

Příloha I. Vozovka – oprava komunikace

Název:

Zaměření a zpracování 3D dat pro opravu komunikace

- A.** Podklad pro přesný popis práce a bilanci množství materiálů
- B.** Podklad pro zjednodušení a zpřesnění přebírání zakázky a objektivní kontrolu nákladů

Lokalizace:

Praha

Datum provedení:

14. 5. 2014 – 9. 6. 2014

Provedl:

Control System International a.s.

Stručný popis:

Průběžné měření metodou laserového skenování před zahájením [část A] a v průběhu realizace opravy komunikace [část B] pro určení kvantitativních parametrů a kontroly geometrických parametrů provedených stavebních prací a zajištění podkladů pro dokladování plnění smluvních podmínek vůči investorovi ve věcech geometrické kvality, výškové polohy, odtokových poměrů a množství provedených prací.

1 Důvod provedení měření

Měření bylo provedeno na základě objednávky od zhotovitele rekonstrukce a požadavku investora dokladování plnění smluvních podmínek vůči investorovi ve věcech geometrické kvality (mezní hodnoty tloušťky asfaltové vrstvy) a množství provedených prací. Zhotovitel předpokládal využít pro frézování systém nivelace frézy, kdy je nezbytné pro tuto metodu vytvořit 3D projekt frézování. Zhotovitel z toho důvodu požadoval pro tvorbu projektu digitální model terénu původního povrchu komunikace s důrazem na vysokou výškovou přesnost, hustotu bodů a tvorbu 3D linií. Pro kontrolu dodržení geometrických parametrů nově položených vrstev bylo zhotovitelem požadováno dodání také přesného digitálního modelu po frézování a po položení obrusné vrstvy.

2 Sledovaný úsek vozovky

Lokalizace: Praha

Délka hlavní trasy: 1 170 m (2 pruhová komunikace)

Mostní objekty: 1



Obr. 1: Praha (zdroj: mapy.cz)

3 Provedení měření

3.1 Popis metody/zařízení

Měření bylo provedeno pomocí laserového skenování metodou stop&go. Laserový skener značky Riegl VZ-400 byl umístěn na vozidle, pro urychlení přejezdů mezi měřicími stanovišti (tzv. skenpozicemi). Jednotlivé skenpozice byly měřeny po 20 - 30 m. Poloha skeneru byla měřena pomocí metody GNSS (globální navigační družicový systém) s referenční stanicí značky Trimble 5800. Pro zajištění vyšší výškové přesnosti měření se výškové připojení provedlo za pomoci identických bodů na povrchu vozovky. Tyto identické body na povrchu byly zaměřeny trigonometricky totální stanicí Leica 1103 TCR z vytyčovací sítě stavby, která byla dodána objednatel. Základním výstupem laserového skenování je mračno bodů. Následným zpracováním mračna bodů a dalších měření se vytvořil základní výstup - digitální model terénu konkrétní vrstvy-. Digitální model terénu představuje digitální reprezentaci průběhu skutečné topografické plochy terénu na základě měřených dat. Reliéf terénu je v tomto případě bez jakéhokoliv pokryvu (stromy, budovy, mosty apod.), a je základním podkladem pro kontrolu geometrických parametrů a výpočtu kubatur.

Stop&go způsob laserového skenování se používá především na stavbách (novostavby a rekonstrukce silnic), kde je kladen vysoký požadavek na přesnost (hlavně výškovou). Výsledná polohová přesnost digitálního modelu terénu odpovídá přesnosti GNSS měření, tedy směrodatná odchylka v poloze 2cm. Výsledná výšková přesnost digitálního modelu terénu je zpřesněna pomocí identických bodů pro dosažení výškové směrodatné odchylky 2 mm – 5mm.

Základním výsledkem měření je tedy digitální model terénu s garantovanou výškovou přesností povrchu charakterizovanou výškovou směrodatnou odchylkou od 2mm do 5mm vzhledem k bodovému poli stavby.

Měřicí zařízení laserového systému stop&go tvoří následující součásti:

- Laserový skener Riegl VZ-400
 - směrodatná odchylka v délce: 5 mm
 - divergence paprsku: 0.3 mrad

- pracovní rozsah: 280 m při odrazivosti 20%
- rychlost měření: 125 000 bodů/s.
- Přijímač GNSS Trimble 5800
 - sestava referenční stanice a roveru
- Totální stanice Leica 1103 TCR
- Vozidlo



Obr. 2: Stop&go laser scanning Riegl VZ-400 (zdroj: Control System – ilustrační snímek)

3.2 Popis postupu měření

3.2.1 Etapy měření

Měření na stavbě se provádělo na těchto jednotlivých vrstvách v celém rozsahu stavby:

- původní terén - 14.5. 2014
- po frézování 1/2 směr Chodov- 27.5. 2014
- po frézování 2/2 směr Vídeňská - 3.6. 2014
- po asfaltování obrusné vrstvy - 9.6. 2014



Obr. 3: Rekonstrukce vozovky (zdroj: Control System)

3.2.2 Bodové pole

Všechna měření jsou polohově i výškově připojena na souřadnice bodů bodového pole stavby. Na tyto body je připojena referenční stanice pro GNSS měření, a také veškerá výšková připojovací měření pomocí totální stanice.

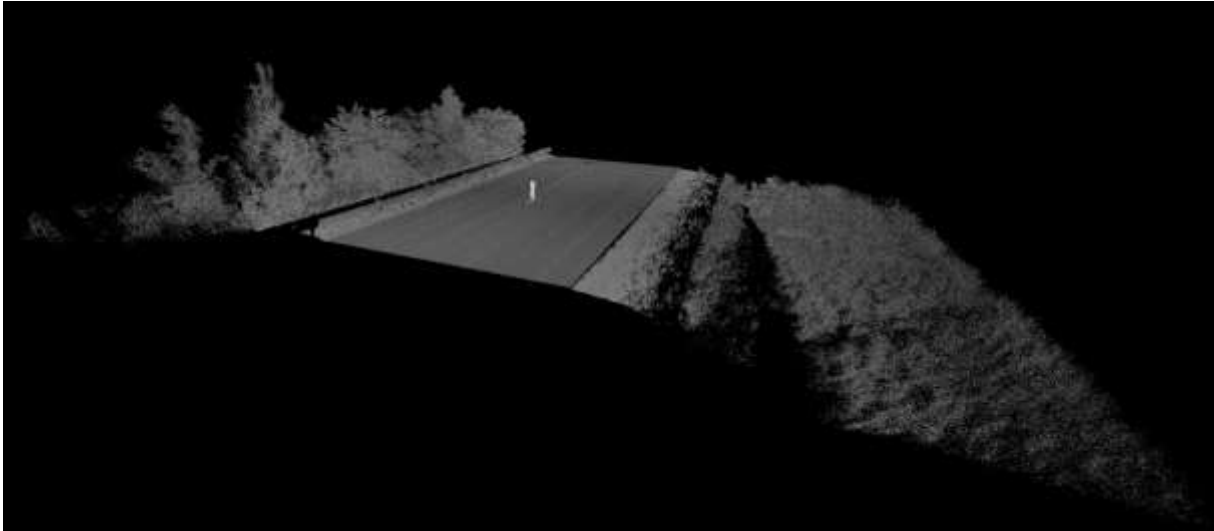
3.2.3 Měření

Celý úsek stavby 1,17km se zaměřil z 27-45 skenpozic. Doba měření byla vždy 3-5 hodin.

3.2.4 Zpracování naměřených dat

- Transformace

Měřená data (mračna bodů) byla transformována do souřadnicového systému JTSK/Bpv, a následně vyrovnána.



Obr. 4: Mračno bodů stop&go laserové skenování (zdroj: Control System)

- Statistika přesnosti vyrovnání

Statistika přesnosti vzájemného vyrovnání mračen bodů je vyjádřena histogramem. Výsledná prostorová směrodatná odchylka vyrovnání mračen bodů nepřekročila 0,02 m. Výškově byla data dále zpřesněna pomocí identických bodů na povrchu.

- Klasifikace a Filtrace

Data byla následně automaticky očištěna od objektů, které nejsou předmětem měření (dopravní prostředky, dopravní značení, apod.) a klasifikována do jednotlivých kategorií.

- Výškové vyrovnání

Data následně výškově vyrovnána na zaměřené identické body na povrchu. Směrodatná odchylka při vlícování jednotlivých skenpozic na vlícovací body nepřekročila 0,005m. Každá skenpozice byla vyrovnána v průměru na 25 bodů.

- Povinné spojnice

Povinné spojnice hrany vozovky byly vytvořeny vektorizací mračen bodů, linie byly následně zhuštěny v kroku 0,2m. Tyto spojnice byly součástí digitálního modelu terénu. U původního terénu byly také vytvořeny linie těch prvků, které jsou vhodné pro tvorbu projektu.

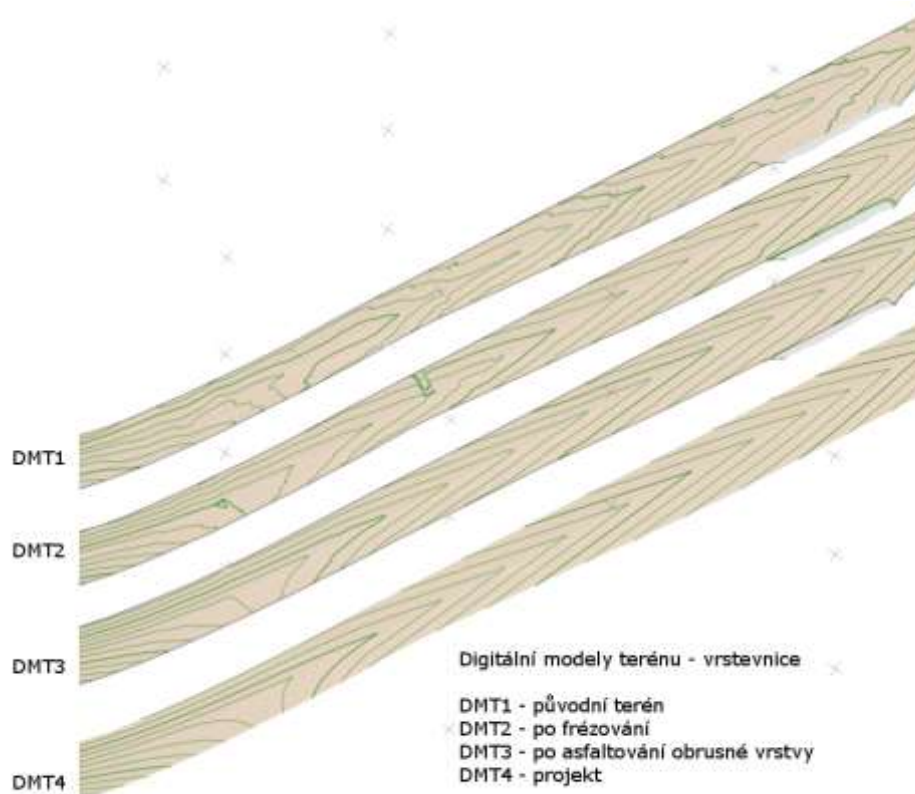
Takto upravená výstupní data lze použít pro další zpracování v běžně užívaných programech AutoCAD, AutoCAD Civil, Microstation, TopoCAD, RoadPAC, Atlas atd.

Transformace měřených dat (mračen bodů), čištění, klasifikace, filtrace a vektorizace byly provedeny v softwarech RiSCAN Pro 1.7.5. a Atlas LTD 1.6.

4 Výstupy měření

4.1 Digitální model terénu

Z výstupních bodů a povinných hran ze zpracování mračen bodů se vytvořily digitální modely terénu (trojúhelníková síť – délka strany trojúhelníka cca 20cm) jednotlivých vrstev s požadovanou přesností $\sigma_{z \max} = 0.003\text{m}$.



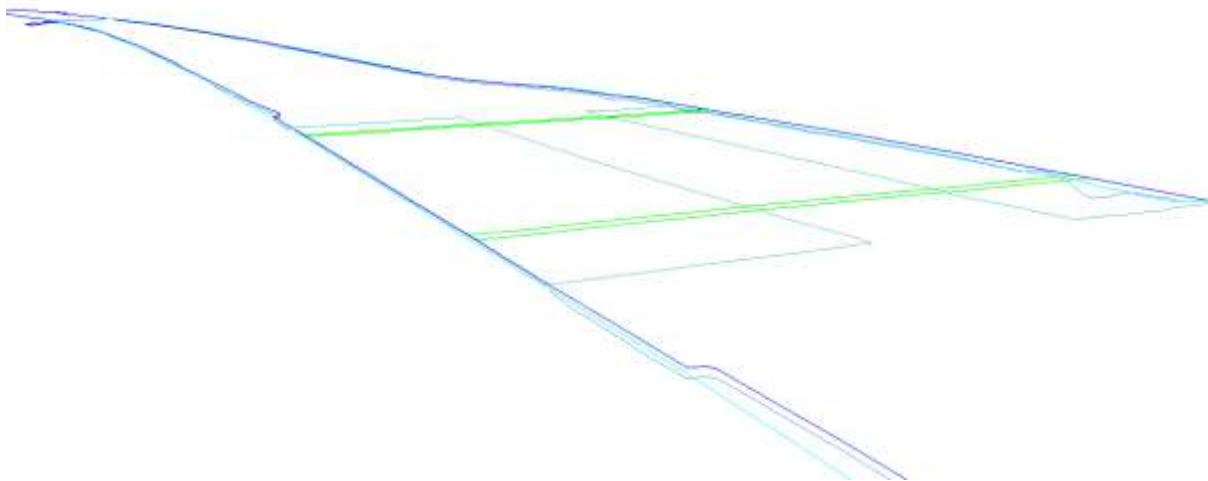
Obr. 5: Digitální modely terénu vrstev komunikace a digitální model projektu (zdroj: Control System)

Z obrázku je patrné, že původní terén zobrazený neuspořádanými a rozvlněnými vrstevnicemi vykazuje podélné a příčné nerovnosti, vyjeté koleje nerovnoměrné sklony. Oproti tomu DMT po frézování i po asfaltování jsou již bez nerovností přibližující se ideálnímu stavu projektu.

4.2.3D linie – podklad pro projekt

Na základě vektorizace mračen bodů se vytvořily povinné spojnice neboli 3D linie prvků vhodných pro tvorbu digitálního modelu projektu. Jsou to zejména:

- Rozhraní vozovky – asfalt – krajnice
- Rozhraní zpevněných a nezpevněných ploch
- Obrubníky – horní hrana
- Prvky ve vozovce – kanalizační vpustě, poklopy, šoupata, uzávěry
- Mostní závěry
- Hrany mostovky
- Atd...

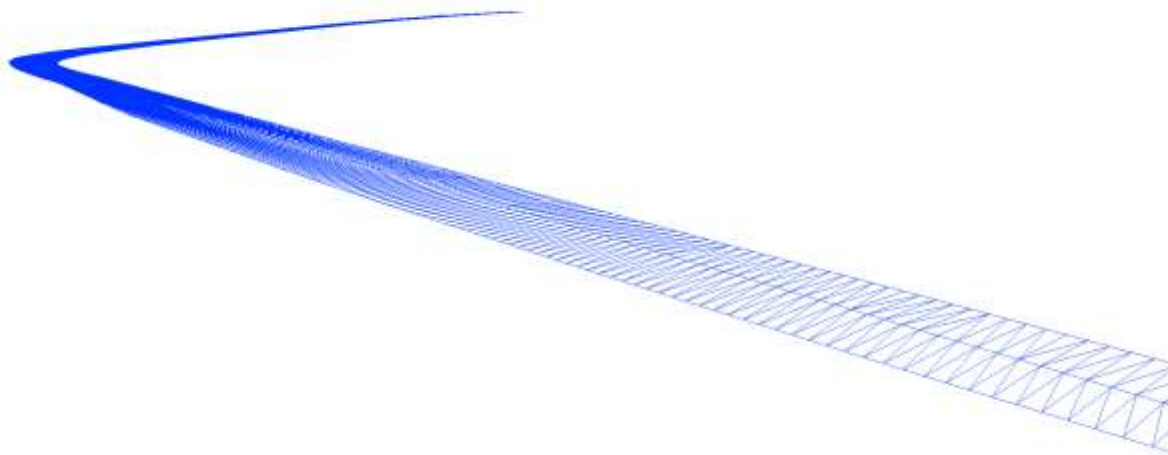


Obr. 6: 3D linie (zdroj: Control System)

4.3 Digitální model projektu

Na základě požadavků objednatele byl vytvořen digitální model projektu, který splňuje základní požadavky:

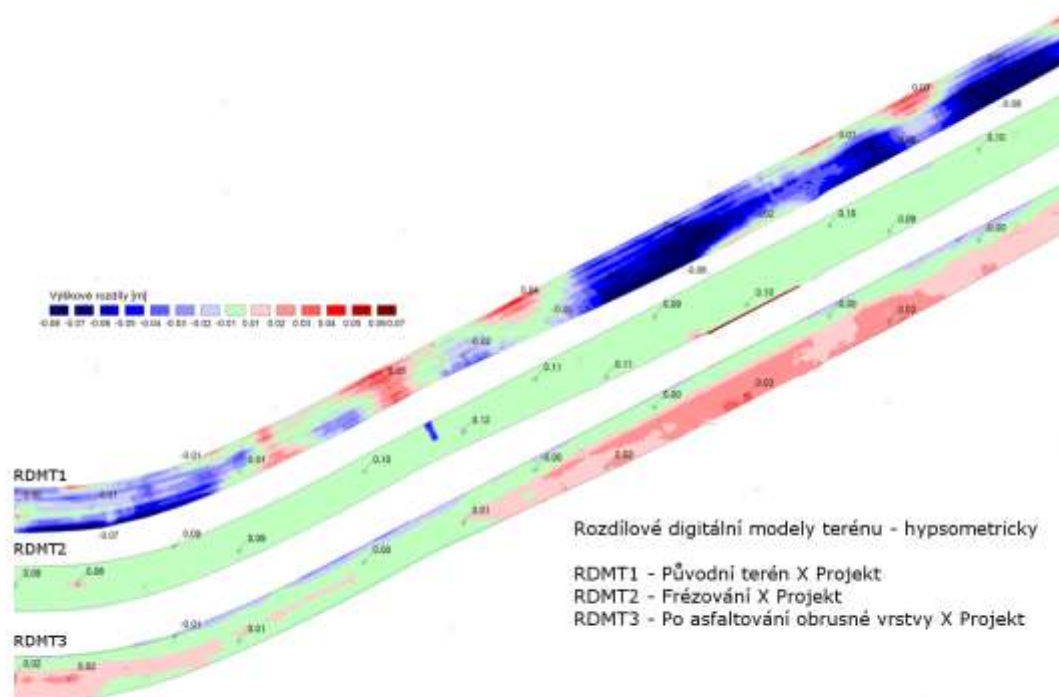
- Podélné a příčné sklony (2,5%) – dodržení výžkové polohy a odtokových poměrů
- Navázání na původní stav – obrubníky, mostní závěry, kanalizační vpustě křižovatky, bezbariérové nájezdy chodníků a přechodů a podobně
- Optimalizace bilance materiálů – množství odfrézovaného materiálu a množství nově položeného asfaltu



Obr. 7: Digitální model projektu (zdroj: Control System)

4.4 Rozdílový digitální model terénu s projektem

Porovnáním jednotlivých digitálních modelů terénu s projektem vznikl rozdílový digitální model s barevnou hypsometrií odchylek.



Obr. 8: Rozdílové digitální modely terénu (zdroj: Control System)

Z obrázku je patrné, že původní terén vykazoval značné nerovnosti a vyjeté koleje. Dále je patrné, že frézování, které bylo provedeno s pomocí dálkového řízení strojů, bylo provedeno v požadované toleranci bez výrazných odchylek. Hluběji byly vyfrézovány pouze dodatečné sanační pruhy v místech většího narušení podkladních vrstev. Z rozdílového modelu terénu položení obrusné vrstvy s projektem je vidět, že bylo položeno v některých místech více asfaltu než se plánovalo a to až o 3cm tlustší vrstva.

4.5 Výpočty kubatur - rozdílový digitální model terénu mezi etapami

Na základě digitálního modelu terénu původního stavu, modelu po frézování a modelu po pokládce asfaltových vrstev, lze posoudit objem odfrézovaného a nově položeného materiálu asfaltové směsi.

Výpočty objemů		
Materiál	kubatura [m ³]	plocha [m ²]
Odfrézováno asfaltové vrstvy (bez sanačních pruhů a bez mostu)	953	10848
Položeno asfaltové vrstvy (bez sanačních pruhů a bez mostu)	1152	10848
Most		1012
Dle SoD fréza o tl. 100mm	1144	11440
Dle SoD pokládka o tl. 100mm (ACL 16S 60mm, SMA 11S 40mm)	1144	11440

5 Výpočty a výsledky

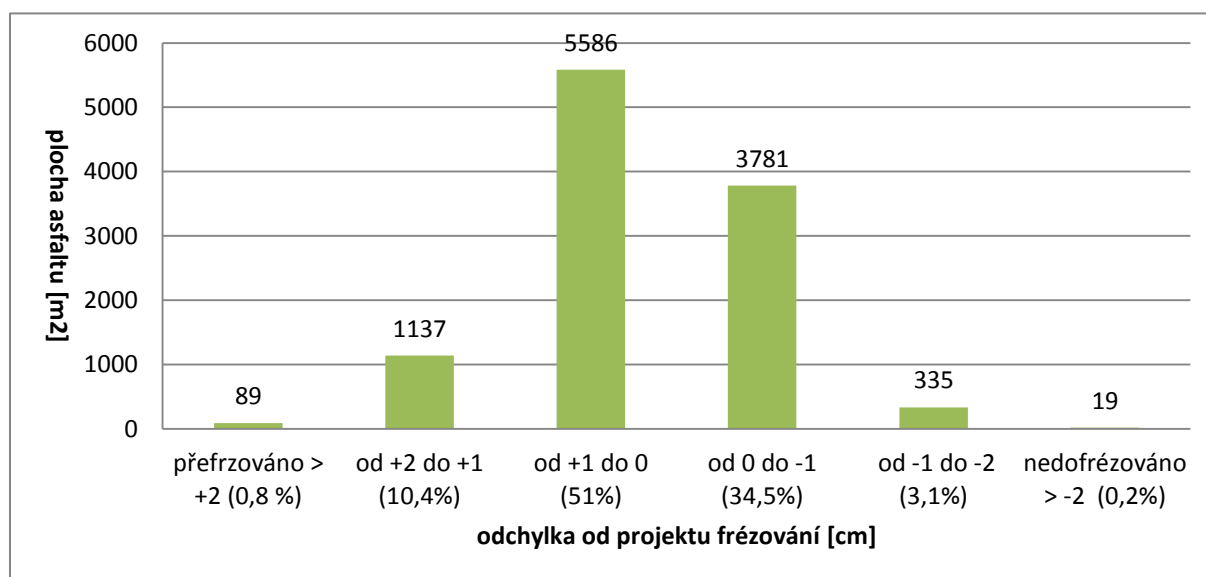
5.1 Výsledné přesnosti digitálních modelů terénu

DMT	Sm. odch. polohy	Sm. odch. výšky
původní terén	0,007m	0,002m
po frézování 1/2 směr Chodov	0,010m	0,002m
po frézování 2/2 směr Vídeňská	0,011m	0,002m
po asfaltování obrusné vrstvy	0,011m	0,003m

Byly dodrženy požadované přesnosti zadané objednatelem.

5.2 Kvalita frézování

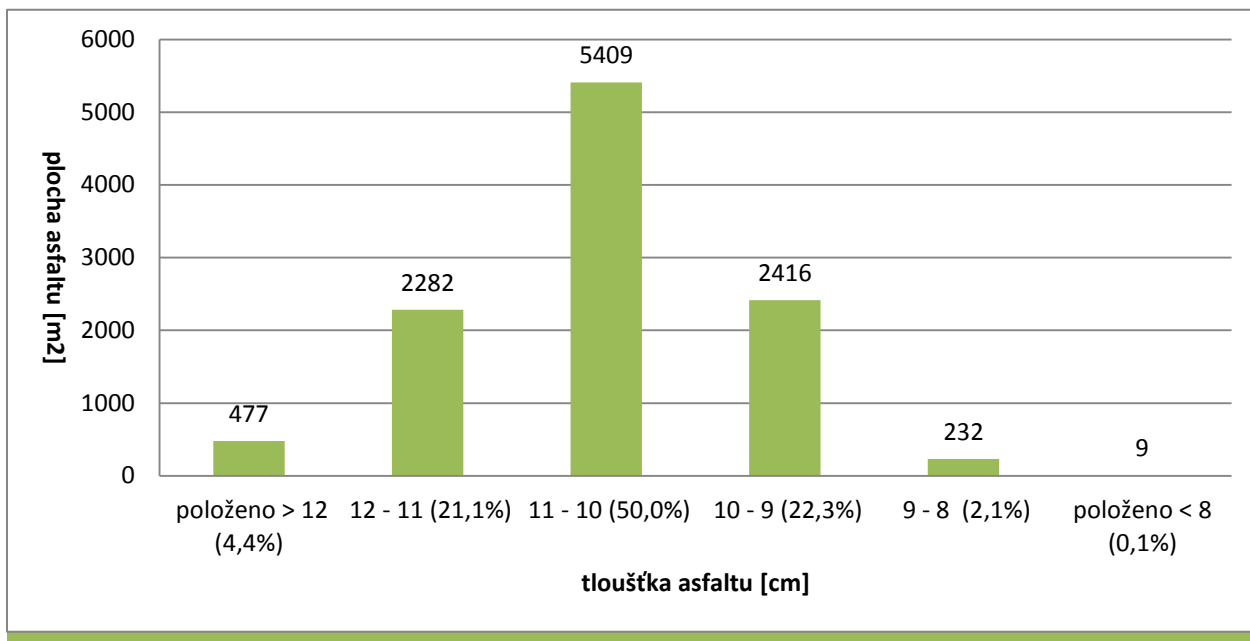
Na základě digitálního modelu terénu původní asfaltové vrstvy, se vytvořil optimalizovaný digitální model projektu – model rovinnosti opraveného povrchu vozovky. Na základě tohoto digitálního modelu projektu bylo provedeno frézování. Z vytvořeného digitálního modelu terénu (stav po frézování) a digitálního modelu projektu lze posoudit provedenou kvalitu frézování viz histogram:



Výsledná plocha porovnání je 10 848m², průměrná hloubka frézování je 0,088 m (bez sanačních pruhů a bez mostu). V odchylce ± 1 cm od projektu bylo odfrézováno 85,5% plochy a v odchylce ± 2 cm již 99%.

5.3 Mocnost položení asfaltové vrstvy

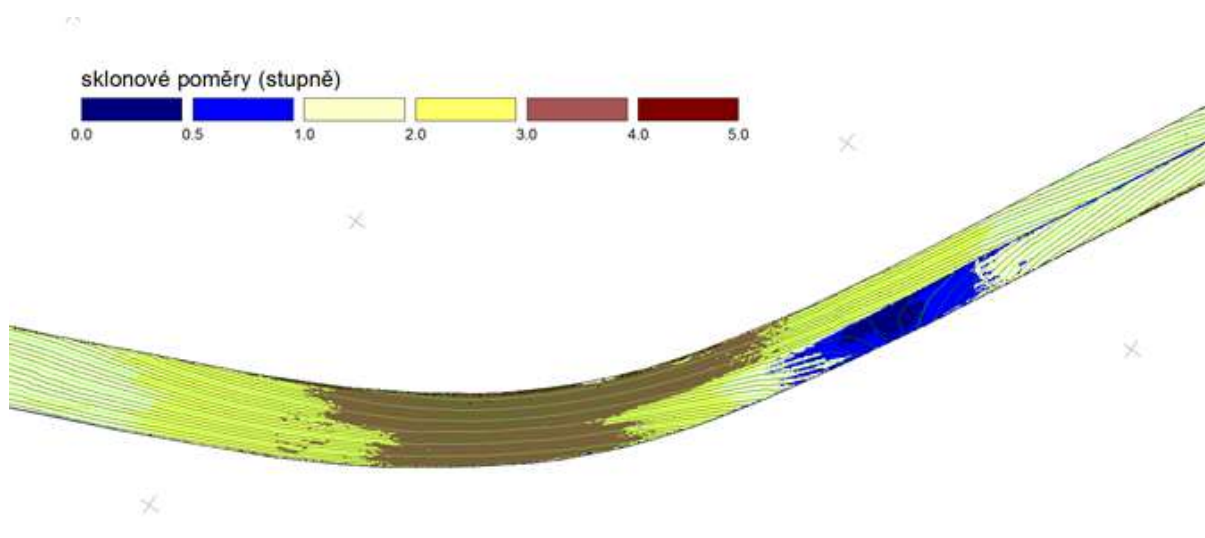
Na základě digitálního modelu terénu po frézování a digitálního modelu po pokládce asfaltové vrstvy, lze posoudit mocnost položených vrstev asfaltu, viz histogram:



Výsledná plocha porovnání je 10 848 m², průměrná tloušťka asfaltové vrstvy je 0,106 m (bez sanačních pruhů a bez mostu). V odchylce ± 1cm od požadované mocnosti 10cm bylo položeno 72,3% plochy a v odchylce ± 2cm to bylo 95,5%.

5.4 Analýza odtokových poměrů

Na základě digitálního modelu terénu po pokládce asfaltové vrstvy, byla provedena analýza odtokových poměrů nově položené asfaltové vrstvy. Tato analýza jednoznačně identifikuje místa, kde není dodržen potřebný sklon (větší než 1 stupeň) pro odtékání vody z povrchu vozovky, na těchto plochách existuje zvýšené riziko tvoření souvislé vodní plochy a případně náledí.



Obr. 9: Analýza odtokových poměrů (zdroj: Control System)

V zaměřené části je pouze jedno dvacet metrů dlouhé místo s malým sklonem. A to za zatáčkou v pravém pruhu ve směru Chodov (viz obrázek). V tomto místě je sklon vozovky menší než 1 procento, hlavním důvodem je změna sklonu z klopené zatáčky do standardního střechovitého tvaru.

6 Závěr

Využitím metody laserového skenování stop&go na stavbách vznikají detailní **digitální modely terénu** s vysokou přesností. Tyto modely lze využít pro mnoho analýz a výpočtů - **kontrola geometrických parametrů** vrstev, **výpočty kubatur** při realizaci stavby, analýzy odtokových poměrů, analýzy rovinatosti, vizualizace staveb, podklad pro projekt rovinatosti (podklad pro dálkové řízení strojů – nivelaci frézy) a tvorba dokumentace skutečného provedení stavby.

Podrobné zaměření okolí stavby s objekty, které stavbou nejsou dotčeny a matematická rekonstrukce kroků výpočtu (tzn. matematicky doložitelná výpočetní cesta) od informace zpět k měřeným datům dává jistotu všem účastníkům objektivitu určování množství provedených stavebních prací a tedy oceňování položek soupisu prací. Jedná se o položky, které jsou vedeny v měrných jednotkách m^3 a pro případy využívání tzv. „měřeného kontraktu“ v souladu s požadavkem kap. 12 Měření a oceňování, Obchodních podmínek staveb pozemních komunikací MD ČR.