

# Zaměření a zpracování 3D dat pro re-profilaci komunikace

## Surveying and 3D data processing for pavement rehabilitation

Ing. Lukáš Kutil, Exact Control System a.s.

Ing. Marek Příkryl, Ph.D., Exact Control System a.s.

Ing. Josef Žák, Ph.D., ČVUT, FSv

### Anotace

Měření a návrh komunikace bylo provedeno na základě objednávky od investora rekonstrukce Technická správa komunikací hl. m. Prahy (Spolufinancováno ze Státního fondu dopravní infrastruktury).

Investor předpokládá pro odstranění stávajících vrstev konstrukce vozovky využití technologie dálkově řízeného frézování (automatická nivelace frézy), pro tuto metodu je nezbytné vytvořit 3D model jednotlivých pokládaných vrstev konstrukce vozovky. Pro tvorbu 3D modelu tedy optimalizaci kubatur a re-profilaci vrstev vozovky byl využit digitální model terénu (DMT) původního povrchu komunikace s důrazem na vysokou výškovou přesnost, hustotu bodů a tvorbu 3D linií. DMT byl vytvořen na základě zaměření technologií laserového skenování stop&go s velmi přesným výškovým vyrovnáním.

### Annotation

Measurements and highway design was done according to contracting agency (Technická správa komunikací hl.m. Prahy) demands for the reconstruction. The project is co-funded by The State Fund for Transport Infrastructure (SFDI). The contracting agency supposed to utilize the machine control system for pavement milling. Such a technology requires 3D model of constructed pavement layers. The Digital Terrain Model (DTM) of existing pavement was used for 3D model creation and hence quantities and re-profiling optimization. DTM was created with emphasis to elevation precision, points density and representative 3D curves creations. Laser scanning "Stop&Go" technology with precise elevation adjustments was used to acquire existing pavement DTM.

### Úvod

V podmínkách stárnoucí komunikační sítě ČR je téma návrhu a realizace rekonstrukcí povrchů našich komunikací velmi aktuální. Pokročilé měřicí techniky, informační technologie pro návrh dopravních staveb a automatizace techniky používaných při rekonstrukcích spolu dohromady vytváří systémy, které umožňují detailní projektovou přípravu stavby. S použitím těchto technologií lze lépe zohlednit úpravy stavby s ohledem k životnímu prostředí - šetrné nakládání s materiálem a současně vhodné čerpání finančních prostředků na tyto rekonstrukce. Článek prezentuje postup pořízení 3D dat (digitální model terénu; DMT) - mapových podkladů pro 3D návrh projektu asfaltových vrstev (re-profilovaný digitální model projektu; DMP)

Využití 3D podrobných modelů (DMT, DMP) je možnost jednak zpřesnit výpočet objemu materiálů z projektové dokumentace, optimalizovat navržený povrch vozovky, tak aby byly zajištěna maximální jízdní kvalita povrchu, velmi přesně analyzovat sklonové poměry (odvodnění) a současně optimalizovat náklady na vlastní rekonstrukci. Článek se blíže zabývá efektivním využitím přesných 3D dat pro potřeby přípravy stavby a následnému přesnému výpočtu kubatur pro účely zadání zakázky rekonstrukce.

### Popis opravovaných úseků

Realizace rekonstrukce vozovky s 3D přístupem bylo využito na těchto komunikacích v Praze:

Komunikace	Rozsah [m]	Popis
Kunratická spojka II. Etapa	850	dvoupruhová směrově nerozdělená, obousměrně pojížděná, koruna komunikace je v průměru 10,2m široká
Českobrodská	1049	dvoupruhová směrově nerozdělená, obousměrně pojížděná, koruna komunikace je v průměru 8,5m široká, pouze v křižovatkových úsecích a autobusových zastávkách je rozšířena
Městská	2156	dvoupruhová směrově nerozdělená, obousměrně pojížděná, koruna komunikace je v průměru 5m široká
Československého exilu IV. Etapa	509	čtyřpruhová směrově nerozdělená, obousměrně pojížděná, koruna komunikace je v průměru 14,3m široká, místně rozšířena o parkovací pruhy a autobusové zastávky

Tabulka 1 - Popis opravovaných úseků komunikací

## Zaměření a zpracování 3D dat před rekonstrukcí vozovky

### **Bodové pole**

V každém úseku bylo vybudováno bodové pole stabilizované nastřelovacími hřeby nebo mezníky s hustotou přibližně každých 100 m jeden bod. Poloha bodového pole byla zaměřena pomocí GNSS a výšky bodů byly určeny trigonometrickou nivelací.

### **3D měření metodou laserového skenování stop&go**

Úseky byly zaměřeny pomocí 3D měření (s přesností do 3mm výškové směrodatné odchylky) metodou laserového skenování stop&go. Jednotlivé scanpozice byly měřeny přibližně po 30 m. Poloha skeneru byla měřena pomocí GPS s referenční stanicí a výška skeneru byla určena pomocí identických bodů na povrchu komunikace. Tyto identické body na povrchu komunikace byly zaměřeny trigonometricky totální stanicí z bodového pole stavby. Výsledná polohová přesnost mračen bodů odpovídá GPS měření, tedy 2 cm v poloze a výška modelu byla vyrovnána na identické body se směrodatnou výškovou odchylkou do 3 mm. Výsledkem měření jsou mračka bodů s hustotou větší než 2000 bodů na 1m<sup>2</sup> (obrázek 1).



Obrázek 1 - Výsledek měření laserového skenování stop&go - mračka bodů s hustotou víc než 2000 bodů na 1m<sup>2</sup> s polohovou přesností mračen bodů 2 cm a se směrodatnou výškovou odchylkou do 3 mm

### **3D data - digitální model terénu (DMT)**

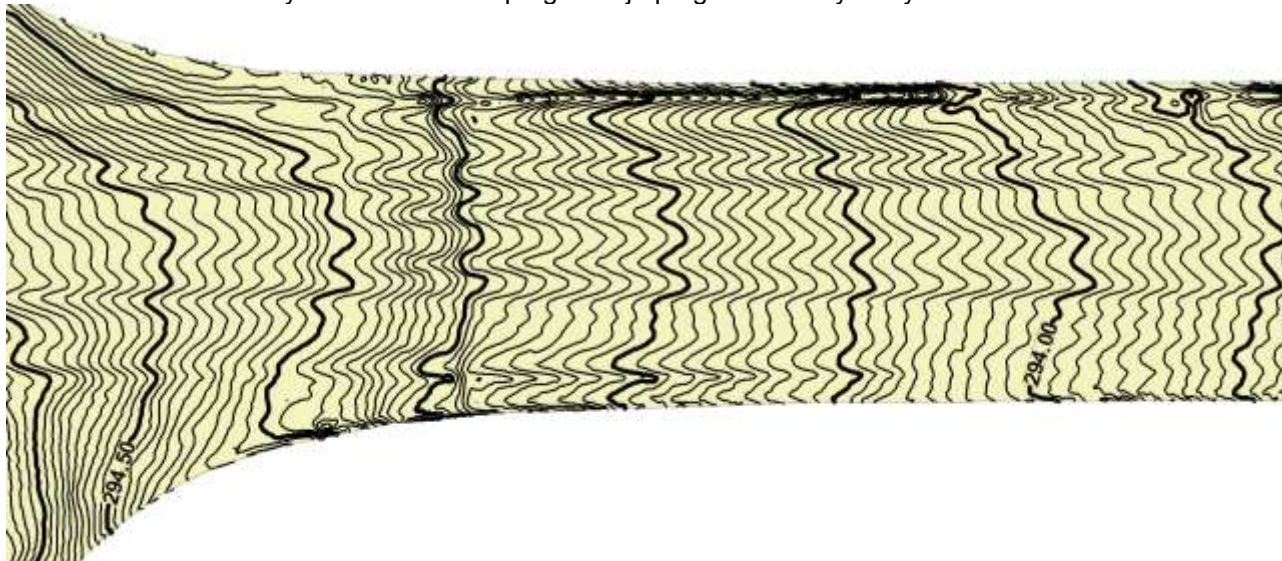
Zpracování mračen bodů naskenovaných při měření probíhalo v několika postupných krocích. Jednotlivé body se transformovaly do státního souřadnicového systému. Poté se provedlo odstranění šumu z měření a odmazání objektů, které nejsou předmětem měření (auta, vegetace, ...). Data se následně filtrovala na hustotu 25 bodů na 1m<sup>2</sup>. Tato hustota umožňuje pracovat s modelem terénu v CAD systémech a provádět výpočty a grafické práce jako generalizaci modelu, výpočty objemů, návrh trasy, podélného profilu, příčných profilů, napojení a lomů sklonů a vytvoření 3D modelu projektu. Výsledný digitální model terénu je základní výstup 3D měření.

Stejným způsobem měření je možné zaměřit úsek po frézování a po pokládce asfaltových vrstev a provést výpočty objemů materiálu a vyhodnocení geometrické správnosti provedených prací (Odchylky od projektových výšek a tloušťek, podélné a příčné sklon, odvodnění).

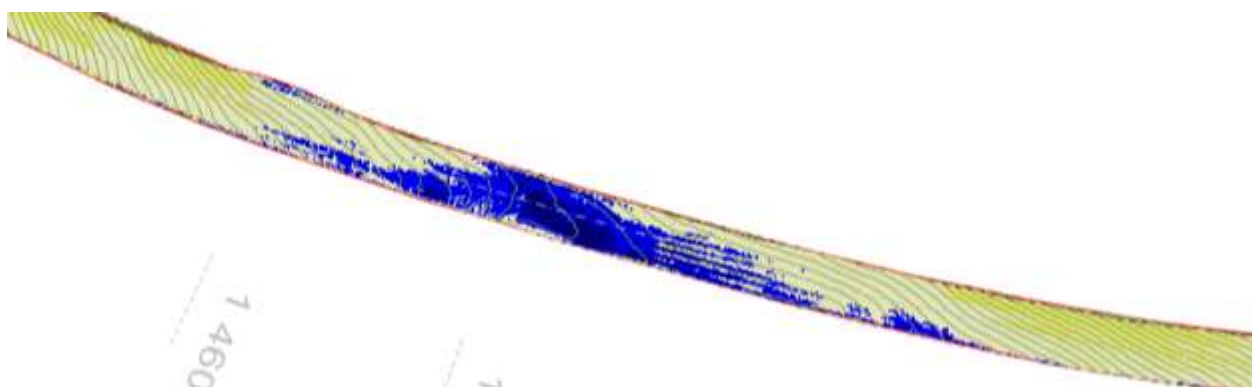
### **Analýzy digitálních modelů terénu**

Na základě digitálních modelů terénu lze provést celou řadu analýz jednotlivých parametrů stávající komunikace. Nejednoduší vyhodnocení stavu komunikace je pomocí vrstevnic (obrázek 2), kde lze snadno identifikovat poruchy krytu komunikace v tomto případě ve formě vyjetých kolejí, nedodržení příčných sklonů

a další lokální nebo plošné geometrické deformace. Další vyhodnocení lze provést tzv. analýzou odtokových poměrů (obrázek 3), analýza je vytvořena metodou zvýraznění ploch se sklonem menším než jeden stupeň, na těchto plochách je zvýšené riziko tvoření souvislé vodní plochy a případného náledí tedy svojí povahou jsou nebezpečnými místy pro provoz na pozemních komunikacích. Tyto plochy dále často trpí sníženou životností vlivem klimatických podmínek a v místě stojící vody. Data digitálního modelu terénu lze nahrát do speciálních programů, které z vybraných profilů spočítají parametry IRI (viz. tabulka 2) a příčné a podélné nerovnosti dané vozovky. Jedním z těchto programů je program RIRI vyvinutý na FSv ČVUT.



Obrázek 2 - Vyhodnocení stavu komunikace před opravou pomocí vrstevnic, kde lze identifikovat poruchy krytu komunikace ve formě vyjetých kolejí, nedodržení příčných sklonů a další geometrické deformace



Obrázek 3 - Analýza odtokových poměrů – Na modrých plochách je zvýšené riziko tvoření souvislé vodní plochy a případného náledí a jsou nebezpečnými místy pro provoz na pozemních komunikacích

## Re-profilovaný projekt - digitální model projektu

### **3D data - digitální model projektu (DMP)**

Pomocí digitálního modelu terénu původního povrchu komunikace s vysokou výškovou přesností charakterizovanou směrodatnou výškovou odchylkou max 3 mm a dodané projektové dokumentace se vytvořil 3D re-profilovaný digitální model projektu vozovky s důrazem na parametry IRI, tedy jízdní kvalitu, odvodnění povrchu komunikace, podélné a příčné nerovnosti, sklonové poměry vozovky a zároveň tak, aby se snížily celkové náklady rekonstrukce. Kvalitní zaměření stávajícího povrchu a informační technologie používané k návrhu umožňují velmi snadnou iteraci výškového návrhu a sklonových poměrů tak aby bylo zajištěno co nejlepších výše zmíněných parametrů. Díky kvalitnímu zaměření metodou laserového skenování lze s jistotou tyto varianty vyhodnotit.

Projekty rekonstrukcí, z nichž 3D návrh stavby vycházel, byly bez výškového návrhu. Tedy neobsahovali podélný profil ani příčné řezy. Rekonstrukce by v takovém případě byla realizována tzv. „na plavačku“. Tedy bylo by pouze otázkou zkušeností obsluhy frézy a finišeru do jaké míry se podaří zlepšit jízdní a odvodňovací poměry stávajícího stavu a zda vůbec. V okamžiku, kdy jsou vynakládány prostředky na rekonstrukci krytu

komunikace by vždy měla být navržena re-profilace, tedy zlepšení jak příčných tak podélných sklonů a odvodnění povrchu komunikace.

Podklad zaměření z laserového skenování, a vhodné informační technologie umožňují navrhnout stavbu tak aby bylo zajištěno vhodné odvodnění povrchu komunikace, zlepšili se jízdní vlastnosti a optimalizovali kubatury frézovaného materiálu.

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

1. International Roughness Index (IRI)

IRI je mezinárodně uznávaným parametrem rovinatosti vyjadřující jízdní kvalitu povrchu komunikace.

Porovnání parametrů IRI stávajícího stavu komunikace a předpokládaného budoucího stavu po rekonstrukci:

Komunikace	Stávající stav IRI	Nový stav IRI
Kunratická spojka II. Etapa	0,41	0,25
Českobrodská	0,33	0,31
Městská	0,56	0,42
Československého exilu IV. etapa	0,72	0,65

Tabulka 2 – Porovnání parametrů IRI stávajícího stavu komunikace před opravou a nového stavu po opravě

2. Odvodnění povrchu pozemní komunikace

Nový 3D model terénu 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.

3. Podélné a příčné nerovnosti, sklonové vlastnosti vozovky

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

4. Snížení nákladů na rekonstrukci

Zpřesnění zadání zakázky na základě optimalizovaného DMP, který řeší nejen výše uvedené parametry, ale i přesný výkaz výměr pro frézování, kdy byl v průměru snížen objem o 9%.

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

### Výkaz výměr – úspora při frézování

Optimalizace nákladů rekonstrukce s využitím re-profilovaného projektu je patrná s následující tabulky úspor frézovaného materiálu:

Komunikace	Plocha rekonstrukce [m2]	Teoretický objem [m3]	Re-profilovaný objem [m3]	Úspora frézování [%]
Kunratická spojka II. Etapa	9 275	667	660	<b>1</b>
Českobrodská	12 043	1 242	1 155	<b>8</b>
Městská	11 118	1 112	979	<b>14</b>
Československého exilu IV. etapa	7 616	685	614	<b>12</b>

Tabulka 3 – Porovnání teoretického a re-profilovaného objemu frézovaného materiálu a vyčíslení % úspor frézování

### Příklady řešení při re-profilaci

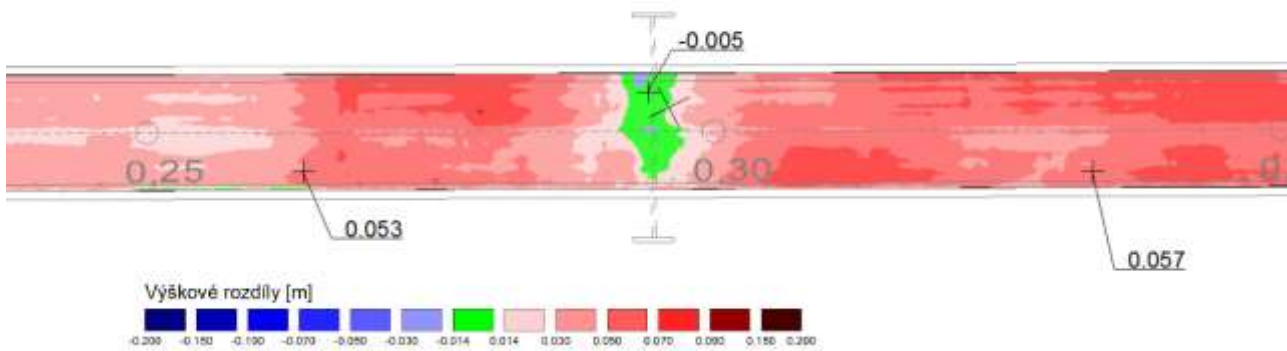
Při tvorbě re-profilovaného projektu rekonstrukce vozovky byly objeveny oblasti, které jsou jiným postupem měření a vyhodnocení velmi obtížně identifikovatelné a řešitelné. Zde je popis některých z nich:

- **Propadlý propustek**

Byla lokalizována oblast propadlé vozovky v oblasti propustku o hloubce až 8cm (obrázek 4). Nový návrh re-

profilované vozovky, řeší tuto situaci nulovým frézováním v oblasti propustku.

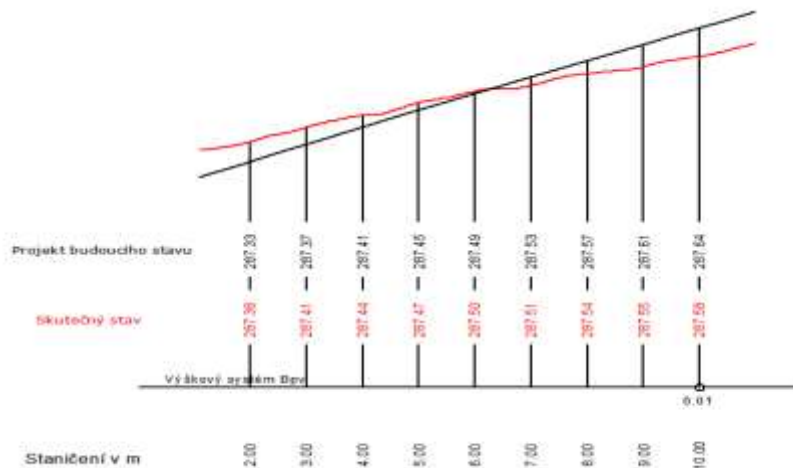
rozdílový digitální model  
[laserové skenování 11.2. 2015] - [projekt frézování]



Obrázek 4 - Lokalizace propadlé vozovky v oblasti propustku o hloubce až 8cm (zelená oblast), re-profilace vozovky vyřešilo situaci nulovým frézováním

- Dvojité klopení**

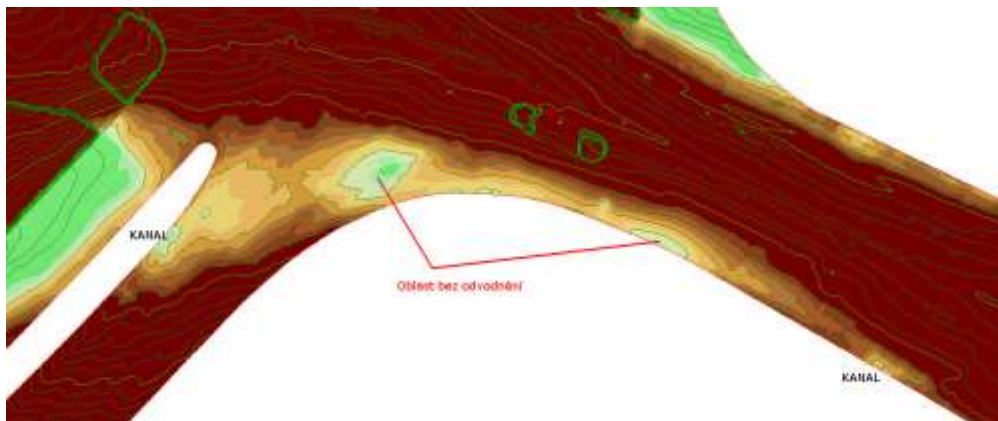
Byla lokalizována oblast v oblouku, kde je v každém směru jiné klopení vozovky (obrázek 5), re-profilací vozovky byl sklon sjednocen.



Obrázek 5 - Lokalizace oblasti v oblouku, kde je v každém směru jiné klopení (červená čára), re-profilací vozovky byl sklon sjednocen (černá čára)

- Chybějící kanalizační vpust'**

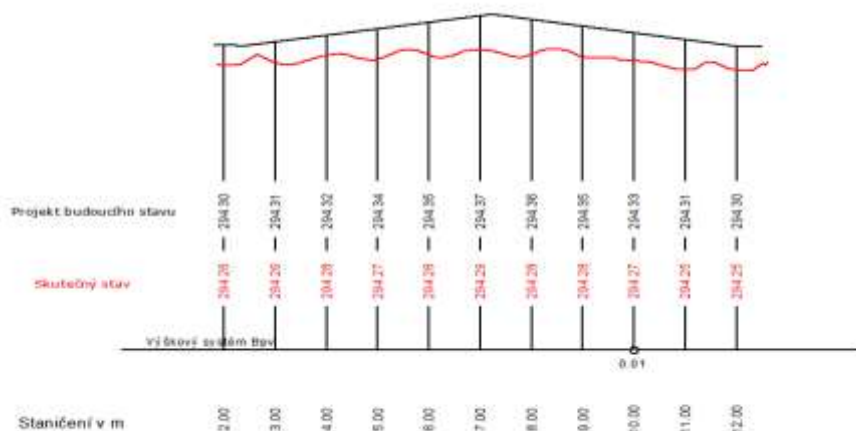
Byla lokalizována oblast bez odvodnění (obrázek 6), kde není ani navrženou re-profilací možné svést vodu do stávající kanalizační vpusti. Doporučení pro správce stavby bylo vybudovat novou kanalizační vpust.



Obrázek 6 – Po re-profilaci byla lokalizována vhodná oblast pro vybudování nové kanalizační vpusti

- **Vliv brzdění před světelnou křižovatkou na asfaltový povrch**

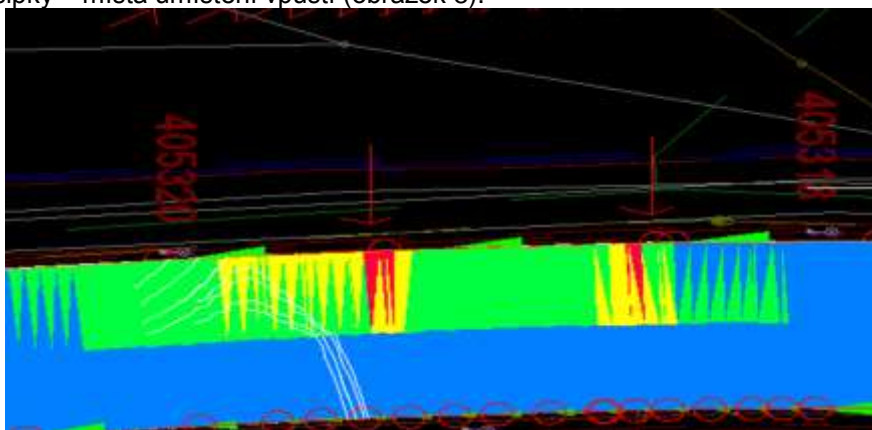
Byla lokalizována oblast před křižovatkou, kde jsou vlivem brzdění vozidel extrémně vyjeté koleje (obrázek 7), re-profilací vozovky byla situace opravena.



Obrázek 7 – Lokalizace oblasti s extrémně vyjetými kolejemi vlivem brzdění vozidel (červená čára), re-profilací vozovky byla situace optimálně opravena (černá čára)

- **Nulový sklon**

V oblouku jsou dvě místa kde je výsledný sklon menší než 0,3%. Tento stav je dán nevhodnou kombinací změny podélného sklonu a změnou příčného sklonu oblouku. Optimalizací se tyto dvě místa povedlo umístit alespoň do oblasti, kde jsou uliční vpusti, tedy svedení vody do těchto vpustí. Zobrazeno ve sklonové mapě – červený sklon a šipky – místa umístění vpustí (obrázek 8).



Obrázek 8 – Lokalizace dvou míst bez odtoku vody způsobené změnou podélného sklonu a změnou příčného sklonu oblouku, optimalizací návrhu 3D re-profilovaného projektu se místa přesunula tam, kde jsou stávající kanalizační vpusti

## Závěr

Tvorba 3D re-profilovaného projektu rekonstrukce vozovky je hospodárný 3D postup rekonstrukce vozovky, které jsou často ve špatném stavu a vyžadují přesné data pro přesné zadání prací a následnou realizaci. Postup řeší kompletní výslednou rekonstrukci (oproti tradiční výměně asfaltového povrchu) s důrazem na odvodnění povrchu komunikace, podélné a příčné nerovnosti, sklonové vlastnosti vozovky a optimalizaci nákladů jak ukazují příklady. Nutným podkladem pro projekt je digitální model terénu skutečného stavu s důrazem na výškovou přesnost a hustotu bodů zaručující vystižení terénu. S takovými podklady je následná možnost a jistota při tvorbě 3D modelu projektu výrazně lepší a umožňující optimalizaci návrhu s ohledem na výše uvedené. Jestliže na stavbě bude použito, tak jak se předpokládá, řízených stavebních strojů, je pak výsledná užitná hodnota rekonstrukce výrazně vyšší.