena tradičních geodetických prací má vypovídající hodnotu.

Tabulka 15: Průměrná cena tradičních geodetických prací

Průměrná cena za časové úseky	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	18 040 Kč
Průměrná cena za jednotlivé úkony	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	26 936 Kč
Průměrná cena tradičních geodetických prací	
CELKEM I. + II. + III. + IV.	22 488 Kč

Zdroj: Autor

3.3.3 Přesnost měření

Přesnost kontrolního měření příčných a podélných nerovností pomocí duralových latí a měřících klínků v případě dodržení postupů a stavu pomůcek podle normy je se směrodatnou odchylkou $\sigma \leq 1 \text{ mm}$. Při kontrolním měření

příčných sklonů a mezinárodního indexu nerovnosti IRI přesnou nivelací jsou používány přístroje s přípustnou směrodatnou kilometrovou odchylkou $\sigma \leq 1,5 \text{ mm}$. Na přesnost měření nivelačním přístrojem může mít vliv řada faktorů, převážně lidských. Při nivelaci je snadné dělat chyby, od špatného čtení na latí po nesvislé držení latě. Je možné, aby nepřesnost vznikla například vlivem teplotních změn na měřící pomůcky.

3.3.4 Objektivita informace

Při měření klasickými metodami hraje vysokou roli lidský faktor, jelikož se jedná o selektivní metody měření. Například při měření příčných sklonů přesnou nivelací při pokládání latě s libelou je zásadní místo položení latě. Na měřené komunikaci může být nerovnost v rámci megatextury, kde položení o několik centimetrů vedle hraje roli a ve výsledném řezu může způsobit relativně velkou nepřesnost. Rozdílný figurant nebo stejný figurant v jiném čase může stejné zadání naměřit rozdílně, či zkrátka udělat lidskou chybu. Objektivita informace z tohoto důvodu není stoprocentní.

3.3.5 Ověřitelnost informace

V případě měření pomocí tradičních způsobů se jedná o selektivní metody, kdy figurant subjektivně vybírá místa měření. Z tohoto důvodu je ověřitelnost informace je na nižší úrovni a nedá se zpětně určit přesné místo položení latě. Další problém při ověřitelnosti informace nastává ve chvíli zakrývání měřených vrstev vrstvami dalšími. Pro eventuální měření mocnosti vrstev je možné zpětně pouze provádět kontrolní vrty do vozovky, které ovšem díky selektivnímu charakteru měřící metody nejsou vždy zcela směrodatné.

3.3.6 Garance přesnosti MT

U tradičních metod geodetického kontrolního měření, konkrétně například při měření příčných sklonů, vzniká při zpracování výstup v podobě řezů vozovky. Tento výstup (jeden příčný řez), představující model terénu, je při porovnávání v diplomové práci reprezentován pouze čtyřmi zaměřenými body. Mezi těmito zaměřenými body na povrchu vozovky mohou být nerovnosti, se kterými vypracovaný řez PK nepočítá a nezobrazuje je. Toto může výsledek

v podobě příčných sklonů vozovky do značné míry zkreslit. Fakt, že výsledky měření u tradičních metod, které jsou selektivního charakteru, jsou zpracovávány pouze z malého množství naměřených bodů, ubírá tradičnímu způsobu měření na garanci přesnosti výsledných modelů terénu.

3.3.7 Bezpečnost při měření

Bezpečnost těchto metod je dána především tím, že kontrolní měření probíhá za omezení či úplného vyřazení provozu vozidel po komunikaci (viz. kapitola 3.3.8). I přes nutné omezení provozu na měřené komunikaci si kontrolní měření PK tradičními metodami žádá pohyb měřičské čety po vozovce. V případě pohybu jiných pracovníků a mechanizace po probíhající stavbě nese tradiční metoda kontrolního měření PK jistá rizika. Bezpečnostní rizika při volném pohybu figurantů po stavbě, kteří se soustředí na měření, při této aktivitě nastávají i přesto, že veškeré procesy se samozřejmě řídí BOZP.

3.3.8 Ostatní

Při kontrolním měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací pomocí tradičních metod často vznikají okolnosti, které je nutné zmínit, protože s sebou mohou nést jisté výhody či nevýhody a ty mohou mít pozitivní či negativní dopad na celkovou ekonomickou stránku dané metody měření. Těmito okolnostmi, které mohou ovlivnit ekonomický pohled na věc, jsou například omezení provozu, dostupnost měření, přístup k metodám a přidaná hodnota.

Omezení provozu

Tradiční metody kontrolního měření je nutno provádět přímo na měřených bodech PK, čili není možné, aby zde současně byl běžný provoz vozidel. Kvůli bezpečnosti při pohybu na vozovce je nutné počítat s uzavřením komunikace nebo minimálně s omezením provozu. Na pozemní komunikaci u projektu Komořanská bylo omezení provozu řešeno pomocí uzavření vždy alespoň jednoho jízdniho pruhu. Při kontrolním měření PK v průběhu jejího provozu například na konci záruční lhůty díla je třeba komunikaci uzavírat, což s sebou může nést mimořádné náklady.

Dostupnost měření

Skutečnost, která je pro tradiční metody kontrolního měření geometrické kvality vrstev značnou výhodou, je dostupnost tohoto měření. Geometrickou kvalitu vrstev pozemní komunikace je schopna přeměřit téměř jakákoli geodetická kancelář. Náročnost kontrolního měření není vysoká a stačí pouze základní snadno dostupné a finančně firmu nezatěžující přístroje a pomůcky.

Přístup k metodám

Tradiční metody kontrolního měření fungují na projektech dopravní infrastruktury již dlouhou dobu. Lidé, kteří se na výstavbách podílejí, jsou na tyto dlouhodobě používané metody zvyklí a preferují je. Je-li v praxi používána metoda, která je časem ověřená, není zde tendence pro její změnu.

Přidaná hodnota

Přidaná hodnota u tradičních metod kontrolního měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací pomocí duralových latí či přesné nivelace je nulová. Není tomu tak u moderních metod kontrolního měření, kde je přidaná hodnota hledisko vysokého významu, viz. kapitola 3.4.8.

3.4 Moderní metody měření

Pro zaměření PK firma Exact Control System a.s. používá metodu statického skenování tzv. *stop and go*. Jinak tomu nebylo ani u projektu Komořanská. Metoda *stop and go* je včetně konkrétního měření firmou Exact Control System a.s. na pozemní komunikaci v Pardubickém kraji podrobně popsána odstavci s názvem Metoda *stop and go* níže. Geodetičtí pracovníci z firmy Exact Control System a.s. při metodě *stop and go* pracují se skenerovým zařízením značky Riegl VZ400, jehož vlastnosti jsou zmíněny v následujícím odstavci.

Laserový skener RIEGL VZ400

Ve dnech 22. až 24. 9. 2009 se v německém městě Karlsruhe konala Mezinárodní výstava geodezie, geoinformatiky a správy nemovitostí INTERGEO pořádaná Německým svazem geodetů. Na této výstavě byl jako novinka mimo jiné představen terestrický V-Line laserový skener VZ-400 (Obrázek 27) od firmy RIEGL Laser Measurement Systems. Tento přístroj se podle jeho technické specifikace [12] vyznačuje dosahem až 600 metrů s přesností 3 milimetrů. Rychlost skenování tohoto zařízení je 122 000 bodů za sekundu. Zorné pole při měření se pohybuje v rozsahu 360 stupňů v horizontální rovině a 100 stupňů ve vertikálním směru. Váha tohoto přístroje je 9,8 kilobramu. Laserový skener Riegl VZ400 je podle normy zařazen do bezpečnostní třídy 1. [13] Operačním softwarem v tomto skeneru je RISCAN PRO. Cena laserového skeneru Riegl VZ400 se podle internetových zdrojů pohybuje okolo 175 000 amerických dolarů. [14]

Obrázek 27: Laserový skener RIEGL VZ400 s GPS anténou TRIMBLE



Zdroj: Autor

Metoda *stop and go*

Metoda *stop and go* je metoda moderního geodetického zaměřování okolí, při které je použit laserový skener upevněný na automobilu. Princip měření spočívá v pohodlném přemísťování laseru pomocí automobilu s tím, že statické skenování probíhá když je automobil v klidu na jednom místě, zabrzděný a s vypnutým motorem. Geodetická firma Exact Control System a.s. používá laserový skener značky Riegl VZ400 na Obrázku 27, který je upevněn na speciálně pro tyto účely vyrobené konstrukci v nákladové části terénního automobilu Nissan Navara s pohonem kol 4x4 na Obrázcích 28 a 29.

Obrázek 28: Vozidlo s laserovým skenerem zepředu



Zdroj: Autor

Obrázek 29 Vozidlo s laserovým skenerem zezadu

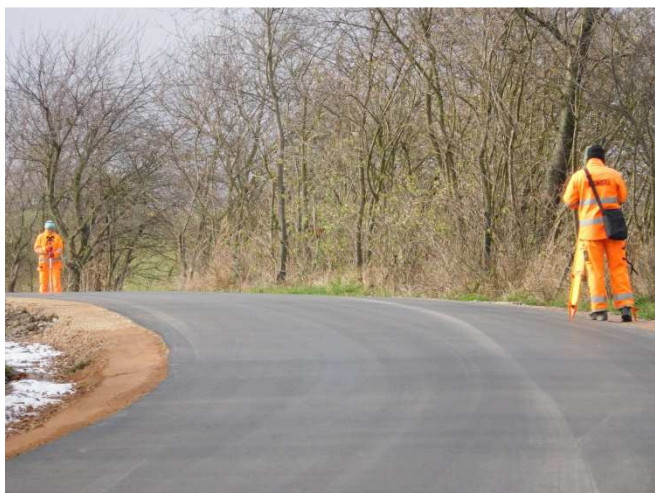


Zdroj: Autor

V následujícím odstavci je popsáno, jak probíhá konkrétní měření metodou *stop and go*. Autor diplomové práce se díky firmě Exact Control System a.s. účastnil kontrolního měření pro předávání díla *OPRAVA SILNICE III/33570, VIŽICE-křižovatka III/33742* v Pardubickém kraji. Investorem opravy PK byla Správa a údržba silnic Pardubického kraje. Tato akce byla spolufinancována z prostředků státního fondu dopravní infrastruktury.

Po příjezdu na místo měření je třeba před samotným měřením provést několik úkonů. Ideálně se obsluhující skupina rozdělí na dvě části tak, aby jedna osoba ovládala automobil se skenovacím zařízením a dvě až tři osoby pomocí totální stanice zaměřovali kontrolní body na okrajích pozemní komunikace a napojení na místní bodové pole, případně bodové pole podél PK vytvořili (Obrázek 30). Zaprvé je nutné vozidlo skenerem osadit (Obrázek 31). Dalším úkonem je najít vhodné místo a usadit základnu GPS přijímače Trimble, který přijímá a následně vysílá signál k GPS anténě připevněné na laserovém skeneru Riegl VZ400. Toto propojení pomocí GPS zajišťuje orientační polohu jednotlivých měření.

Obrázek 30: Měření kontrolních bodů



Zdroj: Autor

Obrázek 31: Instalace laserového skeneru na vozidlo

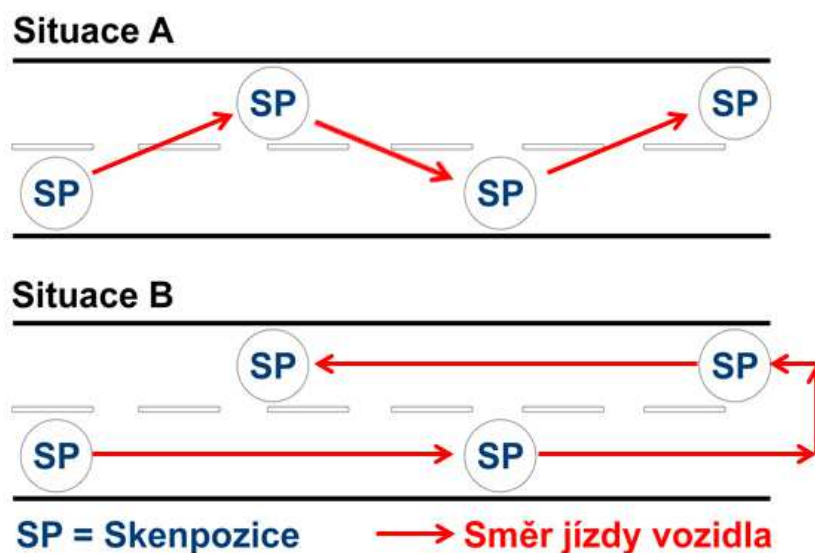


Zdroj: Autor

Automobil popojíždí po měřené komunikaci a zastavuje na jednotlivých pozicích nazývaných skenpozice, ze kterých provádí měření. Jednotlivé skenpozice jsou od sebe vzdáleny cca 40 metrů v podélném směru komunikace. K orientačnímu měření ujeté vzdálenosti bylo využito GPS zařízení spárované s mobilním telefonem. Pokud je to možné, jsou jednotlivé skenpozice na vozovce umístěny tak, že lichá skenpozice je polohována k jednomu okraji vozovky a sudá k druhému okraji, jako je naznačeno na Obrázku 32. Při tomto konkrétním měření byla jednotlivá místa skenu volena v pořadí, které je naznačeno jako Situace A na Obrázku 32. Takto bylo možné

postupovat v případě, že na měřené PK ještě není spuštěn nebo je uzavřen provoz vozidel. Jelikož v tomto případě se jednalo o měření při předání díla a komunikace byla kompletně uzavřena, byl takovýto postup měření možný. V případě, že není možné provoz vyloučit, je třeba pořadí umístování jednotlivých skenpozic volit tak, jak je naznačeno v Situaci B na Obrázku 32. Automobil se skenerem měří vozovku vždy pouze ve směru jízdy vozidel. Je nutné, aby při jakémkoli měření a zastavování byl automobil označen výstražnými světly. Toto umístování skenpozic na obou okrajích PK napomáhá k lepšímu překrytí snímků a eliminaci chyb a nepřesností.

Obrázek 32: Schéma skenpozic při metodě *stop and go*

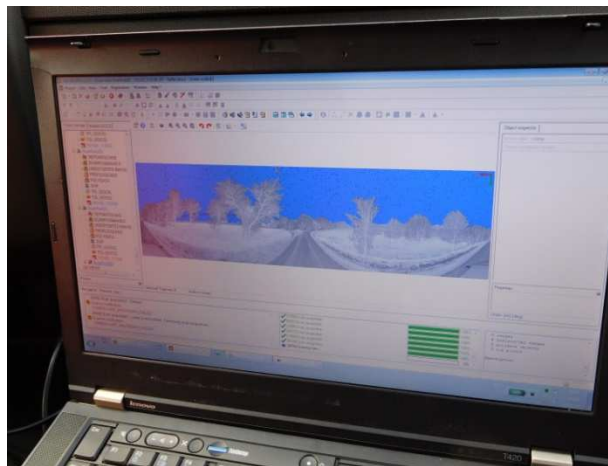


Zdroj: Autor

Poloha každého mračna bodů z jednotlivých skenpozic je určena v místním souřadnicovém systému. Skenují se tak oba jízdní pruhy najednou. V případě zaměřování dálničních úseku se musí každý jízdní směr měřit zvlášť. Při každém zastavení je ovládán skener pomocí počítače s příslušným softwarem. Obvykle se používá klasický notebook. Ovládací počítač, který je se skenerem propojen pomocí datových kabelů, je umístěn na sedadle spolujezdce. Naskenování okolí pomocí skenovacího zařízení z jedné skenpozice trvá cca 1 minutu. Při skenování je nutné, aby obsluha byla v klidu a vyvarovala se zbytečným pohybům a otřesům, které by mohly zaznamenávání bodů, digitalizování okolí a následný DMT negativně ovlivnit. Součástí

laserového skeneru je servomotor, který zajišťuje otáčení skeneru a tím vysílání zaměřovacích paprsků v horizontálním rozmezí celých 360°. Úspěšný sken z dané skenpozice (Obrázek 33) a jeho uložení ohlásí ovládací počítač. Poté je možno automobilem popojet na další skenpozici a měření tak podle potřeby opakovat. Měření na *SILNICI III/33570, VIŽICE-křižovatka III/33742* v délce cca dva kilometry časově zabralo přibližně dvě hodiny. Toto časové měření koresponduje s poskytnutými údaji o měření od firmy Exact Control System a.s., se kterými se počítá ve srovnání tradičních a moderních metod měření geometrické kvality vrstev PK. Po skončení měření je opět nutné vše sklidit a uložit do příslušných obalů a pouzder, aby se předešlo možnému poškození.

Obrázek 33: Průběh skenování



Zdroj: Autor

Po absolvování samotného měření v terénu přichází na řadu složitější a časově náročnější část a to úprava a práce s naměřenými daty. Z jednotlivých naskenovaných bodových mračen je třeba odstranit nežádoucí šum. Stejně tak je nutné odstranit objekty, které jsou pro měření nepodstatné nebo překážející, například vozidla či osoby na vozovce, nebo širší okolí komunikace. Mračna z jednotlivých skenpozic se spojují dohromady díky identickým bodům na překrývajících se částech, což eliminuje nepřesnosti. Po sloučení všech bodových mračen vzniká velmi přesný DMT. Pro následná měření a vyhodnocování měření z DMT není potřebná přílišná hustota bodů. Z tohoto důvodu se digitální model terénu tvoří s menší hustotou bodů, konkrétně se povrch vozovky nahrazuje trojúhelníkovou sítí s velikostí trojúhelníků o straně

20 až 25 centimetrů. Digitální model je třeba umístit do daného souřadnicového systému, což se provede pomocí naměřených kontrolních bodů na PK totální stanicí a napojením na místní bodové pole. Takto polohově a výškově upravený DMT je připraven pro jakákoli měření a další práci. Úpravy firma Exact Control System a.s. provádí ve svých kancelářích na počítačích s příslušným softwarem. Následné počítačové úpravy jednoho kilometru naskenované PK trvají dvěma osobám cca jeden pracovní den, čili 8 hodin kancelářské práce.

3.4.1 Časová náročnost

Časová náročnost měření pomocí statického skenování metodou *stop and go* na základě podkladů od firmy Exact Control System a.s. vychází v průměru měření jednoho kilometru PK třemi osobami na jednu hodinu. Proces samotného skenování jedné pozice zabere přibližně jednu minutu času. Podle Tabulky 16 tedy 540 metrů komunikace výpočtem vychází na cca 33 minut. Jeden kilometr naskenované PK zabere dvěma osobám cca jeden pracovní den, čili 8 hodin následného kancelářského zpracování. V případě konkrétní měřené komunikace se časová náročnost počítačového zpracování naskenovaných bodů rovná cca 4 hodinám a 20 minutám. Aby bylo ovšem možné porovnat zpracování měření z laserového skeneru se zpracováním z tradičního měření je nutno převést čas zpracování u moderních metod na případ zpracování jednou osobou. V tomto případě bude čas zpracování dvěma osobami podle nepřímé úměry vynásoben dvěma. Ve výsledku pro porovnání je tedy časová náročnost vyhodnocení měření jednou osobou 8 hodin a 40 minut. Diplomová práce počítá s celkovou časovou náročností této metody 9 hodin a 13 minut.

Tabulka 16: Časová náročnost laserového skenování

	Měření	Zpracování
Počet osob	3	2 (1)
Časová náročnost 1 km	1 hodina	8 hodin
Časová náročnost 0,54 km	čas_měření_1km x měřená_vzdálenost	čas_zpracování_1km x měřená_vzdálenost
	60*0,54	480*0,54
	33 minut	4 hodiny 20 minut (8 hodiny 40 minut)
Celkem	4 hodiny 53 minut (9 hodin 13 minut)	

Zdroj: Autor

3.4.2 Náklady na měření

Náklady na metodu laserové skenování jsou vyjádřeny na jeden kilometr délky komunikace. Konkrétní komunikace u projektu Komořanská se metodou stop and go zaměřovala pouze v jednom směru. Na rozdíl od dálničních komunikací díky absenci středových svodidel je zde měření pouze v jednom směru plně dostačující. Cena jednoho kilometru dálnice by tedy byla logicky dvakrát vyšší. V ceně je zahrnuto i pozdější zpracování dat po měření.

Aby bylo možné digitální model terénu výškově a polohově usadit do souřadnicového systému, je třeba ho napojit na stávající bodové pole. Bodové pole je třeba podél měřené komunikace vytvořit jednou a při opakovaných měřeních je možné ho vždy využít. Obvykle je bodové pole zaměřováno pomocí totální stanice. V případě projektu Komořanská bylo bodové pole vytvořeno pomocí plastových mezníků, nastřelovacích a geodetických hřebů (Obrázek 34). Je počítáno se situací, kdy bylo pro kontrolní měření laserovým skenerem bodové pole třeba vytvořit. Cena pro vytvoření bodového pole je tedy do délky úseku měřené vozovky promítnuta. Podle dlouhodobých zkušeností pana ing. Lukáše Kutila z geodetické firmy Exact Control System a.s. vychází cena vytvoření bodového pole podél jednoho kilometru komunikace na 5 až 7 tisíc Kč. Do výpočtu byla zvolena střední hodnota 6 tisíc Kč.

Obrázek 34: Bod bodového pole - nastřelovací hřeb



Zdroj: Autor

Z Tabulky 17, kde je uvedený výpočet, je patrné, že cena zaměření a zpracování konkrétního úseku vozovky u projektu Komořanská činí 35 640 Kč.

Tabulka 17: Cena moderních metod měření

Cena dle firmy EXACT		
Laserové skenování metodou STOP and GO		
1 km vozovky (oba směry)		60 000 Kč
Vytvoření bodového pole pomocí totální stanice		
1 km vozovky (oba směry)		6 000 Kč
#	Činnost	Výpočet ceny
I.	Kontrola podélné nerovnosti	Délka_úseku x cena 0,54*60000
II.	Kontrola příčné nerovnosti	=32 400 Kč
III.	Kontrola příčných sklonů	Délka_úseku x cena
IV.	Měření IRI	0,54*6000 =3 240 Kč
CELKEM		35 640 Kč

Zdroj: Autor z podkladů firmy Exact Control System a.s.

3.4.3 Přesnost měření

Kladnou vlastností moderní metody laserového skenování je velmi vysoká přesnost měření. Udávaná přesnost laserového skeneru Riegl VZ400, který používá firma Exact Control System a.s. směrodatnou odchylkou, je podle výrobce do pěti milimetrů od skutečnosti. Tuto přesnost výrobce udává spolu s dosahem laserového skeneru, který je 600 metrů. Podle informací od pana ing. Lukáše Kutila z firmy Exact Control System a.s. je reálná přesnost měření daná směrodatnou odchylkou přístroje, kdy se měří pozemní komunikace metodou *stop and go* po cca 40 metrech délky, do tří milimetrů. Čili směrodatná odchylka při zaměřování laserovým skenerem je $\sigma \leq 3 \text{ mm}$.

3.4.4 Objektivita informace

Na rozdíl od klasických metod měření je v tomto případě zaměřování a vytváření digitálního modelu objektivita informace velmi vysoká. Digitální model přesně kopíruje reálný povrch po celé jeho ploše a do procesu skenování zasahuje lidský faktor pouze minimálně, tudíž zde není prostor pro ovlivňování průběhu měření a výsledků lidskými chybami nebo subjektivním výběrem místa měřeného bodu.

3.4.5 Ověřitelnost informace

Z digitálního modelu lze bez problémů a přesně ověřit jakýkoli naměřený údaj. Naskenovaný digitální model umožňuje libovolné doměřování či získávání informací i zpětně. Veškeré údaje jsou tedy doložitelné a matematicky ověřitelné. V případě zakrývání měřených vrstev pozemní komunikace vrstvami dalšími je při naměření povrchu PK laserovým skenerem možné díky digitálnímu modelu pracovat s měřenými místy stejně jako před zakrytím. Pro případné kontrolní měření mocnosti vrstev není nutné zpětně provádět kontrolní vrtvy do vozovky. Tloušťku jednotlivých vrstev lze jednoduše zjistit z rozdílových digitálních modelů terénu naměřených na každé vrstvě.

3.4.6 Garance přesnosti DMT

U metody zaměřování povrchu vozovky laserovým skenerem je výstupem komplexní digitální model terénu. U DMT je na rozdíl od metod klasického zaměřování nerovností vozovky výhodou zaměření všech bodů na pozemní komunikaci. V tomto případě se DMT od skutečného stavu zaměřovaného objektu může rozcházet pouze v závislosti přesnosti laserového skeneru, čemuž je díky směrodatné odchylce $\sigma \leq 3 \text{ mm}$ přikládán malý význam. Vyhodnocování nerovností je tedy velice přesné. DMT zachycuje reálný měřený objekt věrně v každém jeho bodě. Jen těžko lze v dnešní době dosáhnout digitálního modelu terénu s vyšší garancí přesnosti.

3.4.7 Bezpečnost při měření

Při měření metodou *stop and go* laserovým skenerem připevněným na automobilu je výhodou bezpečnost při tomto procesu. Při skenování z jednotlivých sken pozic není třeba opouštět vozidlo. Geodet zůstává bez jakéhokoli ohrožení, než kdyby se musel fyzicky po vozovce pohybovat. Při zaměřování okolních bodů tímto druhem skenování se jedná o měření přístrojem, který emituje laserové záření. Laserový skener Riegl VZ400 je zařazen do bezpečnostní třídy I. Do této bezpečnostní třídy jsou zařazeny přístroje, jejichž zářivý tok, který vystupuje do okolí a doba, po kterou laser září, je tak krátká, že připouští trvalý přímý pohled do laserového záření. [15] Používané Laserové skenery jsou pro lidské oko i pro cokoli jiného naprosto neškodné a bezpečné. Veškerý pohyb a procesy v místě měřené pozemní komunikace se samozřejmě řídí pokyny BOZP.

3.4.8 Ostatní

Při kontrolním měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací pomocí moderních metod často vznikají okolnosti, které je nutné zmínit, protože s sebou mohou nést jisté výhody či nevýhody a ty mohou mít pozitivní či negativní dopad na celkovou ekonomickou stránku dané metody měření. Těmito okolnostmi, které mohou ovlivnit ekonomický pohled na věc, jsou například omezení provozu, dostupnost měření, přístup k metodám a přidaná hodnota.

Omezení provozu

Při použití moderní metody *stop and go* není nutné žádným způsobem omezovat či plně uzavírat provoz na měřené pozemní komunikaci. Při plném provozu vozidlo s připevněným laserovým skenerem zastaví v odstavném pruhu či na krajnici a takto vzniklá skenpozice je pro zaznamenání povrchu vozovky plně dostačující. Při této moderní metodě měření nevzniká nutnost omezování provozu nebo zábrory vozovky, nevznikají zde žádné další náklady k samotnému měření.

Dostupnost měření

Zaměřování pozemních komunikací laserovými skenery není zatím příliš běžné. Geodetických firem, které se v České republice tímto způsobem zabývají, není mnoho. Tato metoda zatím není na projektech dopravní infrastruktury běžně používaná. Náklady na pořízení laserových skenerů, obslužných automobilů a jejich úpravu jsou vysoké a pro většinu geodetických firem jsou tato zařízení zatím nevyužitelná. Dostupnost měření není tak vysoká jako dostupnost měření tradičními metodami, kterými se zabývá téměř každá geodetická kancelář.

Přístup k metodám

Moderní metoda, konkrétně laserové skenování, je proces, který lidmi podílejícími se na projektech dopravní infrastruktury, není zažitý. S touto metodou se zatím v České republice začíná pracovat a používá se pouze v malém měřítku. Z běžné praxe na českých stavbách je patrné, že nové způsoby a metody nejsou, zvláště staršími pracovníky, přijímány příliš kladně. Naproti pracovníkům s oblibou zaběhnutých metod zde stojí tábor do práce nastupujících mladých lidí, kteří mají obecně k novým progresivním způsobům blíže. Rozvíjející se moderní metody však díky své využitelnosti a mnohým výhodám budou časem jistě více a více vyžadovány.

Přidaná hodnota

U moderních postupů laserového skenování použitého v rámci měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací jsou výhody, které tradiční postupy měření nepřinášejí. Tyto důležité aspekty, které mohou přinést úspory celému projektu dopravní infrastruktury, jsou v diplomové práci označeny jako přidaná hodnota.

Využitím moderních metod kontrolního měření v podobě laserového skenování a 3D přístupu na projektech dopravní infrastruktury obecně je možné dosáhnout okamžitých přímých úspor při uplatnění srážek z ceny při překročení mezních hodnot geometrických parametrů, jako je například tloušťka jednotlivých vrstev vozovky nebo sklony vozovky. Na základě přesného měření a zobrazení mocnosti jednotlivých vrstev z DMT nebudou mít zhotovitelé

prostor pro neoprávněné fakturace, které se za běžných podmínek měření a zpracování pomocí tradičních metod jen těžko kontrolují. Důsledná systematická kontrola geometrických parametrů stavby bude mít za následek, že zhotovitelé budou nuceni začít využívat 3D nivelaci stavebních strojů, která existuje již přes 15 let. Tímto se zvýší celková kvalita projektu dopravní infrastruktury, viz. kapitola 4. Celková vyšší kvalita projektu bude mít za následek vyšší kvalitu na prováděné dílo, mimo jiné na rovinatost vozovky. Rovinatost PK sníží míru zvukových emisí, což bude mít pozitivní dopad na životní prostředí. Dále bude mít pozitivní vliv na životnost komunikace. Toto vše se kladně odráží na celkové finanční stránce projektu, i když na první pohled jsou náklady na moderní metody měření vyšší než na klasické metody měření. Do přidané hodnoty by je jistě dalo započítat i nižší opotřebení vozidel či nehodovost kvůli rovinatosti a jízdnímu komfortu. Přidaná hodnota je aspekt, který není zprvu patrný, ale přináší projektu dopravní infrastruktury jako celku nejen finanční úspory.

4 Ostatní měření pomocí LS

Přínos komplexního využití moderních metod kontrolního měření a 3D přístupu obecně je možné dokázat na realizovaném projektu *Rekonstrukce vozovky v ulici 5. května v Praze* [16], která proběhla v období červenec až srpen roku 2012. Investorem projektu bylo hlavní město Praha v zastoupení Technické správy komunikací, hl. m. Prahy. Na projektu se v rámci 3D zaměřování pomocí laserového skeneru podílela geodetická firma Exact Control System a.s.. Jednalo se o projekt, jehož účelem bylo snížení hluku od projíždějících vozidel po PK. Docílení zlepšení hlukových poměrů mělo být dosaženo pomocí nové pojezdové vrstvy a celkové rovinatosti pozemní komunikace. Na této části pražské magistrály denně projede více než 45 tisíc vozidel v jednom směru, čemuž odpovídá i hluková zátěž. Z tohoto důvodu velké vytiženosti komunikace rekonstrukce probíhala tak, aby byly stále v provozu dva jízdní pruhy v každém směru. Díky jen částečnému omezení provozu na rekonstruované komunikaci bylo třeba věnovat zvláštní pozornost na dodržování BOZP. Plocha rekonstruované komunikace zaujímala celkem 105 874 čtverečních metrů.

Obrázek 35: Etapizace využití 3D přístupu

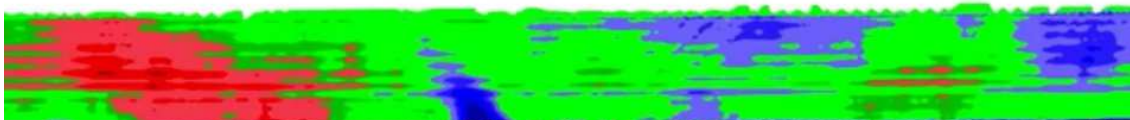


Zdroj: <https://vimeo.com/57438644>

Na obrázku 35 je celý proces rekonstrukce vozovky rozdělen do čtyř ucelených etap na 3D sběr dat, 3D projektování, automatizace výstavby a kontrola 3D kvality. Nejprve proběhlo první laserové skenování pro zjištění aktuálního stavu PK. Po provedení skenu, následném zpracování a vytvoření DMT byla vyhodnocena situace a na základě podkladů z laserového skenování vytvořen 3D projekt pro odfrézování stávajícího nevyhovujícího krytu asfaltové pozemní komunikace. Na rozdílovém plošném grafu (Obrázek 36) jsou zřejmé příčné a podélné nerovnosti na vozovce. Modrá barva představuje vyjeté koleje, červená naopak přebytek materiálu.

Obrázek 36: Ukázka rozdílového modelu před a po rekonstrukci

UKÁZKA ROZDÍLOVÉHO MODELU PŘED REKONSTRUKCÍ



UKÁZKA ROZDÍLOVÉHO MODELU PO REKONSTRUKCI



Zdroj: <https://vimeo.com/57438644>

Frézování je tradičně složitý manuální proces, který vyžaduje podrobné technické informace. Celková geometrická kvalita jednotlivých vrstev vozovky závisí na kvalitě a předávání těchto informací. Dosavadní manuální způsoby frézování mohou vést k chybám a větší nerovnosti vozovky, což přináší řadu pozdějších nákladů. Finanční náklady mohou být v podobě vyrovnávání jednotlivých konstrukčních vrstev a následně v nižší životnosti silničního díla v důsledku nedostatečné mocnosti jednotlivých konstrukčních vrstev. Projekt pro frézování byl vytvořen tak, aby byly co nejefektivněji odstraněny nerovnosti v podélném i příčném směru. Z rozdílového modelu mezi naskenovaným původním stavem vozovky před rekonstrukcí a následným projektem bylo zjištěno, že i přes centimetrovou toleranci rovinnosti je mimo 16% (viz Graf 2) plochy vozovky, které vychází výrazně nad projekt a 24% plochy vozovky, které vychází výrazně pod projekt. V centimetrové toleranci od projektu vychází pouze 60% plochy vozovky. 3D projekt neboli DMT je nahrán do 3D řídicí jednotky nivelačního systému frézovacího zařízení. Tento systém automaticky řídí výšku a příčný sklon frézovacího válce. Nad středem frézovacího válce je umístěno aktivní naváděcí zařízení, které automaticky určuje vzdálenost, vertikální a horizontální úhel od totální stanice pro synchronizaci s 3D projektem.

Graf 2: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem před rekonstrukcí



Zdroj: Autor

Po odfrézování vrstvy nežádoucího asfaltu bylo provedeno další laserové skenování pro kontrolu 3D kvality sejmutého povrchu. Díky přesnému odfrézování nežádoucích vrstev bylo zjištěno, že v centimetrové toleranci rovinnosti mezi projektem a stavem po odstranění nežádoucí povrchové vrstvy se nachází 98,4% (viz Graf 3) plochy povrchu rekonstruované vozovky. Mimo centimetrovou toleranci je 0,2% plochy vozovky, které vychází výrazně nad projekt a 1,4% plochy vozovky, které vychází výrazně pod projekt. Místa, která podle rozdílového grafu vycházela výrazně mimo projekt, byla extra sanována lokálním frézováním a následně doplněním žádoucího materiálu asfaltových vrstev do skladby vozovky. Na takto ošetřeném povrchu PK byla provedena pokládka asfaltového koberce a vrstvy VIAPHONE. Asfaltová směs VIAPHONE vyvinuta stavební skupinou EUROVIA CS byla navržena pro podstatné snížení hluku v obytných částech PK. Pokládá se v tloušťce dva až tři centimetry, splňuje veškeré požadavky pro obytné zóny a vyniká drenážními a protismykovými vlastnostmi a snížením hluku, který vzniká od pneumatik projíždějících vozidel.

Graf 3: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem po frézování vozovky



Zdroj: Autor

Na závěr byla provedena kontrola geometrické kvality vozovky po rekonstrukci opět pomocí laserového 3D skenování. Z rozdílového grafu v centimetrové toleranci rovinnosti mezi projektem a finálním stavem po rekonstrukci dané pozemní komunikace se nachází 99,6% (viz Graf 4) plochy povrchu rekonstruované vozovky. Mimo centimetrovou toleranci je pouze 0,4% plochy povrchu zrekonstruované PK v ulici 5. Května v Praze. Ukázka rozdílového modelu před a po rekonstrukci vozovky je pro představu zobrazena na Obrázku 36. Po provedené opravě vozovky byl zjištěn pokles zvukových emisí o 4 až 7 decibelů. Rozdíl rovinnosti PK v příčném i podélném směru před a po rekonstrukci v návaznosti na projekt je patrný z grafů 2 a 4. Rovinnost po rekonstrukci je na rozdíl od původního stavu o 39,6% vyšší a s projektem se v centimetrové toleranci liší pouze o 0,4%. Toto vyjadřuje vysokou účinnost moderních metod měření a 3D přístupu. Takováto rovinnost se velice významně podílí na potlačení hluku způsobeným přeježděním vozidly a jejich pneumatikami. Stejně tak PK bez podélných a příčných nerovností vykazuje delší životnost a nároky na opravy a údržbu. Toto vše se podílí na zdatelně vyšších pozdějších finančních úsporách.

Graf 4: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem po rekonstrukci



Zdroj: Autor

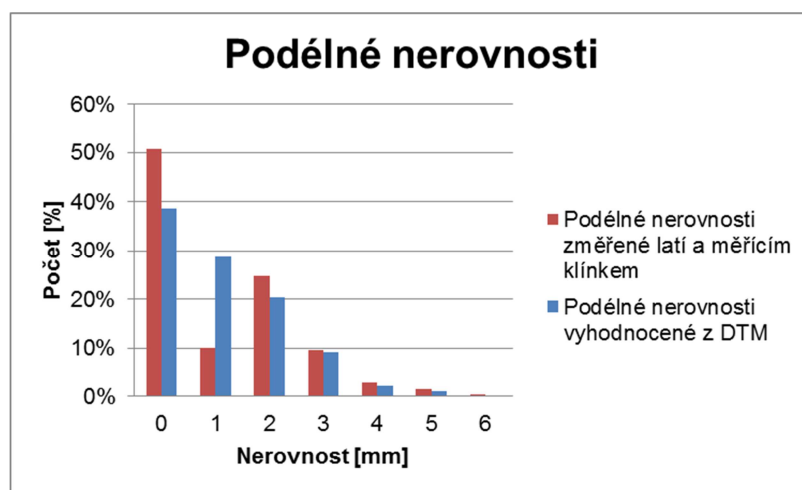
5 Vyhodnocení

V této kapitole je provedeno shrnutí porovnání tradičních a moderních metod geodetického kontrolního měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací z kapitol 3.2 a 3.3 a jejich následné vyhodnocení. Bylo provedeno srovnání výhod, nevýhod a následné vyhodnocení, pro zjištění kterou z variant měření je za daných podmínek výhodnější na projekt dopravní infrastruktury použít.

Výsledky měření z kapitol 3.3 a 3.4

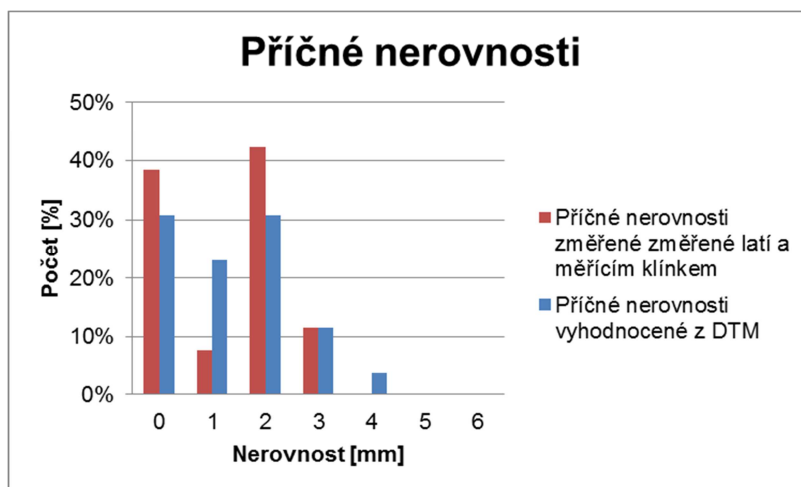
Na následujících Grafech 5 a 6 je vidět rozdílnost vyhodnocení naměřených výsledků u obou metod. Vyhodnocování nerovností z DMT je objektivnější varianta, tudíž je z grafů zřejmé, že u měření tradiční metodou vznikají odchylky. Tyto mohou mít vliv na konečné jízdní vlastnosti vozovky. Přesnou nivelací byl zjištěn mezinárodní index nerovnosti $IRI=0,87$. Vyhodnocením digitálního modelu terénu pořízeného laserovým skenováním byla zjištěna hodnota mezinárodního indexu nerovnosti $IRI=1,10$. Ze zjištěných mezinárodních indexů nerovnosti vyplývá, že podle měření tradičními metodami by jízdní komfort vozovky měl být vyšší než podle moderní metody laserového skenování. Výsledky tradičních metod se z hlediska nerovností zdají být přívětivější, než pravděpodobně ve skutečnosti jsou podle objektivnějšího měření laserovým skenerem a vyhodnocení z DMT.

Graf 5: Podélná nerovnost



Zdroj: Autor

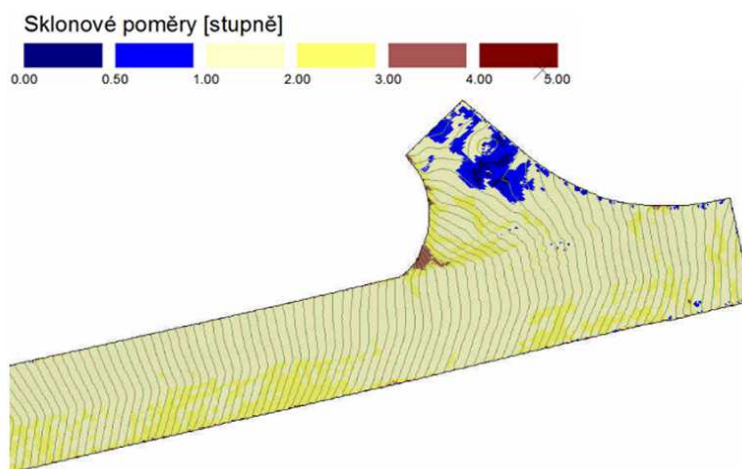
Graf 6: Příčná nerovnost



Zdroj: Autor

Výhodou moderní metody měření a následného počítačového vyhodnocování je mimo jiné například názorné vyjádření sklonových poměrů na plošném grafu komunikace. Na Obrázku 37 je možné sklonové poměry vidět na části výstupu z DMT u projektu Komořanská. Tyto poměry označené za odtokové jsou užitečným parametrem. S jejich pomocí lze na pozemní komunikaci určit místa, kde bude na povrchu zůstat dešťová voda, případně se tvořit nebezpečná námraza.

Obrázek 37: Sklonové poměry



Zdroj: <http://www.cesti.cz/wc14/02-02.pdf>

5.1 Metodika hodnocení

Pro hodnocení variant kontrolního měření tradičními a moderními metodami byla zvolena metoda *bodového ohodnocení s přiřazením vah* jednotlivým kritériím. Tato hodnotící metoda byla vytvořena a upravena podle hodnotících metod *manažerského rozhodování v excelu* vypracovaných jako podklad ke studiu pro předmět *Manažerská informatika pro pokročilé* na Vysoké škole Ekonomické v Praze. [17]

Hodnotícími kritérii byly díky diplomové práci zvoleny tyto: *Náklady na měření, Časová náročnost měření, Časová náročnost zpracování měření, Přesnost měřících pomůcek, Nepřesnosti ovlivněné lidským faktorem, Ověřitelnost informace, Garance přesnosti modelu, Bezpečnost při měření, Omezení provozu, Dostupnost měření, Přístup k metodám a Přidaná hodnota.*

Jednotlivým kritériím pro hodnocení tradičních a moderních metod kontrolního měření pozemních komunikací byly přiřazeny body od jedné do deseti, které reprezentují jejich váhu. Hodnotící kritérium s bodovou vahou deset je kritérium s největším významem. Naopak s nižším bodovým ohodnocením, tedy vahou, význam kritéria klesá. Vydělením jednotlivých vah kritérií celkovým součtem všech přiřazených bodů bylo dosaženo tzv. normovaných vah, jejichž součet je roven jedné. Následným bodovým ohodnocením od jedné do pěti byly očíslovány obě dvě metody kontrolního měření PK z pohledu všech kritérií. Bodové ohodnocení číslem pět vyjadřuje nejvíce kladné ohodnocení a považuje danou vlastnost vybrané metody měření za velkou výhodu. Naopak bodové ohodnocení číslem jedna poukazuje na nevýhodu. Číslo tři při přiřazování hodnot symbolizuje neutralitu, která není výhodou ani nevýhodou. Po ohodnocení jednotlivých hledisek jsou tyto body násobeny normovanými vahami. Z těchto výsledků je u obou způsobů geodetického měření provedena suma, na jejímž základě jsou obě metody kontrolního měření vyhodnoceny.

Přiřazení vah hodnotícím kritériím a bodové ohodnocení obou metod kontrolního měření bylo z důvodu rozsahu diplomové práce provedeno na základě expertního odhadu. Pro vyšší přesnost a vypovídající hodnotu by bylo vhodnější oslovit odbornou veřejnost, například formou dotazníků.

5.2 Shrnutí a hodnocení metod

Finanční stránka je pro vyhodnocování kritérium s největší vahou, jelikož pro investory projektů je tento aspekt při rozhodování ve většině případů na prvním místě. Aby byla váha tohoto aspektu při hodnocení dostatečně zdůrazněna, byla *Nákladům na měření* přidělena samostatná hodnotící kategorie A, která nese normovanou hodnotu rovnou jedné. Druhá kategorie s označením B také nese normovanou váhovou hodnotu rovnou jedné. Jsou v ní ovšem obsažena všechna ostatní kritéria hodnocení, jejichž výhody a nevýhody u daných metod měření je do celkového hodnocení třeba zahrnout. Ty se mohou také výrazně podílet na finanční stránce, ač to na první pohled není zřejmé. Tyto kategorie jsou pro získání celkového hodnocení v závěru sečteny a následně vyhodnoceny.

Náklady na měření

U jednotlivých měření z kapitol 3.3 a 3.4 vidno, že finanční náklady tradiční metody na konkrétním úseku PK projektu Komořanská byly 22 448 Kč. Náklady na měření moderní metodou laserového skenování byly spočteny na částku 35 640 Kč. Při porovnání těchto cen je zřejmé, že standardní metody vycházejí finančně o 38,6 % výhodněji než alternativní metoda laserové skenování.

Hodnotícímu kritériu s názvem *Náklady na měření* byla přiřazena nejvyšší možná váha, tedy 10. Jelikož je toho hodnotící kritérium v kategorii kritérií samo má normovaná váha hodnotu rovnou 1. Tradiční metody měření byly u tohoto kritéria ohodnoceny 5 body. Moderní metody měření byly ohodnoceny 3 body. Ohodnocení bylo provedeno na základě vypočítaného poměru u obou cen.

Časová náročnost

Z měření jednotlivých procesů v kapitole 3.3.1 je zřejmé, že časová náročnost kontrolního měření tradičními metodami je 13 hodin při měření a 7 hodin při jeho zpracování. Dohromady časová náročnost činí 20 hodin. Časová náročnost moderní metody měření prováděné laserovým skenerem

byla zjištěna výpočtem a činí 33 minut u měření, 8 hodin a 40 minut u jeho zpracování. Dohromady časová náročnost činí 9 hodin a 13 minut.

Hodnotící kritérium časové náročnosti je rozdělené na *Časovou náročnost měření* a *Časovou náročnost zpracování měření*. Hodnotícímu kritériu *Časová náročnost měření* byla přiřazena váha 8 bodů, jelikož je snahou kvůli případným dopravním omezením a pohybu na stavbě, aby měření netrvalo příliš dlouho. Tradiční metody měření byly u tohoto kritéria ohodnoceny 1 bodem, aby byl patrný rozdíl od moderní metody měření, která trvá významně kratší dobu a na tomto základě byla ohodnocena 5 body.

Hodnotící kritérium *Časová náročnost zpracování měření* nemá až tak vysoký význam, protože probíhá v kanceláři, byla tedy ohodnocena pouze 4 body. Tradiční metody měření byly ohodnoceny stejně jako moderní metody 3 body.

Přesnost měření

V přesnosti měření na základě směrodatných odchylek měřících přístrojů mají navrch klasické metody kontrolního měření. Směrodatná odchylka laserového skeneru je $\sigma \leq 3 \text{ mm}$, směrodatná odchylka přístroje při přesné nivelaci je $\sigma \leq 1,5 \text{ mm}$.

Kritériu pro hodnocení *Přesnost měřících pomůcek* byla přiřazena váha 6 bodů. Tradiční metody měření byly u tohoto kritéria ohodnoceny 4 body na rozdíl od moderních metod měření ohodnocených 3 body kvůli větší směrodatné odchylce přístrojů.

Naopak proti tradičním metodám měření hovoří fakt, že je velice snadné při nich udělat chybu způsobenou lidským faktorem naproti plně automatickému snímání povrchu okolí laserovým skenerem. Tomuto hodnotícímu kritériu *Nepřesnosti způsobené lidským faktorem* byla přiřazena váha 5 bodů. Tradiční metody měření byly obodovány 2 body kvůli vysokému riziku způsobení lidských chyb majících vliv na výslednou přesnost. Plně automatický proces moderní metody laserového skenování byl ohodnocen 5 body.

Objektivita informace

Objektivita informace je mnohem vyšší u moderní metody laserového skenování, z důvodu, že tato metoda je neselektivní. Tradiční metody jsou selektivního charakteru a místa měřených bodů velkou měrou ovlivňuje figurant.

Hodnotící kritérium *Objektivita informace* bylo pro svou důležitost ohodnoceno vahou 7 bodů. Méně objektivní kontrolní měření tradičními metodami bylo ohodnoceno 2 body. Jelikož o moderní metodě kontrolního měření je možné mluvit jako o objektivní metodě, byla jí přiřazena hodnota 5 bodů.

Ověřitelnost informace

Přesná místa měření a tím měřené body je zpětně u selektivních tradičních metod kontrolního měření téměř nemožné určit. Při zakrývání povrchu jinými vrstvami a provádění kontrolních vrtů například pro zjištění mocnosti jednotlivých vrstev vozovky je to ještě obtížnější a nese to s sebou další náklady. Ověřitelnost informace je tedy u tradičních metod nízká, jako výše zmíněná objektivita informace. U moderní metody laserového skenování je tomu díky možnosti i zpětné práce s digitálním modelem terénu přesně naopak.

Hodnotícímu kritériu *Ověřitelnost informace* byla přiřazena váha 6 bodů. Kontrolní měření povrchu PK pomocí tradičních metod bylo kvůli nízké možnosti ověřitelnosti informace ohodnoceno 2 body. Moderní metoda měření pomocí laserového skeneru byla kvůli možnostem i zpětného ověřování informací z digitálního modelu terénu ohodnocena 5 body.

Garance přesnosti modelu

Garance přesnosti modelu se odvíjí na počtu naměřených bodů, ze kterých se následně vyhodnocují nepřesnosti. Obecně při používání tradičních metod měření vzniká pouze nepatrné množství naměřených bodů, ze kterých se tvoří výsledný model komunikace. Na rozdíl od tradičních metod měření digitální model terénu tvořený pomocí laserového skeneru vzniká z řádově milionů zaměřených bodů o velké hustotě. Garance modelu u moderních metod kontrolního měření je několikrát vyšší než u tradičních metod kontrolního měření.

Hodnotícímu kritériu *Garance přesnosti modelu* byla přiřazena váha 7 bodů, jelikož tento aspekt může mít významný vliv na výsledky nerovností, které se tak mohou lišit od skutečného stavu. Tradičním metodám byly na základě poměrně nižší garance přesnosti modelu, na rozdíl od moderních metod, přiřazeny 2 body. Jelikož DMT vytvořené pomocí metody laserového skenování se téměř shodují s měřenými objekty, byly moderní metody kontrolního měření ohodnoceny 5 body.

Bezpečnost při měření

Kontrolní měření pozemních komunikací u obou metod se řídí pokyny BOZP. Objektivně lze ale říci, že díky omezení fyzického pohybu při měření metodou *stop and go* laserovým skenerem upevněným na automobilu, je tato moderní metoda kontrolního měření PK z hlediska bezpečnosti na vyšší úrovni než metoda kontrolního měření tradičními metodami.

Bezpečnost je u všech činností vždy na prvním místě, a proto hodnotícímu kritériu *Bezpečnost při měření* byla ve vyhodnocující tabulce přidělena váha 10 bodů. Tradičním metodám měření geometrické kvality pozemních komunikací byly přiděleny neutrální 3 body. Moderní metodě měření bylo kvůli omezení fyzického pohybu po PK při měření přiřazeno 5 bodů.

Omezení provozu

Tradiční metody měření geometrické kvality vrstev PK vyžadují pohyb geodetů přímo po místech, kde se nacházejí měřené body. U těchto metod, v případě nutnosti měření používané komunikace, je tedy třeba provoz na komunikaci buďto omezit nebo ji plně uzavřít. Moderní metoda *stop and go* pomocí laserového skeneru omezení provozu na měřené komunikaci nevyžaduje, jelikož se jedná o dálkové měření ze skenpozic, které nevyžadují umístění skeneru přímo na měřené vozovce.

Zařizování a následné *Omezení provozu* se může promítnout na finanční stránce projektu a tak tomuto hodnotícímu kritériu byla přiřazena váha 8 bodů. Nutnost pohybu po měřené vozovce při kontrolním měření tradičními metodami a s tím spojeným dopravním omezením zapříčinilo této metodě ohodnocení 1

bodem. Moderní metody kontrolního měření bez nutnosti omezování dopravy na měřené komunikaci byly ohodnoceny 5 body.

Dostupnost měření

Dostupnost zaměření jednotlivými metodami je rozdílné. Tradičními metodami může geometrickou kvalitu PK přeměřit téměř každá geodetická kancelář. K tomuto měření jsou potřeba pouze základní geodetické pomůcky a znalosti. U moderní metody zaměření pomocí laserového skeneru je situace dostupnosti složitější, protože rozšíření potřebných přístrojů je prozatím u geodetických firem v porovnání s tradičními pomůckami minimální.

Hodnotícímu kritériu s názvem *Dostupnost měření* byla přiřazena váha 5 bodů. Tradiční metody geodetického měření jsou velice dobře dostupné, byly tedy ohodnoceny počtem 5 bodů. Dostupnost moderních metod geodetického zaměřování je oproti tradičním metodám na nižší úrovni. Z tohoto důvodu jsou moderní metody ohodnoceny 3 body.

Přístup k metodám

Zejména starší generace pracovníků tíhne spíše k ověřenému a dlouhý čas používanému tradičnímu způsobu nejen kontrolního zaměřování geometrického stavu PK. Mladší pracovníci spíše tíhnou ke zkoušení nových progresivních metod.

Tomuto hodnotícímu kritériu *Přístup k metodám* byla přiřazena váha 3 bodů. Nepatrná bodová převaha byla udělena tradičním metodám oproti metodám moderním. Tradiční způsob měření byl obodován 4 body, moderní způsob 3 body.

Přidaná hodnota

Tento aspekt, použit v diplomové práci ve vyhodnocování, hraje sám o sobě velkou roli. U tradičních metod měření je přidaná hodnota nulová, ale u moderních metod měření laserovým skenerem je naopak vysoká, viz. kapitola 3.4.8. Přidaná hodnota u laserového skenování je zásadní v tom, že může mít vliv na finanční stránku celého projektu dopravní infrastruktury. Například na základě přesného měření a zobrazení mocnosti jednotlivých vrstev z DMT

nebudou mít zhotovitelé prostor pro neoprávněné fakturace, které se za běžných podmínek měření a zpracovávání pomocí tradičních metod jen těžko kontrolují. Právě v množství objemu použitých materiálů bývá podstatné množství finančních prostředků, a bez dostatečných podkladů s tímto množstvím může být lehce manipulováno.

Hodnotícímu kritériu s názvem *Přidaná hodnota* byla přiřazena nejvyšší možná váha 10 bodů. U nulové přidané hodnoty tradičních metod měření vozovek byl přidělen pouze 1 bod. Vysoká přidaná hodnota u moderního zaměřování pomocí laserového skeneru byla ohodnocena 5 body.

5.3 Vyhodnocení metod

Vyhodnocení metod tradičního a moderního měření geometrické kvality vrstev pozemní komunikace bylo provedeno na základě metody *bodového ohodnocení s přiřazením vah* jednotlivým kritériím. Podle důležitosti byla jednotlivá hodnotící kritéria vyplývající z diplomové práce rozdělena do dvou kategorií. V každé kategorii byla hodnotícím kritériím přiřazena váha s ohledem na jejich důležitost. U každého hodnotícího kritéria byly bodově ohodnoceny obě metody geodetického měření na základě jejich kladných či záporných vlastností k danému kritériu, s přihlédnutím k metodám navzájem. Poté byla váha kritéria vždy násobena bodovým ohodnocením tradiční nebo moderní metody geodetického měření, z čehož vzniklo bodové ohodnocení metod mající příslušnou váhu daného kritéria. Ohodnocení z obou kategorií kritérií byla sumarizována a tato bodová hodnota vyjádřila, kterou metodu měření s ohledem na všechna zjištěná kritéria je v případě projektu dopravní infrastruktury výhodnější použít.

Celková bodová hodnota u použití tradičních metod kontrolního měření podle Tabulky 18 a 19 byla spočtena 7,26 bodu. U moderní metody měření pomocí laserového skenování byla celková bodová hodnota spočtena na 7,54 bodu. Z těchto výsledků je patrné, že, ač malým rozdílem 0,28 bodu, podle této metodiky hodnocení **u výstavbových projektů dopravní infrastruktury je celkově výhodnější při geometrické kontrole kvality vrstev pozemní komunikace použít moderní metody geometrického měření – laserové skenování.**

V metodice hodnocení má velkou váhu kritérium finančních nákladů, jelikož pro investory je většinou zásadní. Hodnocení ovšem ukazuje, že laserové skenování má ve většině ostatních kritérií převahu a i přes vyšší náklady na měření je výhodnější tuto metodu použít. Tuto metodiku lze použít na jednotlivé konkrétní projekty dopravní infrastruktury zvláště a je možné vyjádřit různou důležitost hodnotících kritérií a důležitost výhod či nevýhod jednotlivých metod na základě konkrétních požadavků.

Tabulka 18:Vyhodnocení pomocí metody bodového ohodnocení s přiřazením vah, 1. část

Hodnotící Kritérium	Hodnoty, převaha		Bodové ohodnocení a váha kritérií	
	Tradiční metody	Moderní metody	Váha kritéria	Normovaná váha
Kategorie A				
Náklady na měření	22 448 Kč	35 640 Kč	10	1
Suma kategorie A			10	1
Kategorie B				
Časová náročnost	20 hodin	9,72 hodiny		
Měření	13 hodin	0,54 hodiny	8	0,101266
Zpracování	7 hodin	9,18 hodiny	4	0,050633
Přesnost měření				
Přesnost měřících pomůcek	$\sigma \leq 1,5$ mm	$\sigma \leq 3$ mm	6	0,075949
Nepřesnosti způsobené lidským faktorem	-	+	5	0,063291
Objektivita informace	-	+	7	0,088608
Ověřitelnost informace	-	+	6	0,075949
Garance přesnosti modelu	-	+	7	0,088608
Bezpečnost při měření	-	+	10	0,126582
Ostatní				
Omezení provozu	-	+	8	0,101266
Dostupnost měření	+	-	5	0,063291
Přístup k metodám	+	-	3	0,037975
Přidaná hodnota	-	+	10	0,126582
Suma kategorie B			79	1
SUMA A+B			89	2

Zdroj: Autor

Tabulka 19:Vyhodnocení pomocí metody *bodového ohodnocení s přiřazením vah*, 2. část

Hodnotící Kritérium	Bodové ohodnocení metod měření		Normovaná váha x Bodové ohodnocení	
	Tradiční metody	Moderní metody	Tradiční metody	Moderní metody
Kategorie A				
Náklady na měření	5	3	5	3
Suma kategorie A	5	3	5	3
Kategorie B				
Časová náročnost				
Měření	1	5	0,101266	0,506329
Zpracování	3	3	0,151899	0,151899
Přesnost měření				
Přesnost měřících pomůcek	4	3	0,303797	0,227848
Nepřesnosti způsobené lidským faktorem	2	5	0,126582	0,316456
Objektivita informace	2	5	0,177215	0,443038
Ověřitelnost informace	2	5	0,151899	0,379747
Garance přesnosti modelu	2	5	0,177215	0,443038
Bezpečnost při měření	3	5	0,379747	0,632911
Ostatní				
Omezení provozu	1	5	0,101266	0,506329
Dostupnost měření	5	3	0,316456	0,189873
Přístup k metodám	4	3	0,151899	0,113924
Přidaná hodnota	1	5	0,126582	0,632911
Suma kategorie B	30	52	2,265823	4,544304
SUMA A+B	35	55	7,265823	7,544304
		Rozdíl hodnot	0,278481	

Zdroj: Autor

6 Závěr

Česká republika má poměrně hustou silniční dopravní síť, na jejíž opravy, údržbu a realizaci nových staveb se váží podstatné finanční a materiálové zdroje. Téměř všechny pozemní komunikace jsou financovány z peněžních prostředků daňových poplatníků, což tomuto tématu přidává na významu a všeobecném zájmu všech občanů České republiky.

Pro rekonstrukce pozemních komunikací, ale i jejich novou výstavbu, jsou u projektů dopravní infrastruktury základem geodetické práce v podobě kontrolního měření geometrické kvality vrstev vozovky, jelikož mohou mít znatelný dopad na výsledné finanční náklady. Nároky na dopravu a životní prostředí stále narůstají, a proto je nutné inovovat a držet krok s dobou i v oblastech jako je kontrola kvality vrstev pozemních komunikací. Geodetická kontrola geometrické kvality vrstev má v projektech vliv na výslednou rovinatost, z čehož vyplývá i jízdní komfort, vliv na životní prostředí nebo životnost stavby. Snahou geometrické kontroly kvality jednotlivých vrstev pozemních komunikací je zajistit silniční komunikační síť na vysoké úrovni s přiměřenými a kontrolovatelnými finančními výdaji.

V diplomové práci byly analyzovány a z různých pohledů srovnávány metody kontrolního měření geometrické kvality vrstev pozemních komunikací. Cílem této analýzy a srovnávání bylo vyhodnotit, která metoda kontrolního měření bude celkově výhodnější pro použití při výstavbových projektech dopravní infrastruktury.

V teoretické části byly podrobně popsány jednotlivé možnosti geodetického měření použitelné pro kontrolní měření nerovností povrchu pozemních komunikací. V části praktické byli vybráni zástupci pro tradiční a moderní metody geodetického měření, jejichž použití bylo aplikováno na konkrétním projektu s názvem Komořanská. Jako zástupce tradičních metod pro měření podélných a příčných nerovností bylo vybráno měření pomocí duralových latí a měřícího klínku. Pro měření příčných sklonů a mezinárodního indexu nerovnosti IRI zástupce představovala přesná nivelace. Laserové skenování metodou *stop and go* bylo zástupcem pro moderní metody kontrolního měření všech nerovností. Srovnání obou metod kontrolního měření na konkrétním úseku pozemní komunikace a vyjádření výhod a nevýhod

jednotlivých způsobů měření bylo použito k celkovému vyhodnocení. Metodika celkového vyhodnocení metod kontrolního měření byla postavena na základě metody jednotlivým hodnotícím kritériím. V této metodice jsou zohledněny přínosy nebo negativa jednotlivých metod měření, tzn. metody nejsou hodnoceny pouze na základě finančních nákladů, které bývají pro investory často jediným měřítkem. Konečný výsledek na základě použitých kritérií s různou důležitostí poukázal, že pro výstavbové projekty dopravní infrastruktury je z globálního hlediska vhodnější použít moderní metody kontrolního měření, konkrétně v podobě laserového skenování. Moderní metody měření byly vyhodnoceny jako přijatelnější, i přestože standardní metody vycházejí finančně o 38,6 % výhodněji.

Z důvodu rozsahu práce bylo vyhodnocení metodou *bodového ohodnocení s přiřazením vah* provedeno na základě expertního odhadu. Pro vyšší přesnost a vypovídající hodnotu celkového vyhodnocení metod by bylo vhodnější oslovit odbornou veřejnost, což může být podnět pro případné další zpracování.

Metodika vyhodnocování je aplikovatelná na všechny výstavbové projekty dopravní infrastruktury. Do metodiky hodnocení je možné přidat hodnotící kritéria a přiřadit jim důležitost na základě projektů, kde jsou specifikovány konkrétní požadavky.

Použitá literatura

1. **Kudrna, Jan.** *Výzkum zaměřený na navrhování, stavbu a údržbu konstrukcí vozovek pozemních komunikací.* Brno : Vutia, 2009. ISBN 978-80-214-3908-5.
2. **Český statistický úřad.** *Stavebnictví - Metodika. Český statistický úřad.* [Online] Český statistický úřad, 16. 3 2015. [Citace: 23. 12 2015.] https://www.czso.cz/csu/czso/stavebnictvi_metodika.
3. **Kudrna, Jan a spol.** TP 87 - Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. *Politika jakosti pozemních komunikací.* [Online] 25. 2 2010. [Citace: 8. 12 2015.] <http://www.pjpk.cz/TP%2087.pdf>.
4. **Matějka, Tomáš.** Vliv povrchových vlastností vozovek na nehodovost. <http://www.consultest.cz/>. [Online] Consultest s.r.o. [Citace: 4. 1 2016.] <http://www.consultest.cz/vliv-povrchovych-vlastnosti-vozovek-na-nehodovost>.
5. **Besip, Ministerstvo dopravy.** Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011 - 2020. <http://www.ibesip.cz/>. [Online] 18. 12 2015. [Citace: 4. 1 2016.] <http://www.ibesip.cz/data/web/soubory/statistika/nsbsp-2011-2020/15-11-nsbsp.pdf>.
6. **Nekula, Leoš a Bedřichová, Dana.** *ČSN 73 6175 Měření a hodnocení nerovností povrchu vozovek.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. ISBN 859-09-63-84236-3.
7. **Pospíšil, Jiří.** *Současné trendy skenování ve stavebnictví a v příbuzných oborech.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03755-3.
8. **Pospíšil, Jiří a Štroner, Martin.** *STAVEBNÍ GEODEZIE. Doplnkové skriptum.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05718-6.

9. **Štroner, Martin a Kolektiv autorů.** *3D skenovací systémy.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
10. **Černý, Martin a Kolektiv autorů.** *BIM Příručka.* Praha : Odborná rada pro BIM o.s., 2013. ISBN 978-80-260-5296-8.
11. **Hánek, Pavel a Kolektiv autorů.** *STAVEBNÍ GEODEZIE.* Praha : České vysoké učení v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03707-2.
12. **RIEGL Laser Measurement Systems.** 3D Terrestrial Laser Scanner with Online Waveform Processing. <http://www.riegl.com/>. [Online] 19. 9 2014. [Citace: 28. 12 2015.]
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_VZ-400_2014-09-19.pdf.
13. **Hrazdil, Jiří.** *ČSN EN 60825: Bezpečnost záření laserových zařízení, klasifikace zařízení, požadavky a návod k používání.* Praha : Český normalizační institut, 1997. EAN 8590963217673.
14. **Yirka, Bob.** British police get 360 degree accident scene camera. <http://phys.org/news/2012-05-british-police-degree-accident-scene.html>. [Online] Phys.Org, 3. 5 2012. [Citace: 29. 12 2015.] <http://phys.org/news/2012-05-british-police-degree-accident-scene.html>.
15. **Kašpar, Milan.** *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví.* Hradec Králové : Vega, 2003. ISBN 80-900860-3-9.
16. **Eurovia CS, a.s.** *3D process in road reconstruction.* [Filmový dokument] Praha : Filmark, 2012. <https://vimeo.com/57438644>.
17. **Minarič, Matúš.** Systém pro výběr dodavatele výpočetní techniky v Excelu. <http://lorenc.info/>. [Online] Miroslav Lorenc, 28. 4 2010. [Citace: 4. 1 2016.] <http://lorenc.info/3MA481/rozhodovani-o-dodavateli-vt-v-excelu.htm>.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Specifikace kontrolních měření na projektu Komořanská	40
Tabulka 2: Časová náročnost kontroly podélné nerovnosti	41
Tabulka 3: Časová náročnost kontroly příčné nerovnosti	41
Tabulka 4: Časová náročnost kontroly příčných sklonů	41
Tabulka 5: Časová náročnost měření IRI	42
Tabulka 6: Celková časová náročnost měření tradičními metodami	42
Tabulka 7: Cena prací dle hodinového tarifu firmy GEODEZIEPP	43
Tabulka 8: Cena prací dle hodinového tarifu firmy ALCEDO	44
Tabulka 9: Průměrná cena prací dle hodinových tarifů	44
Tabulka 10: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy TESTSTAV	45
Tabulka 11: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy JKVTEST	45
Tabulka 12: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy PROGEKA	46
Tabulka 13: Cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony firmy PROFIGEO	46
Tabulka 14: Průměrná cena prací dle tarifů za jednotlivé úkony	47
Tabulka 15: Průměrná cena tradičních geodetických prací	47
Tabulka 16: Časová náročnost laserového skenování	57
Tabulka 17: Cena moderních metod měření	59
Tabulka 18: Vyhodnocení pomocí metody <i>bodového ohodnocení s přiřazením vah, 1. část</i>	78
Tabulka 19: Vyhodnocení pomocí metody <i>bodového ohodnocení s přiřazením vah, 2. část</i>	79

Seznam obrázků

Obrázek 1: Názvosloví z hlediska vlnové délky	13
Obrázek 2: Podélná nerovnost	14
Obrázek 3: Dvoumotový referenční odezvoový systém	15
Obrázek 4: Měřicí lať	19
Obrázek 5: Měřicí klínek	20
Obrázek 6: Postup měření podélné nerovnosti povrchu vozovky latí	20

Obrázek 7: Schéma planografu.....	22
Obrázek 8: Planograf	22
Obrázek 9: Viagram mechanického záznamu podélných nerovností	22
Obrázek 10: Geometrická nivelace ze středu.....	23
Obrázek 11: Profilometr Dipstick.....	25
Obrázek 12: Schéma měření profilometrem Dipstick	25
Obrázek 13: Rozdělení skenerů podle měřicího principu.....	27
Obrázek 14: Laserový skener Leica HDS 3000	28
Obrázek 15: Lasery umístěné na automobilu a na drezíně.....	28
Obrázek 16: Schematické znázornění prostorové polární metody	29
Obrázek 17: Základní výstup - 3D mračna bodů s detaily silnice a okolí	29
Obrázek 18: DMT - Po odstranění šumu z měření a nežádoucích naskenovaných objektů.....	30
Obrázek 19: Vstupní a výstupní údaje programu RIRI	31
Obrázek 20: Program RIRI a výstupový graf.....	31
Obrázek 21: Dvousnímková fotogrammetrie	33
Obrázek 22: Letecká fotogrammetrie	34
Obrázek 23: Fotogrammetrie pomocí dronu	34
Obrázek 24: Praha - Komořany, základní mapa	36
Obrázek 25: Část ulice Komořanská, základní mapa.....	37
Obrázek 26: Část ulice Komořanská, katastrální mapa + ortofoto mapa	37
Obrázek 27: Laserový skener RIEGL VZ400 s GPS anténou TRIMBLE	52
Obrázek 28: Vozidlo s laserovým skenerem zepředu	52
Obrázek 29 Vozidlo s laserovým skenerem zezadu.....	53
Obrázek 30: Měření kontrolních bodů	54
Obrázek 31: Instalace laserového skeneru na vozidlo	54
Obrázek 32: Schéma skenpozic při metodě <i>stop and go</i>	55
Obrázek 33: Průběh skenování.....	56
Obrázek 34: Bod bodového pole - nastřelovací hřeb	58
Obrázek 35: Etapizace využití 3D přístupu	64
Obrázek 36: Ukázka rozdílového modelu před a po rekonstrukci	65
Obrázek 37: Sklonové poměry	70

Seznam grafů

Graf 1: Stavební práce S v ČR.....	10
Graf 2: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem před rekonstrukcí ...	66
Graf 3: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem po frézování vozovky	67
Graf 4: Vyjádření rovinnosti mezi 3D projektem a stavem po rekonstrukcí	68
Graf 5: Podélná nerovnost	69
Graf 6: Příčná nerovnost	70