



Implementace principů Průmyslu 4.0 při výrobě a opravách konstrukčních vrstev dopravních komunikací – Uživatelská příručka k aplikaci (SW 2b III)

Tomáš Kerepecký, Michal Šorel (sorel@utia.cas.cz)

26. září, 2019

Abstrakt

Uživatelská příručka popisuje aktuální verzi (V2.3.1) softwaru vzniklého v rámci projektu Implementace principů Průmyslu 4.0 při výrobě a opravách konstrukčních vrstev dopravních komunikací. Software slouží k optimálnímu návrhu broušení dvouproudé vozovky pomocí silniční frézy. Pro každou pozici na vozovce optimalizuje hloubku a náklon frézy tak, aby se minimalizoval objem odbroušeného materiálu a zároveň výsledný povrch splňoval omezení zadaná projektantem a příslušné technické normy. Software umožňuje interaktivně modifikovat parametry výpočtu, zobrazovat několika různými způsoby povrch a ukládat ho ve formátu vhodném pro další zpracování.



Obsah

1	Úvod	2
2	Spuštění uživatelského rozhraní v prostředí Matlab	4
3	Náhled grafického rozhraní	4
4	Stručný popis grafického rozhraní	5
5	Ukázka výsledků	8
6	Ukázka dalších výstupních dat	13
7	Specifikace vstupních souborů s projekčními omezeními	14
8	Ukázka vstupního konfiguračního souboru ve formátu XML	15

I Úvod

Softwarová aplikace vznikla v rámci projektu Implementace principů Průmyslu 4.0 při výrobě a opravách konstrukčních vrstev dopravních komunikací s identifikačním kódem FV20356, řešeného za podpory programu TRIO Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v letech 2017–2019. Software byl vyvíjen v Oddělení zpracování obrazové informace Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i. (ÚTIA) ve spolupráci s firmou Exact Control System a.s. V návrhu projektu je tento software označován jako SW 2b III.

Celá technologie je založena na bázi patentované metodologie PV2014-489 společnosti Exact, která umožňuje 3D snímání poškozené vozovky pomocí LIDARu s milimetrovou přesností a využití dat pro virtuální návrh rekonstrukce. Software vyvinutý na ÚTIA umožnil rozvinout technologii především z následujících hledisek

- Výrazné zrychlení práce projektanta, který již nemusí výsledný povrch zadávat manuálně po krátkých úsecích, ale povrch je generován automaticky pro celý projekt. V případě, že projektant zadá vzájemně si odporující požadavky (např. na sklon, či hloubku frézování), software ho automaticky upozorní na problematická místa. Software projektantovy také umožňuje sledovat další vlastnosti typu lokální gradient povrchu, který je důležitý pro správné odvodnění vozovky.
- Výrazné zlepšení navrhovaného povrchu jak z hlediska hladkosti, která se odráží v lepším jízdním komfortu, tak z hlediska úspory v množství frézovaného materiálu.
- Pro jednotlivé varianty povrchu software automaticky počítá mezinárodní index hrubosti (IRI), který vyjadřuje míru jízdního komfortu. Právě výpočet IRI ukazuje výrazné zvýšení jízdního komfortu ve srovnání s manuálním postupem.

Již v závěrečné části projektu byla technologie testována na šesti úsecích silnic v ČR a její výhody prezentovány v Kanadě na úseku významné komunikace Hw401. Zmínka o ní se objevila i v českém a Kanadském tisku: <https://www.lidovsky.cz/byznys/firmy-a-trhy/kanadsti-silnicari-si-p>
A190816_111049_ln-zajimavosti_ele.

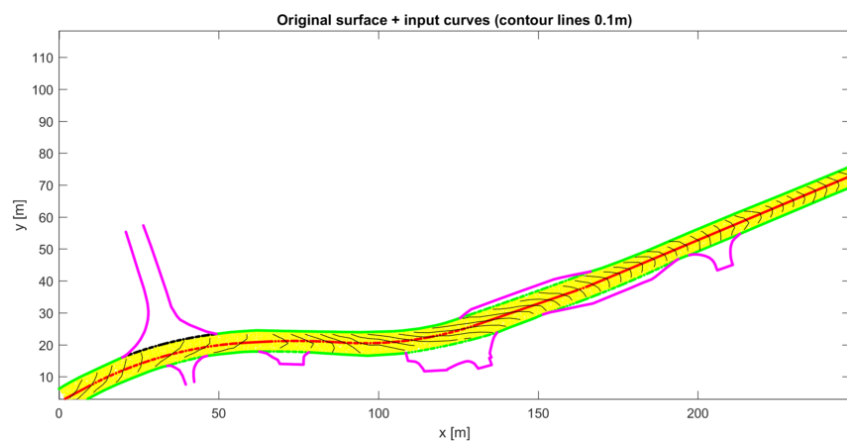
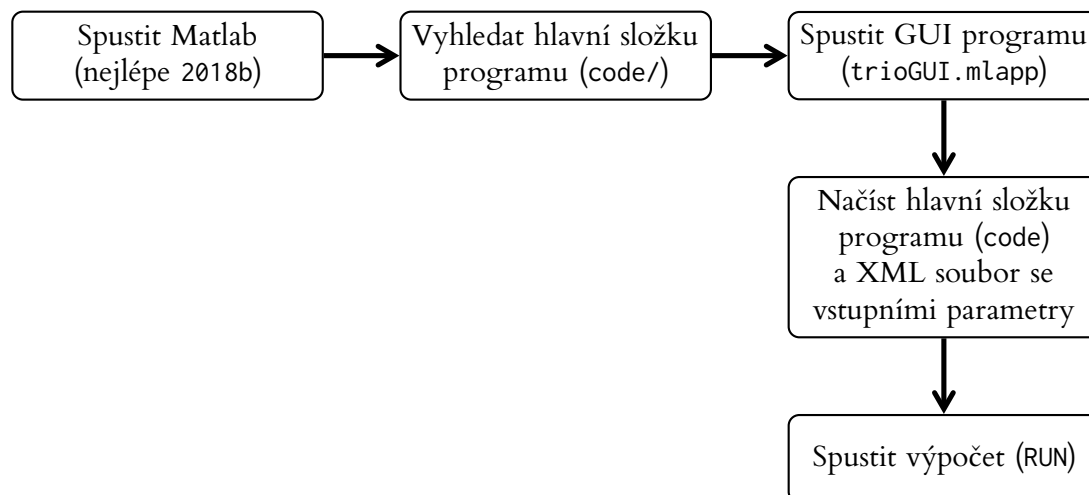
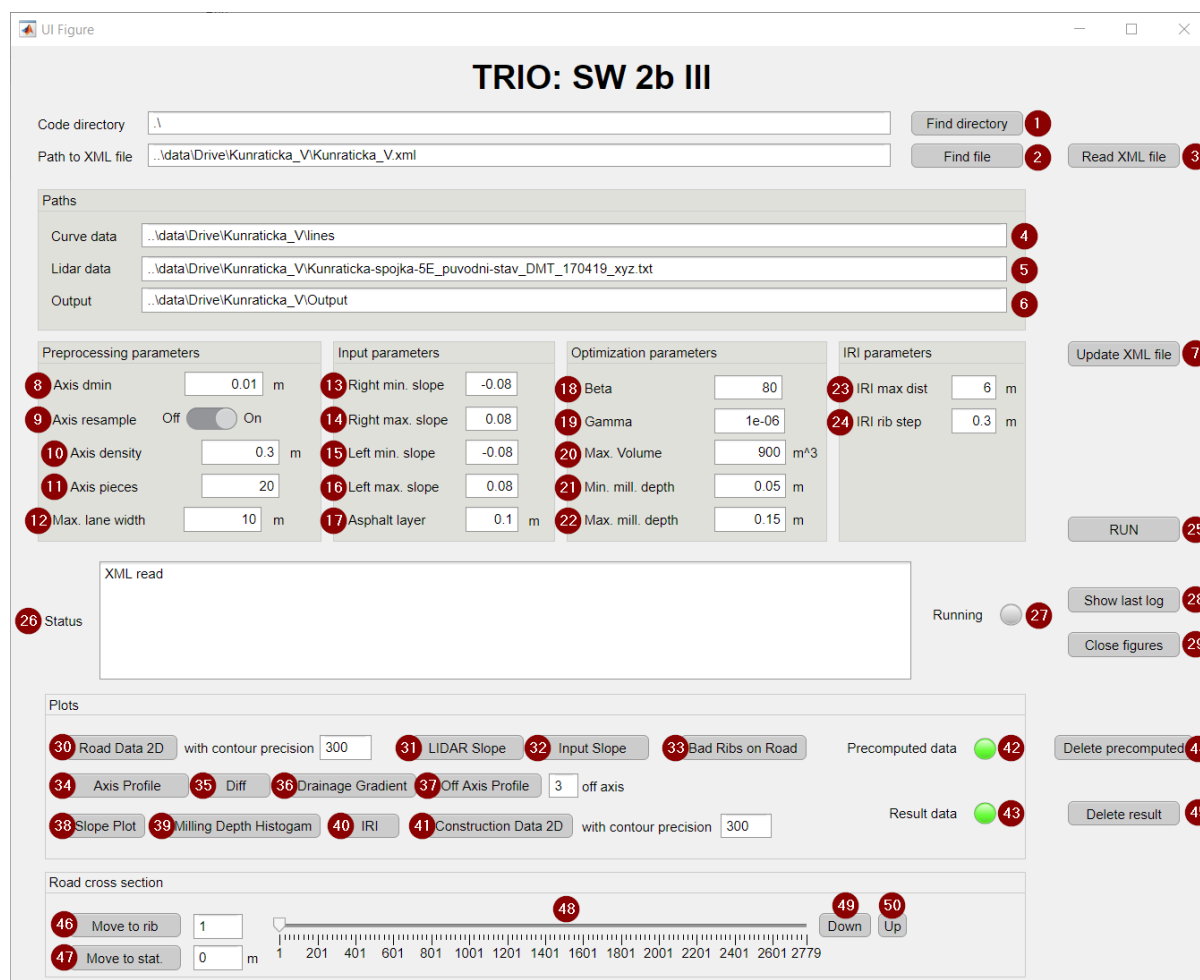


Figure 1: Zobrazení úseku vozovky po načtení do softwaru

2 Spuštění uživatelského rozhraní v prostředí Matlab



3 Náhled grafického rozhraní



Uživatelské rozhraní závěrečné verze softwaru. Obsahuje velké množství nastavitelných parametrů a umožňuje zobrazit několika způsoby navržený povrch.

4 Stručný popis grafického rozhraní

Načtení vstupních dat:

- 1 Hlavní složka programu (např. "C:\Users\Novak\TRIO\code"), obsahuje hlavní skript run_optimization()
- 2 XML soubor se vstupními parametry: specifikace vstupu a výstupu a optimačních parametrů (např. "..\data\Kunraticka_V.xml")
- 3 Načíst vstupní parametry z XML souboru
- 4 Složka linií a omezení vozovky, obsahuje:
 - *Axis_L*– definice osy (1 soubor)
 - *Crossfall*– preference sklonu (1 soubor)
 - *Fix_P*– omezení fixních bodů
 - *Fix_L*– omezení fixních linií
 - *Free_L*– omezení volných linií
 - *Other_L*– omezení jiných linií
- 5 Mračno bodů vozovky silnice (např. "..\data\Kunraticka_V\lidar.txt")
- 6 Složka výstupních souborů (např. "..\data\Kunraticka_V\Output")
- 7 Aktualizovat XML soubor podle parametrů v GUI.

Předzpracování dat:

- 8 Pročištění původní osy – uvažuje body vzdálené od sebe nejméně 'dmin' (např. 0.01 m)
- 9 Převzorkování osy: Axis resample:
 - <ON> Vrací ekvidistantně vzdálené body podél osy
 - <OFF> žádná změna osy
- 10 Pokud "axis resample"=ON, nastaví vzdálenost ekvidistantních bodů (např. 0.3 m)
- 11 Pokud "axis resample"=ON, nastaví počet polynomiálních částí (např. 20)
- 12 Maximální uvažovaná vzdálenost od osy vozovky (např. 10 m)

Vstupní parametry:

- 13 Globální podmínka na minimální sklon pravého pruhu (např. -0.08, je případně přepsáno souborem Crossfall)
- 14 Globální podmínka na maximální sklon pravého pruhu (např. 0.08, je případně přepsáno souborem Crossfall)
- 15 Globální podmínka na minimální sklon levého pruhu (např. -0.08, je případně přepsáno souborem Crossfall)
- 16 Globální podmínka na maximální sklon levého pruhu (např. 0.08, je případně přepsáno souborem Crossfall)

- 17 Tloušťka asfaltu pro získání finální vozovky (např. 0.01 m)
- Optimalizační parametry:
- 18 Vyhlazování sklonu (např. 80)
- 19 Střední hodnoty sklonu (např. 1e-06)
- 20 Maximální objem frézování (např. 900 m³)
- 21 Minimální hloubka frézování (např. 0.05 m)
- 22 Maximální hloubka frézování (např. 0.15 m)
- Výpočet IRI:
- 23 Maximální vzdálenost od osy (např. 6 m)
- 24 Vzorkování podél žebra kolmo na osu (např. 0.3 m)
- Spuštění výpočtu:
- 25 Spustit výpočet podle zadaných parametrů (aktualizuje XML soubor)
- 26 Informační okno
- 27 Informační dioda:
- <zelená> výpočet běží
 - <stříbrná> výpočet zastaven
- 28 Zobrazit v informačním okně protokol o posledním výpočtu
- Analýza výsledků
- 29 Zavřít všechna okna s grafy
- 30 Zobrazení vstupních dat stavby (lze nastavit přesnost vykreslení vrstevnic)
- 31 Zobrazení odhadů příčných sklonů mračna bodů
- 32 Zobrazení omezení příčných sklonů ze vstupních dat
- 33 Zobrazení míst na vozovce, kde projektant zadal nesplnitelné podmínky na sklon a hloubku frézování
- 34 Zobrazení původní a vypočítané osy vozovky.
- 35 zobrazení rozdílového modelu (výškový rozdíl mezi modelem reality a modelem stavby)
- 36 Zobrazení gradientu frézování v procentech
- 37 Zobrazení profilu vozovky v dané vzdálenosti od osy
- 38 Zobrazení přípustných a navržených příčných sklonů vozovky
- 39 Zobrazení histogramu rozložení frézování
- 40 Výpočet a zobrazení vývoje kvality povrchu (vyjádřené hodnotou IRI)
- 41 Zobrazení navržené vozovky s vrstevnicemi s danou přesností

Správa výsledků

- 42 Existence před-počítaných dat:
 - <green> před-počítaná data existují
 - <silver> před-počítaná data nejsou k dispozici
- 43 Existence výstupních dat (výsledků):
 - <green> výsledky existují
 - <silver> výsledky nejsou k dispozici
- 44 Smazat před-počítaná data
- 45 Smazat výstupní data (výsledky)

Příčný řez vozovkou

- 46 Zobrazení příčného řezu vozovkou v daném žebro
- 47 Zobrazení příčného řezu vozovkou v daném staničení
- 48 Dynamický přesun příčného řezu vozovkou podél osy
- 49 Posun příčného řezu vozovky o jedno žebro zpět
- 50 Posun příčného řezu vozovky o jedno žebro vpřed

5 Ukázka výsledků

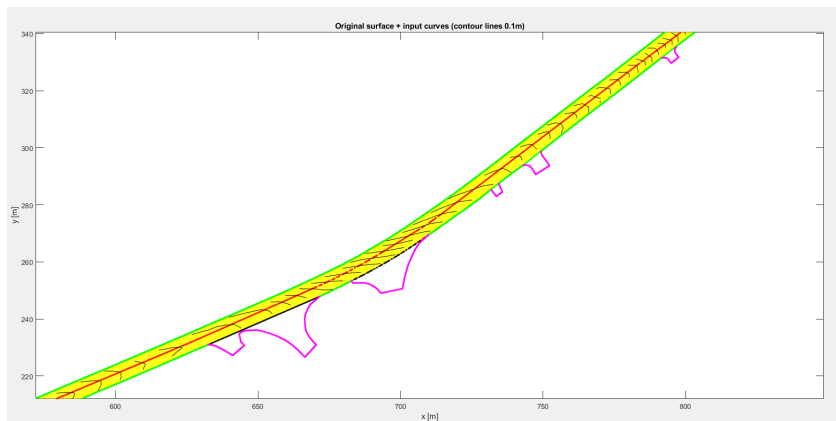


Figure 2: 30 2D zobrazení vstupních dat stavby programem – import dat do programu 1 km stavby trvá cca 10 minut.

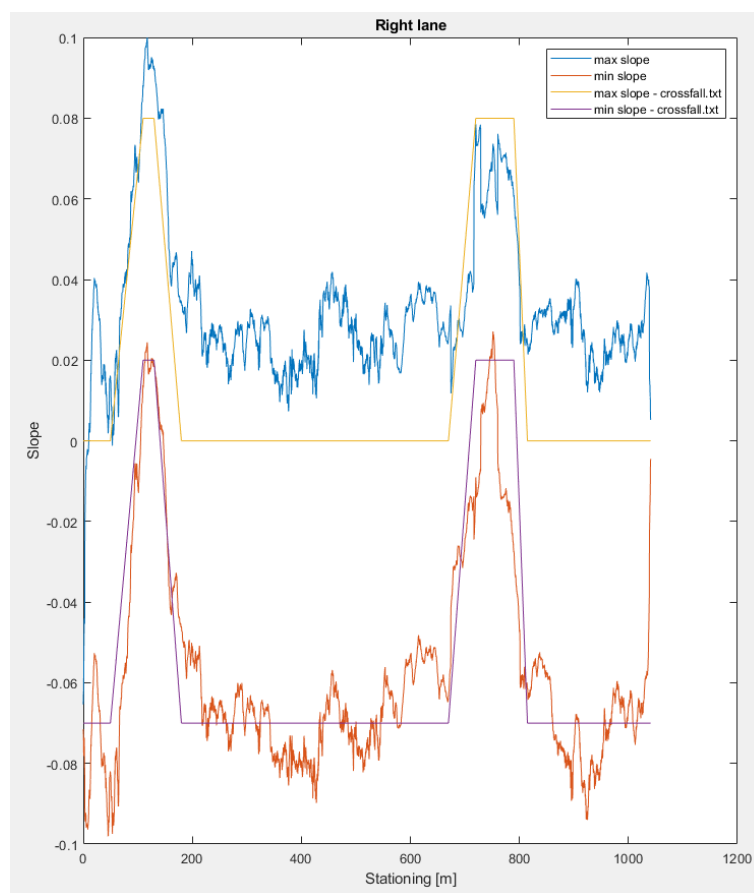


Figure 3: 32 Příčné sklony vozovky – V pravém jízdním pruhu, viditelná změna klopení příčného sklonu od staničení 650 m – 800 m, levotočivá zatáčka

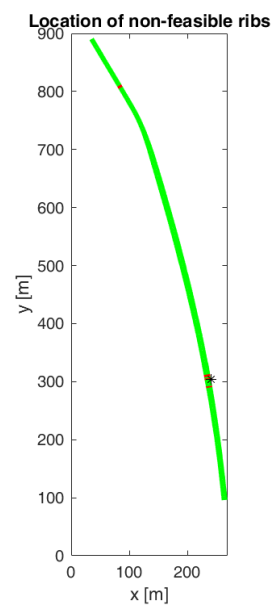


Figure 4: 33 Softwaru nyní zobrazuje přehlednou formou místa, kde projektant zadal nesplnitelné podmínky na sklon a hloubku frézování.

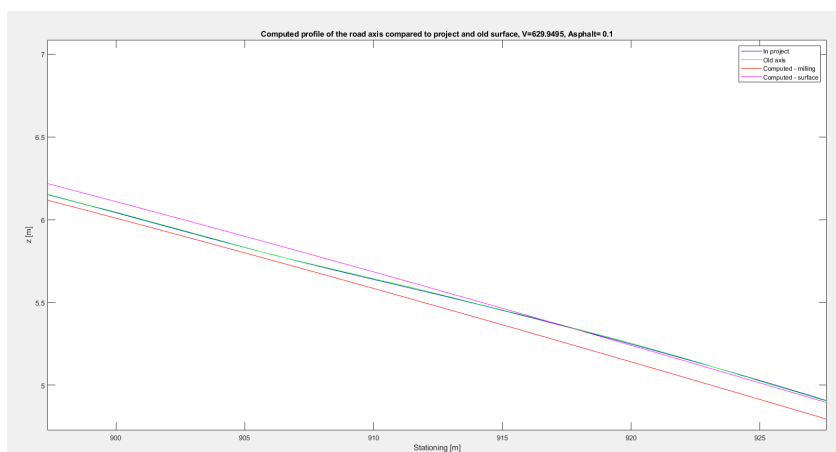


Figure 5: 34 Detail nivelety stavby – mezi staničením 900 m až 920 m je patrný přístup reprofilace ve výškovém profilu – na úseku dlouhém 20 m se z hodnoty hloubky frézování 3 cm plynule přejde na hloubku frézování 10 cm

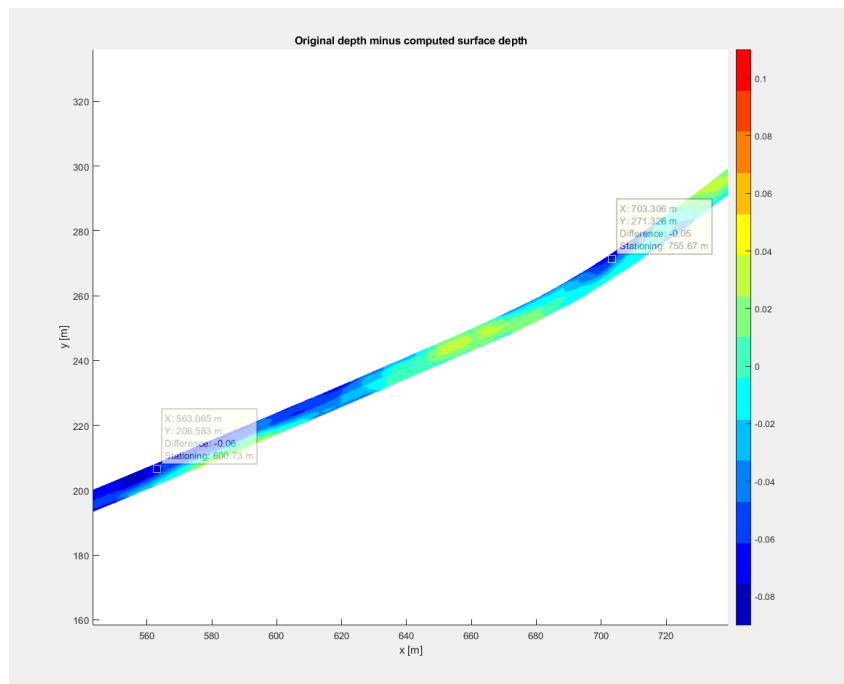


Figure 6: 35 Rozdílový model (výškový rozdíl mezi modelem reality a modelem stavby) – v daném úseku jsou vyznačeny dvě hodnoty na staničení 600 m a 755 m blíže popsané v příčných řezech. .

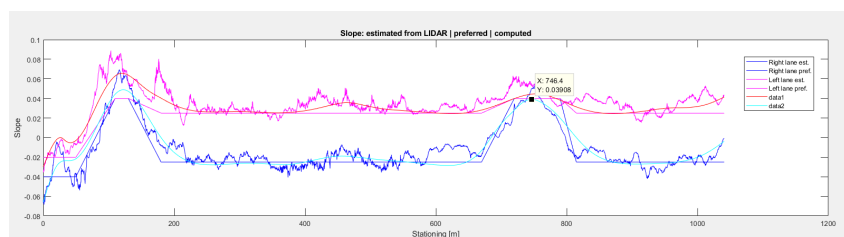


Figure 7: 38 Příčné sklony vozovky – V pravém jízdním pruhu, viditelná změna klopení příčného sklonu od staničení 650 m – 800 m, nový návrh se sklonem 4,5%.

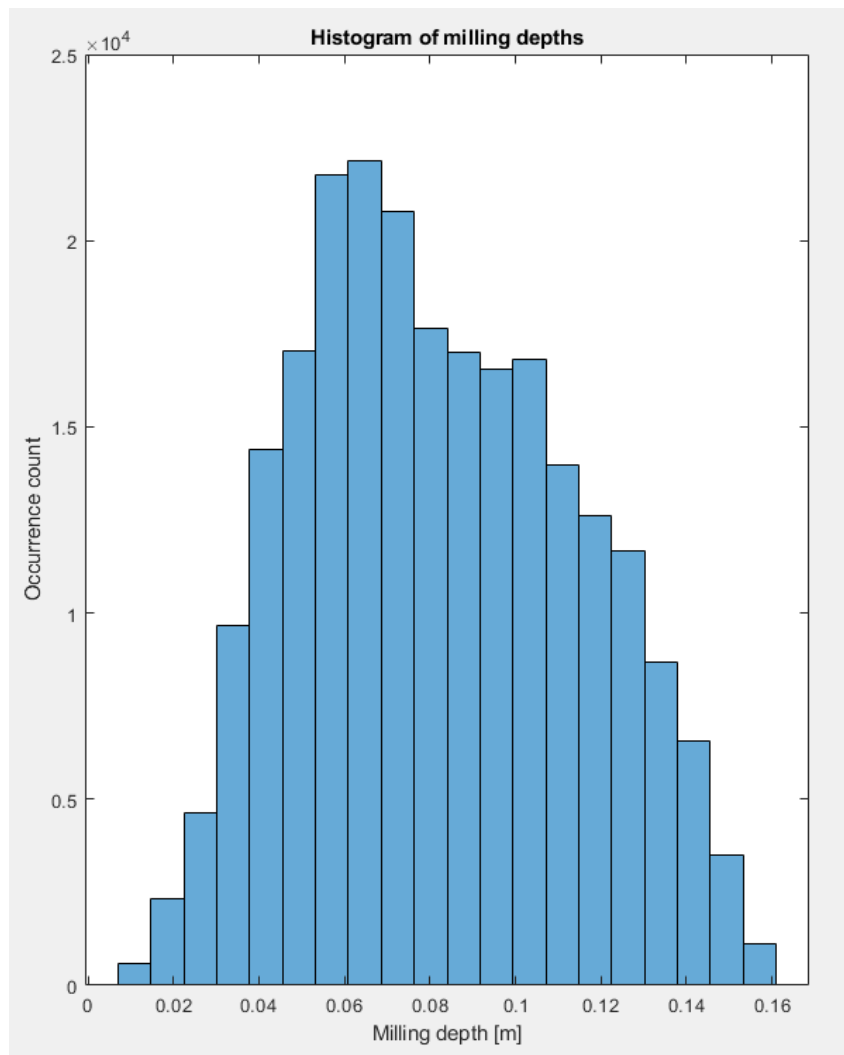


Figure 8: 39 Histogram rozložení frézování.

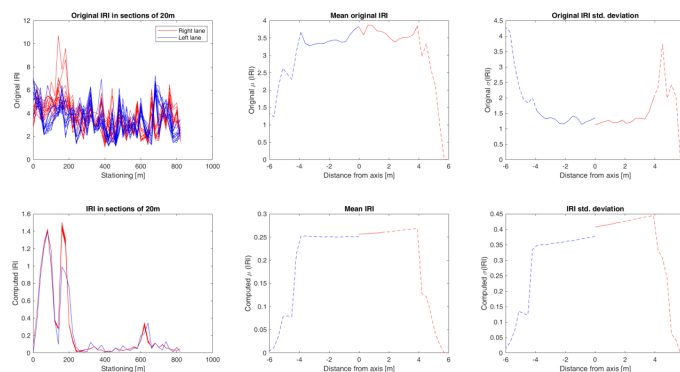


Figure 9: 40 Zobrazení mezinárodního indexu hrubosti (IRI) v novém prototypu ukazuje v jednom grafu levý i pravý jízdní pruh. První řádek odpovídá staré vozovce před rekonstrukcí. V druhém řádku je model navržený vyvinutým softwarem.

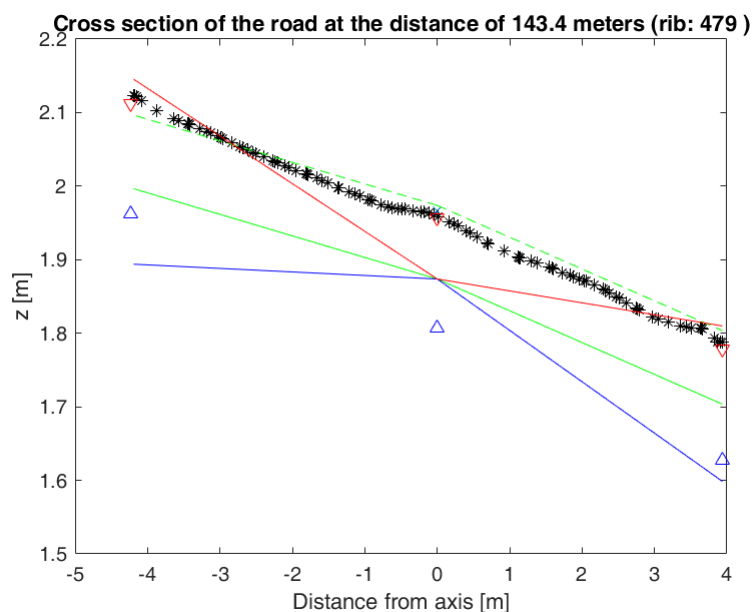


Figure 10: 46 Zobrazení příčného profilu pro zadanou kilometráž silnice. Projektant vidí původní povrch, sadu zadaných omezení na sklon vozovky a hloubku frézování a výsledný povrch navržený softwarem.

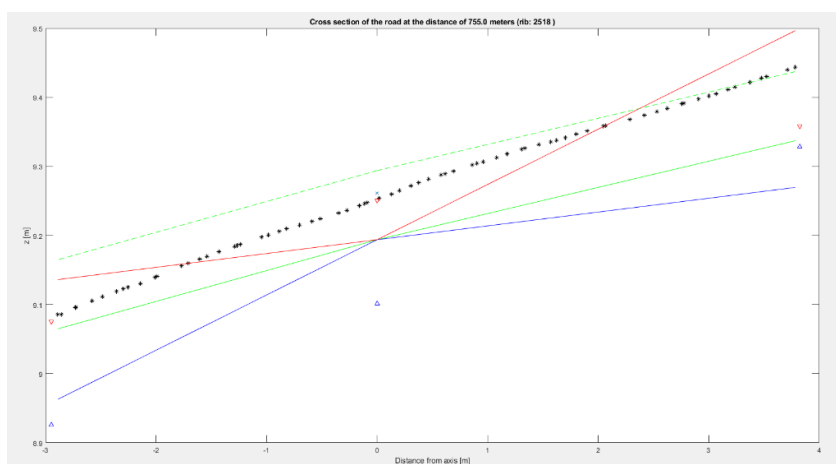


Figure 11: 46 Příčný řez staničení 755 m – levotočivá zatáčka – levá strana hodnota frézování 2 cm pravá strana hodnota frézování 10 cm .

6 Ukázka dalších výstupních dat

Kromě finálního řešení optimalizované vozovky najdeme ve výstupních tabulkách další data, jako je histogram hloubek frézování, statistické výpočty ploch objemů, úspora materiálu, hodnot IRI a průměrných hloubek.

1. Histogram hloubek frézování ve výstupním souboru `histTable.txt`

```
DepthMin DepthMax Number Area
0.0360 0.0427 509 18.1785
0.0427 0.0494 6835 192.4118
0.0494 0.0561 9501 261.1955
0.0561 0.0628 12312 337.7946
0.0628 0.0695 16444 455.3087
...
```

2. Hodnoty mezinárodního indexu hrubosti (IRI) ve výstupních souborech `iri/iri*.txt`

```
Stationing 0.00m 0.30m 0.60m ...
0 0.0014 0.0013 0.0012 0.0010 ...
20 0.3491 0.3526 0.3595 0.3598 ...
40 0.8713 0.8705 0.8766 0.8756 ...
60 1.2026 1.2035 1.2005 1.2078 ...
80 1.3970 1.4036 1.3869 1.3810 ...
100 1.1844 1.1550 1.1566 1.1271 ...
...
```

3. Statistika ukázkového výpočtu – úspora materiálu 18,3 procenta při průměrné tloušťce frézování 8,2 cm, celkový čas výpočtu stavby o délce 1 km je 32 sekund. Celkový report o výpočtu v souboru `diary.txt`

```
Optimization converged, exit flag 1
Smoothness z: 1.7875e-06
Smoothness s1: 1.1418e-08
Smoothness s2: 1.1579e-08
Max. milling depth: 0.16, Min. milling depth: 0.01
Mean milling depth: 0.0821
Volume: 629.9495
Area: 7712.3381
Theoretical volume (Area * Asphalt layer): 771.2338
Volume difference: 18.32%
Elapsed time of optimization: 33.59s
```

7 Specifikace vstupních souborů s projekčními omezeními

1. Vstupní mračno bodů vozovky silnice (LIDAR data)

```
1053144.38400,740867.23200,296.49500
1053144.69500,740867.45900,296.50100
1053144.46400,740867.26900,296.49500
1053144.64400,740867.34700,296.50000
1053143.11100,740866.42700,296.48600
1053141.74400,740865.61100,296.46300
...
```

2. Specifikace názvů vstupních souborů linií a fixních bodů (za hvězdičkami může být cokoli)

- *Axis_L*– definice osy (1 soubor)
- *Crosfall*– preference sklonu (1 soubor)
- *Fix_P*– omezení fixních bodů
- *Fix_L*– omezení fixních linií
- *Free_L*– omezení volných linií
- *Other_L*– omezení jiných linií

Příklad:

```
1,1053398.193208,740020.647903,298.078,-0.16,-0.01
2,1053398.175257,740020.826325,298.077,-0.16,-0.01
3,1053398.155237,740021.02532,298.077,-0.16,-0.01
4,1053398.135216,740021.224316,298.076,-0.16,-0.01
5,1053398.115196,740021.42311,298.076,-0.16,-0.01
...
```

3. Formát souboru Crosfall.txt Každý řádek obsahuje 10 údajů:

Pořadové číslo úseku, typ úseku (1 - rovný úsek, 2 - přechodnice, 3 - oblouk), začátek úseku (kilometráž), konec úseku, preferovaná hodnota sklonu vpravo, minimální hodnota sklonu vpravo, maximální hodnota sklonu vpravo, preferovaná hodnota sklonu vlevo, minimální hodnota sklonu vlevo, maximální hodnota sklonu vlevo. Hodnoty sklonu se uvádějí včetně znaménka v pohledu ve směru osy.

Příklad:

```
1,1,0,110,-2.5,-4,-0.5,2.5,-2,4
2,2,110,155
3,3,155,200,-2.5,-8,-2,-2.5,-8,-2
4,2,200,240
5,3,240,834,-2.5,-4,-0.5,-2.5,-4,-0.5
...
```

8 Ukázka vstupního konfiguračního souboru ve formátu XML

Tento soubor obsahuje základní konfigurační údaje pro daný úsek vozovky. Obsahuje cesty k souborům s projekčními omezeními, parametry předzpracování profilu koruny vozovky, globální omezení na sklon vozovky a hloubku frézování a několik dalších optimalizačních parametrů.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<conf>
  <path to curve_data="'.\data\silnice\lines'"
        lidar_data="'.\data\silnice\lidarData.txt'"
        output="'.\data\silnice\Output'"/>
  <preprocessing axis_density="0.3"
                 axis_dmin="0.01"
                 axis_pieces="20"
                 axis_resample="true"
                 maxlanewidth="10"/>
  <input asphalt_layer="0.1"
         maxsl1="0.08"
         maxsl2="0.08"
         minsl1="-0.08"
         minsl2="-0.08"/>
  <optim beta="80"
         gamma="1e-06"
         max_volume="900"
         maxdpt="0.1"
         mindpt="0.05"/>
  <iri iri_max_dist="6"
       iri_step="0.3"/>
</conf>
```