

# TECHNICKÁ ZPRÁVA

Akce: „Ověření nové technologie týkající se kompletního řetězce od projektování po strojní řízení při opravách silnic“

Název stavby:

**III-00716 Buštěhrad**

Objednatel:	Krajská správa a údržba silnic Středočeského kraje
Zhotovitel:	Exact Control System a.s.

Srpen - listopad , 2016

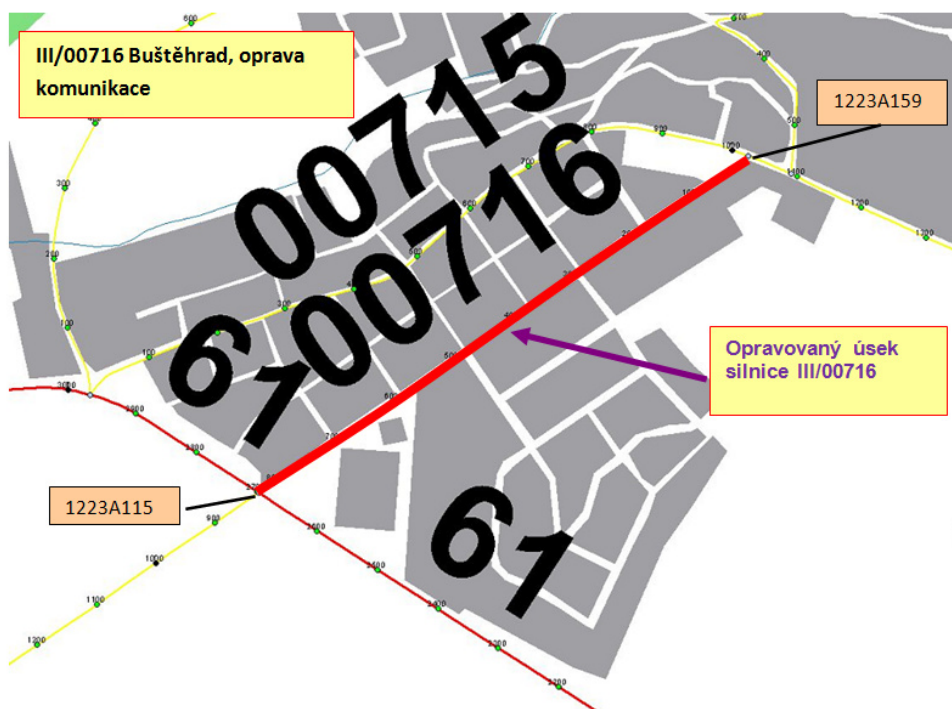
## Obsah:

1. Identifikační údaje .....	3
1.1 Lokalita .....	3
1.2 Údaje o zakázce .....	3
1.3 Objednatel .....	4
1.4 Zhotovitel .....	4
1.5 Vymezení zakázky .....	4
1.6 Časový harmonogram provedení: .....	5
1.7 Použité právní předpisy, technické normy a podklady .....	5
2. Měření .....	6
2.1 Bodové pole.....	6
2.2 Sběr dat .....	7
2.3 Identické body .....	8
3. Zpracování .....	8
3.1 Transformace.....	8
3.2 Klasifikace a Filtrace .....	9
3.3 Povinné spojnice .....	9
3.4 Model reality (digitální model terénu).....	9
3.5 Kontrola výškové přesnosti .....	9
3.6 Analýza modelu reality.....	10
4. Model stavby .....	11
4.1 Analýza modelu stavby .....	12
4.2 Rozdílový model terénu .....	13
4.3 Vytyčovací data a informační modely .....	14
5. Výkaz výměr .....	14
6. Tendrová data .....	15
7. Předávaná data .....	15
8. Závěr .....	15
9. Ověření výsledku .....	16

Tato technická zpráva popisuje průběh, použité technologie, pracovní postupy a výsledky projektu: „Ověření nové technologie týkající se kompletního řetězce od projektování po strojní řízení při opravách silnic“. Předmětem zakázky je dodání velmi přesných dat výškového základu stavby, digitálních dat reality, tendrových dat, digitálních dat stavby pro navigaci nivelace a vyhodnocení.

## 1. Identifikační údaje

### 1.1 Lokalita



Obrázek 1 Lokalita zakázky definovaná zadavatelem

Kraj:	Středočeský
Silnice:	III-00716 Buštěhrad
Délka staničení:	814.2m (průměrná šířka 6.8m)

### 1.2 Údaje o zakázce

Číslo zakázky:	1615-02S
Definovaný úkol:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Příprava - Geometrické modely, informační modely</li><li>2. Veřejná zakázka - Data, zabezpečené vytyčovací zařízení, informační systém</li><li>3. Výstavba - Ověřování nové technologie při realizaci silnic – příprava dat</li></ol>

Smlouva o dílo:	435/00066001/2016
Souřadnicový systém:	S-JTSK
Výškový systém:	Bpv

### 1.3 Objednatel

Název firmy:	Krajská správa a údržba silnic Středočeského kraje, příspěvková organizace
Adresa:	Zborovská 81/11, Praha 5, Smíchov PSČ: 150 00
IČ/DIČ:	IČ: 00066001/CZ00066001
Kontaktní osoba, tel.:	Ing. Zdeněk Dvořák

### 1.4 Zhotovitel

Název firmy:	Exact Control System, a.s.
Adresa:	Papírenská 113/3
IČ/DIČ:	27926613 / CZ27926613
Kontaktní osoba, tel.:	Ing. Lukáš Kutil, 775 787 037
Zaměřil:	Ing. Z. Čumpelík, Ing. F. Rauš, Ing. P. Douša, Ing. L. Kutil
Zpracoval:	Ing. P. Douša, Ing. F. Rauš
Ověřil:	Ing. Marek Přikryl, Ph. D.

### 1.5 Vymezení zakázky

#### Část A „Příprava - Geometrické modely, informační modely“

- Vybudování bodového pole
- Tvorba absolutně přesných geometrických modelů z měření laserovým skenováním, tzn. Měření konstrukčních vrstev silnice (s důrazem na vysokou výškovou přesnost, hustotu bodů a tvorbu 3D linií) původního povrchu komunikace - aktuální data
- Zpracování dat ze zaměření v různých variantách a způsobech
- Analýza dat za účelem hodnocení splnění požadavků norem na geometrické parametry pro provoz na pozemních komunikacích
- Návrh 3D modelů (optimalizace kubatur a re-profilace vrstev vozovky)
- Tvorba diferenciálního modelu s výškovými rozdíly v milimetrech
- Příprava vytyčovacích dat pro informační model (BIM) pro strojní řízení
- Informační modely (BIM) pro strojní řízení

#### Část B „Veřejná zakázka - Data, zabezpečené vytyčovací zařízení, informační systém“

- Data výškového základu pro provádění přesné realizace stavby (bodové pole)
- Data pro zadání prací přesným výkazem výměr (soupis prací) dle 44/4 písm. B) ZvZ
- Informační modely (BIM) pro strojní řízení v zabezpečeném vytyčovacím zařízení - licence 1 rok
- Podklady pro požadavky kvalifikace dle paragrafu 50 ZVZ
- Informační systém, datové uložení a provoz na předávání informačních modelů (BIM) -licence 1 rok

### Část C „Výstavba - Ověřování nové technologie při realizaci silnic“

- Přenos dat do zabezpečeného vytyčovacího zařízení

#### 1.6 Časový harmonogram provedení:

Částečné dodávky/ Dílčí zprávy a datum konečné dodávky.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tvorba bodového pole a zaměření identických bodů: 11. 10. 2016</li><li>• Laserové skenování: 13. 10. 2016</li><li>• Zpracování dat: 15. 10. 2016 – 30.10.2016</li></ul>

#### 1.7 Použité právní předpisy, technické normy a podklady

Zakázka byla realizována v souladu s následujícími právními předpisy a normami:

Právní předpisy, technické normy a podmínky objednatele
<ul style="list-style-type: none"><li>• Zákon č. 200/1994 Sb.</li><li>• Vyhláška č. 31/1995 Sb.</li><li>• ČSN 73 0212, ČSN 01 3410, ČSN 01 3411</li><li>• ČSN EN 13036-7</li></ul>
Podklady
<ul style="list-style-type: none"><li>• III-00716 Buštěhrad, oprava komunikace - TS.doc <i>Bude provedeno odfrézování původního asf. krytu v tl. do 60 mm (pro posouzení tl. frézování doporučujeme provést kopané sondy), provedení očištění, spojovací postřik, vyrovňávka a pokládka ABS v tl. 50 mm, provedení sanace konstrukčních vrstev tl.35cm. Výšková úprava inženýrských sítí.</i></li></ul>

## 2. Měření

Měření bylo rozděleno na zaměření bodového pole, sběr podrobných bodů metodou laserového skenování a zaměření identických bodů na povrchu asfaltové vrstvy pro výškové vyrovnání skenovaných bodů. Měření bylo naplánováno s prioritou bezpečnosti vzhledem k hustotě provozu a klimatickým podmínkám.



**Obrázek 2** Fotografie silnice v době měření

### 2.1 Bodové pole

Bodové pole bylo výškově připojeno na nivelační body: Bh813, Bh88 Polohové připojení řešeno pomocí měření GNSS v režimu RTK na síť VRS Now. Pro vyrovnání využito 10 zaměřených bodů.

Bodové pole bylo následně zaměřeno klasickou metodou a vyrovnáno jako vázaná síť.

Výškový uzávěr vetknutého nivelačního pořadu: 2 mm

Základní střední chyba m aposteriorní: 3 mm

Průměrná střední chyba vyrovnaných výšek: 1 mm

Průměrná střední chyba vyrovnaných měření: 1 mm

### Bodové pole

Bod	X [m]	Y [m]	Z [m]
5001	758848.498	1033848.973	353.282
5002	758765.865	1033789.333	351.804
5003	758681.012	1033732.704	350.406
5004	758607.494	1033681.091	349.155
5005	758535.210	1033631.395	348.128
5006	758446.986	1033571.881	347.035
5007	758361.134	1033522.743	346.761
5008	758283.777	1033471.515	346.188
5009	758198.517	1033411.909	344.251
5010	758149.163	1033373.662	342.945

Stabilizace bodového pole je udělaná nastřelovacími hřeby nebo železnými roxory.

## 2.2 Sběr dat

### Polohové a výškové připojení dat laserového skenování

Pro polohové a výškové připojení byl použit:

Stroj:	GNSS - Referenční stanice + rover Trimble SPS985
Seriové číslo:	Sn. 5519F99269

Polohové připojení měření laserového skenování bylo provedeno metodou RTK (Real time kinematic) s vlastní základnou připojenou na bodové pole. Data laserového skenování byla následně výškově zpřesněna na zaměřené identické body (viz. kapitola Identické body).

### Sběr dat metodou laserového skenování

K měření byl použit laserový skener:

Stroj:	Riegl VZ-400
Seriové číslo:	S9997705
Technická specifikace:	směrodatná odchylka v délce: 5 mm divergence paprsku: 0.3 mrad pracovní rozsah: 280 m při odrazivosti 20% rychlost měření: až 125 000 bodů/s

Podmínky měření	
Datum:	13.10. 2016
Počasí:	polojasno, teplota + 7°C



Počet stanovisek skenování:	27
Naměřených podrobných bodů:	cca 83 000 000

Sběr dat technologií laserového skenování je děleno na samostatné pracovní jednotky tzv. skenpozice, provedené z měřicího vozidla. Skenpozice byly rozmístěny po cca 30m. Rozlišení skeneru bylo voleno tak, aby plně vystihovalo povrch vozovky o poloměru 100m. Průměrná hustota měřených bodů byla větší než 2000 bodů na m<sup>2</sup>, body byly zaměřeny s relativní směrodatnou výškovou odchylkou jednoho bodu menší než 0.005m.

## 2.3 Identické body

Pro výškové zpřesnění byly využity tzv. identické body zaměřené na povrchu vozovky v zadané oblasti. Zaměření identických bodů bylo provedeno polární metodou totální stanicí připojenou na vytvořené bodové. Body byly rozmístěny po cca 15 - 20m na pravých stranách obou jízdních pruhů.

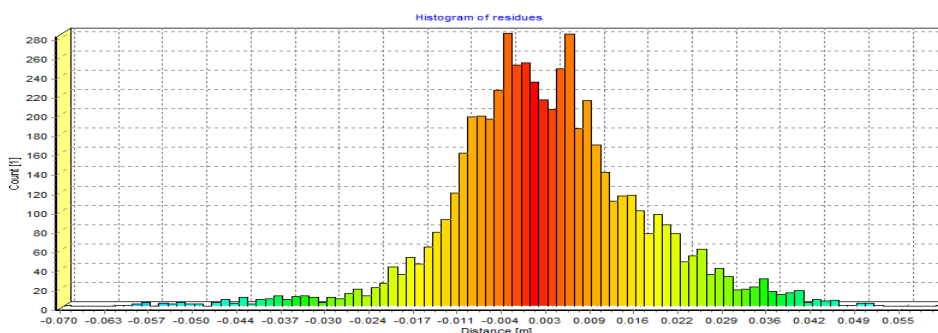
Stroj:	Totální stanice Leica TCRA 1203
Seriové číslo:	Sn. 620379

# 3. Zpracování

## 3.1 Transformace

Měřená data (mračna bodů) byla transformována do souřadnicového systému JTSK/Bpv, a následně vyrovnána korelačním procesem ICP (IterativeClosestPoint) pomocí modulu Multi Station Adjustment programu RiSCAN Pro.

Statistika přesnosti vyrovnání mračen bodů je vyjádřena v histogramu vyrovnání mračen bodů. Výsledná prostorová směrodatná odchylka vyrovnání mračen bodů spočtená z 5 564 elementů měření (27 skenpozic) je **0.015 m**. Výškově byla data dále zpřesněna pomocí identických bodů.



Obrázek 3 Histogram normálního rozdělení při polohovém vyrovnání



## Hodnoty jednotlivých transformačních parametrů:

Project: 161013\_Bustehrad  
Units: [m], [deg]  
File created: 2016-10-14 15:42:11

Error (StdDev) [m]: 0.0146  
Number of observations used for calculation:  
Tiepoints: 0  
Tieobjects: 0  
Polydata: 5564  
Scan pos.s: 0

Name, delta X, delta Y, delta Z, delta Roll, delta Pitch, delta Yaw, delta Scale,  
#, Remarks  
ScanPos001, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 653, Not registered  
ScanPos002, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 659, Position locked  
ScanPos003, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 610, Position locked  
ScanPos004, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 512, Position locked  
ScanPos005, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 320, Position locked  
ScanPos006, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 418, Position locked  
ScanPos007, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 383, Position locked

ScanPos008, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 402, Position locked  
ScanPos009, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 424, Position locked  
ScanPos010, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 274, Position locked  
ScanPos011, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 444, Position locked  
ScanPos012, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 526, Position locked  
ScanPos013, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 373, Position locked  
ScanPos014, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 387, Position locked  
ScanPos015, 0.000, 0.000, 0.000, 0.001, 0.000, 0.000, 0.0, 374, Position locked  
ScanPos016, 0.000, 0.000, 0.000, 0.001, 0.000, 0.000, 0.0, 281, Position locked  
ScanPos017, 0.000, 0.000, 0.000, 0.002, 0.000, 0.000, 0.0, 304, Position locked  
ScanPos018, 0.000, 0.000, 0.000, 0.002, -0.001, 0.000, 0.0, 436, Position locked  
ScanPos019, 0.000, 0.000, 0.000, 0.004, -0.001, 0.000, 0.0, 495, Position locked  
ScanPos020, 0.000, 0.000, 0.000, 0.002, -0.003, -0.001, 0.0, 353, Position locked  
ScanPos021, 0.000, 0.000, 0.000, 0.002, -0.003, -0.005, 0.0, 314, Position locked  
ScanPos022, 0.000, 0.000, 0.000, 0.004, 0.000, 0.005, 0.0, 415, Position locked  
ScanPos023, 0.000, 0.000, 0.000, 0.004, 0.000, 0.002, 0.0, 283, Position locked  
ScanPos024, 0.000, 0.000, 0.000, 0.002, 0.000, 0.000, 0.0, 359, Position locked  
ScanPos025, 0.000, 0.000, 0.000, 0.003, -0.001, -0.001, 0.0, 347, Position locked  
ScanPos026, 0.000, 0.000, 0.000, 0.003, 0.001, 0.000, 0.0, 276, Position locked  
ScanPos027, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.0, 506, Position locked

## 3.2 Klasifikace a Filtrace

Data byla následně automaticky očištěna od objektů, které nejsou předmětem měření (dopravní prostředky, budovy, vegetace apod.). Data byla klasifikována a nařazena (čtvercovou sítí se zachováním výškové přesnosti) pro potřeby modelování - Asfalt (1 bod na čtverec o délce 0.20m).

## 3.3 Povinné spojnice

Povinné spojnice hrany vozovky a chodníků byly vytvořeny vektorizací mračen bodů, linie byly následně zhuštěny v kroku 0.2 m na model asfaltu. Tyto spojnice jsou předány společně s klasifikovanými body ve formátu vektorové kresby dwg souboru.

## 3.4 Model reality (digitální model terénu)

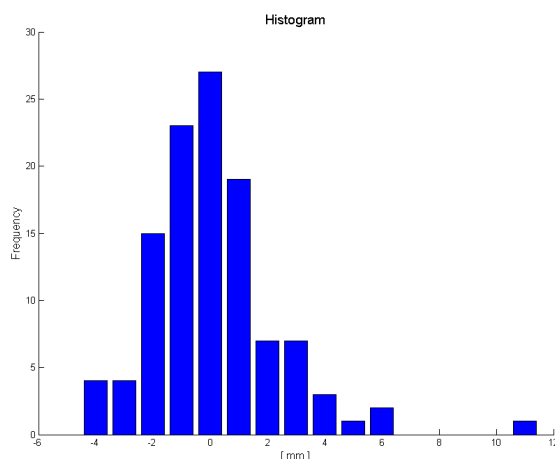
Z výstupních bodů a povinných hran se vytvořil model reality původního povrchu vozovky ve variantě bodové (ASCII), vektorové a rastrové, tak aby byl využitelný v co nejširší možnosti softwarů a aplikací.

Takto upravená výstupní data lze použít pro další zpracování v běžně užívaných programech AutoCAD, AutoCAD Civil, Microstation, TopoCAD, RoadPAC, Atlas atd. Transformace měřených dat (mračen bodů), čištění, klasifikace, filtrace a vektorizace byly provedeny v softwarech RiSCAN Pro 2.0 a Atlas LTD 1.6.

## 3.5 Kontrola výškové přesnosti

Kontrola výškové přesnosti byla provedena na základě vytvořeného modelu reality z dat laserového skenování a kontrolních bodů (identických bodů). Ke každému kontrolnímu bodu byla přiřazena výška z modelu reality. Z porovnání výšek kontrolních bodů a výšek přiřazených z DMT (model reality) byla vypočítána výsledná výšková směrodatná odchylka:

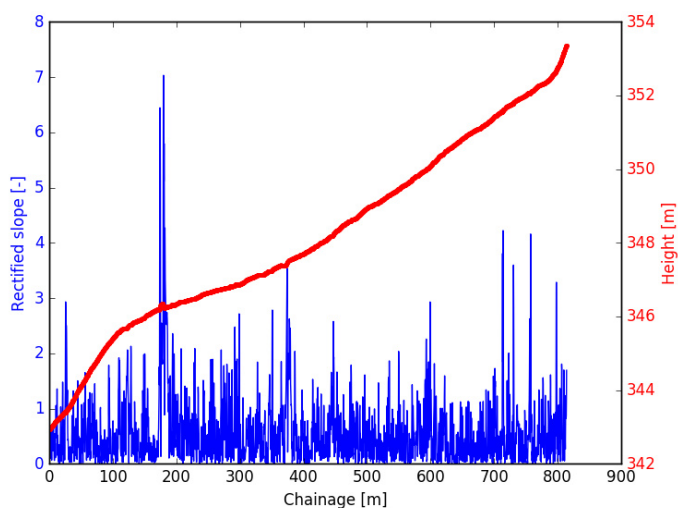
Směrodatná odchylka je **2 mm**. Pro výpočet bylo použito 113 kontrolních bodů, rozložení odchylek vyjadřuje histogram:



Obrázek 4 Histogram normálního rozdělení výšková přesnost

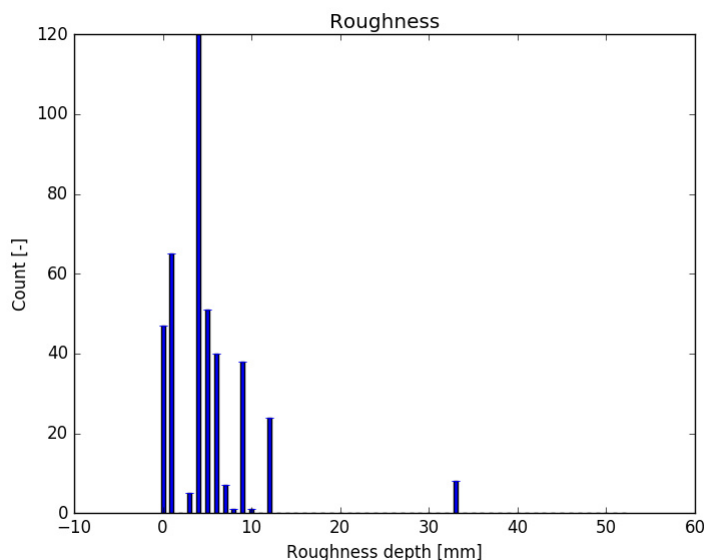
### 3.6 Analýza modelu reality

- Na digitálním modelu reality byla provedena analýza nerovnosti a vyhodnocení parametrů IRI (International Roughness Index). Hodnota mezinárodního indexu nerovnosti IRI původního povrchu vozovky je 0.61



Obrázek 5 Průběh IRI modelu reality původního povrchu vzhledem k staničení

- Na digitálním modelu reality byla provedena analýza nerovnosti simulující měření standardně lať dle ČSN EN 13036-7, předepsaná lať délky 4 m. Průměrná hodnota nerovnosti původního povrchu vozovky je 6mm.



**Obrázek 6** Hodnoty nerovnosti modelu reality původního povrchu při 4m lati

## 4. Model stavby

Pomocí modelu reality a dodané projektové dokumentace se vytvořil 3D re-profilovaný model vozovky (3D model stavby) s důrazem na parametry IRI, odvodnění povrchu komunikace (včetně zastávek) a podélné a příčné nerovnosti.

3D model stavby by vytvořen s důrazem na následující kvalitativní prvky pozemní komunikace:

- International Roughness Index (IRI)

IRI je mezinárodně uznávaným parametrem vyjadřujícím jízdní kvalitu povrchu komunikace.

- Odvodnění povrchu pozemní komunikace

Nový 3D model stavby je navržen tak, aby byl zajištěn odvod srážkové vody z povrchu komunikací. Účelem je především zabránit vzniku ploch se stojící vodou ("kaluží") a namrzání povrchu vozovky. Zajištěním vhodného odvodnění povrchu komunikace se také prodlužuje životnost konstrukce vozovky.

- Podélné a příčné nerovnosti.

Navrženou reprofilací se zlepšuje stavebně technický stav komunikace. S výhodou lze pak použít 3D model stavby pro řízené stavební stroje a docílit tak snížení podélných nerovností.

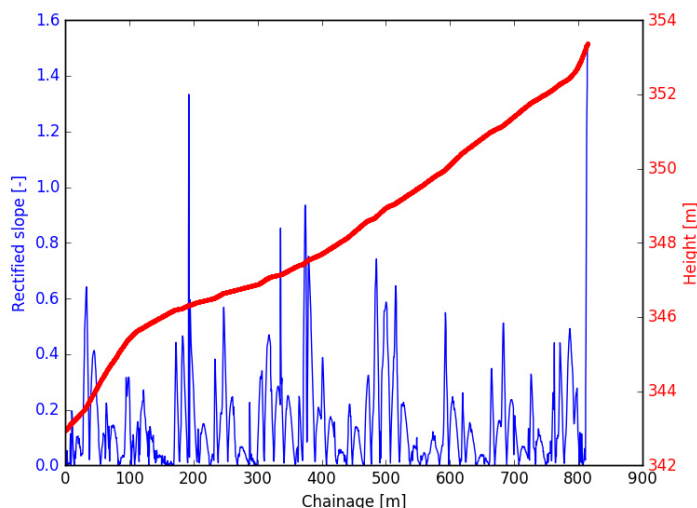
V souhrnu lze zmínit, že navržený 3D model stavby má nesrovnatelně vyšší kvalitativní parametry, ve srovnání s provedením rekonstrukce bez optimalizace výškového řešení a reprofilace příčných sklonů. Umožňuje taktéž zajištění normových požadavků na výsledné stavební dílo dle platných TP, TKP, CSN, CSN EN a souvisejících předpisů.

Takto upravená výstupní data lze použít pro další zpracování v běžně užívaných programech AutoCAD, AutoCAD Civil, Microstation, TopoCAD, RoadPAC, Atlas a také importovat do koncových zařízení dálkově řízených nivelovaných fréz.

Zpracování modelu stavby bylo provedeno v softwaru AutoCAD Civil, Atlas LTD 1.6., RIRI.

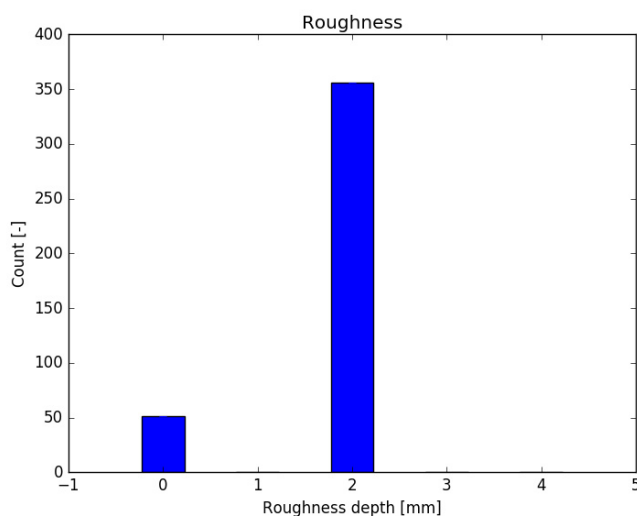
## 4.1 Analýza modelu stavby

- Na digitálním modelu stavby byla provedena analýza nerovnosti a vyhodnocení parametrů IRI. Hodnota mezinárodního indexu nerovnosti IRI původního povrchu vozovky je 0.15



Obrázek 7 Průběh IRI modelu stavby vzhledem k staničení

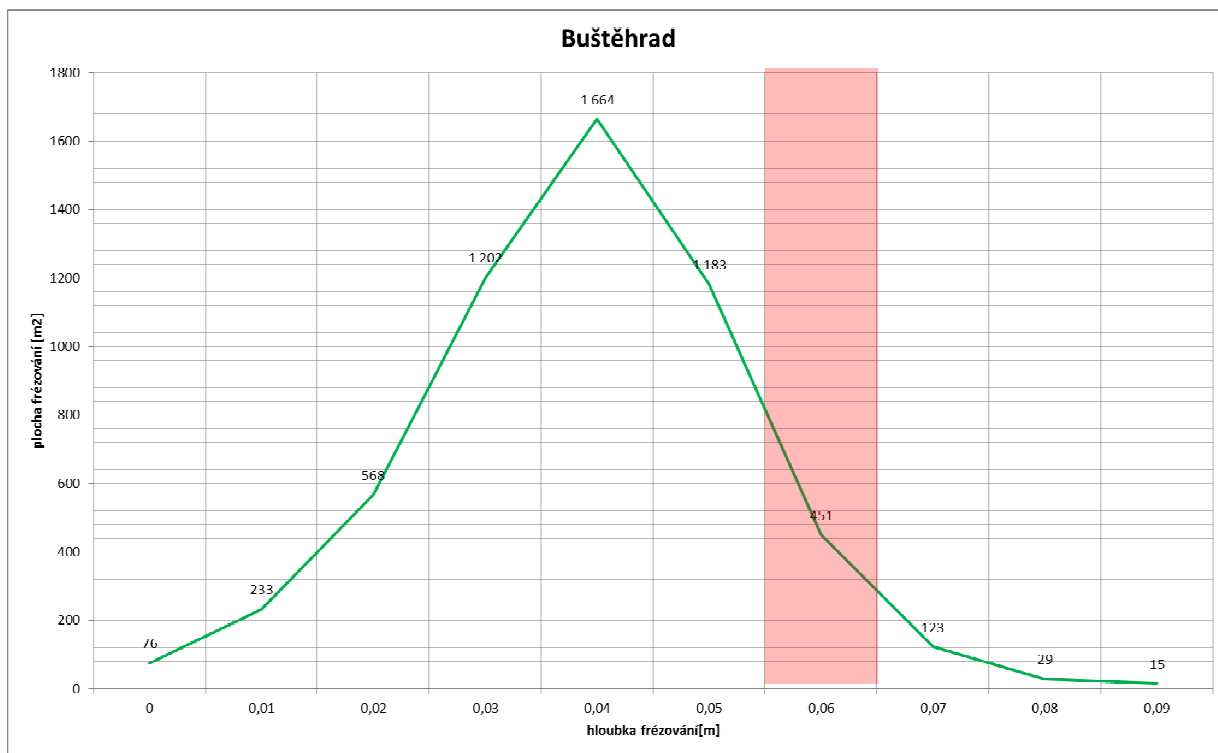
- Na digitálním modelu stavby byla provedena analýza nerovnosti simulující měření standardně latí dle ČSN EN 13036-7, předepsaná lať délky 4 m. Průměrná hodnota nerovnosti původního povrchu vozovky je 0 mm.



Obrázek 8 Hodnoty nerovnosti modelu stavby při 4m lati

## 4.2 Rozdílový model terénu

Model reality byl porovnán s 3D modelem stavby. Porovnáním vznikl rozdílový digitální model s barevnou hypsometrií odchylek a histogram tlouštěk frézování.



Obrázek 9 Histogram tlouštěk frézování s vyznačenou oblastí

Na základě porovnání modelu reality a modelu stavby lze vyhodnotit zlepšení geometrických parametrů komunikace re-profilací. Teoretická projektovaná hodnota frézování byla 60 mm.

V této hodnotě  $\pm 10\%$  (tedy  $\pm 12\text{mm}$ ) bude frézováno 17% stavby. Navržením geometrie komunikace ve formě ideálního modelu stavby bylo tedy zlepšeno (re-profilováno) 83% plochy komunikace.

### 4.3 Vytyčovací data a informační modely

Z modelu reality a modelu stavby byly vypočítány hodnoty hloubky frézování v ose komunikace a nové příčné sklony na obě strany vozovky. Dokument obsahuje následující data:

- CB – číslo bodu – body generovány v hustotě dle změny mocnosti frézování a změny příčných sklonů
- Staničení – odpovídá modelu stavby z projektové dokumentace
- L% - příčný sklon silnice vlevo od osy komunikace ve směru staničení
- P% - příčný sklon silnice vpravo od osy komunikace ve směru staničení
- Délka – vzdálenost mezi body CB na ose komunikace
- dZ – hloubka frézování v bodě CB na ose komunikace
- Osa vytyčení XYZ – souřadnice bodů CB v S-JTSK

Následující hodnoty lze využít jako informační model stavby v mobilní aplikaci umožňující přímo v terénu zobrazení dat v kombinaci s polohou, nebo se dají hodnoty přímo vysprejovat na vozovku komunikace.

## 5. Výkaz výměr

<b>Objem frézování:</b>		
Plocha rekonstrukce vozovky	5 544	m <sup>2</sup>
Teoretická projektovaná tloušťka frézování	0,060	m
<b>Kubatura vypočtená pomocí teoretické tloušťky frézování</b>	<b>333</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Kubatura vypočtená pomocí rozdílu modelu reality a modelu stavby</b>	<b>242</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Průměrná tloušťka frézování	0,044	m
<i>Rozdíl</i>	<b>-90,6</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
	<b>-37</b>	<b>%</b>
<b>Objem pokládky asfaltových vrstev:</b>		
<b>Kubatura pokládka vrstvy krytu ABS 50 mm</b>	<b>277</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

## 6. Tendrová data

Na základě 3D modelu stavby a 3D modelu reality byly vytvořeny tendrová data: Modely pro poklopy a uliční povrchové znaky (počet poklopů a povrchových znaků pro daný úsek, návrhy vertikálních posunů poklopu, napojení na okolní situaci). Modely zastávek a odtoky vody ze zastávek. Příprava vytyčovacích dat pro informační modely pro strojní řízení (tabulkové údaje - sprejování). Soubor pro označení průběhu a polohy požadovaných prací finišerem. Data pro výkaz výměr.

## 7. Předávaná data

Jako výsledek projektu byly objednateli předány následující výstupy:

- 01-MR\
- 02-MS\
- 03-RDMT\
- 04-Prické rezy\
- 05-3D-povinné spojnice\
- 06-TZ\
- 07-Výkaz výměr parametry rovinatosti\
- 08-Bodové\_pole\
- 09-projektová dokumentace\
- 10-Data pro Navigaci\

## 8. Závěr

Požadovaný úsek byl zaměřen pomocí technologie laserového skenování Exact Topografie. Měření proběhlo ve 2 etapách (zaměření bodového pole + zaměření identických bodů a laserové skenování). Z naměřených dat byl vytvořen digitální model reality, model stavby a všechny požadované podklady dle smlouvy o dílo. **3D model stavby byl vymodelován tak že uspoří 37% procent frézovaného materiálu, zlepší parametry IRI z 0,61 na 0,15 a re-profiluje vozovku na 83% plochy komunikace.** (Frézování se pohybuje v extrému od 0cm (nulové frézování) až 10cm oproti konstantnímu frézování 6cm.) K takovému zlepšení geometrie komunikace by stěží mohlo dojít v průběhu výstavby nebo jen za cenu časových zdržení a vyšších nákladů.



## 9. Ověření výsledku

Výsledek práce ověřil úředně oprávněný zeměměřický inženýr Marek Přikryl zapsaný v seznamu fyzických osob ČÚZK pod číslem 2431/08.

Náležitostmi a přesností odpovídá právním předpisům a podmínkám dohodnutým s objednatelem.

V Praze dne .....

Číslo ověření:

Ing. Marek Přikryl, Ph.D.