

VYUŽITÍ KOMBINÁCE NOVÝCH TECHNOLOGIÍ A KLASICKÝCH METÓD PŘI ZAMERANÍ NOVÝCH A EXISTUJÍCÍCH ÚSEKOV DIALNIC A VYHOTOVENÍ DMT JAKO PODKLADU PRE PROJEKTOVANIE V BIM

USE OF A COMBINATION OF NEW TECHNOLOGIES AND CLASSIC
METHODS DURING PRE-IMPLEMENTATION SURVEY OF NEW AND
EXISTING SECTIONS OF HIGHWAYS AND SUBSEQUENT EXECUTION
OF DMT AS BASIS FOR DESIGNING IN BIM

Štefan Brnčík¹

Abstrakt

Predmetom tohto príspevku je stručná charakteristika rozsahu geodetických prác, prístup k plánovaniu nasadenia rôznych technológií (ako boli mobilný laserový systém, Lidar, terestrický scanner, totálne stanice, GNSS aparatury, drony...) a popis realizácie jednotlivých dielčích meraní a následné spracovanie DMT.

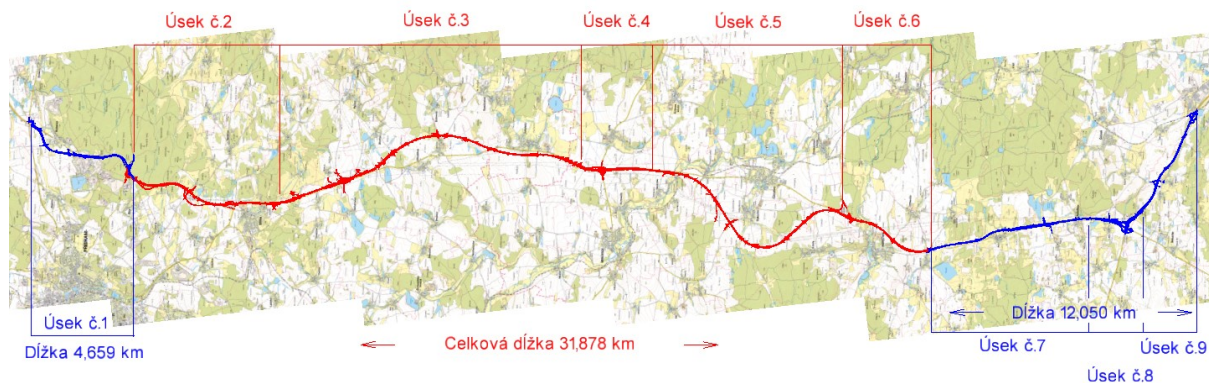
Abstract

The subject of this contribution is a brief description of the scope of geodetic works, approach to planning deployment of various technologies (such as a mobile laser system, Lidar, terrestrial scanner, total stations, GNSS equipment, drones...) and a description of the implementation of individual partial measurements and subsequent DMT processing.

1 Stručná charakteristika projektu

Tento príspevok sa zaoberá geodetickými činnosťami pri predrealizačnom zameraní existujúcich a nových úsekoch diaľnic na projekte „PPP D4, Dálnice D4 Skalka- Krašovice“. Projekt bol zaujímavý tým, že ako jeden z prvých v strednej Európe v sebe zahŕňal výstavbu 5-tich nových úsekov diaľnice ako aj prevzatie do správy a údržby 4-och stavebne už zrealizovaných a prevádzkovaných príslušných úsekov diaľnice.

¹ Brnčík Štefan, Ing., LANDEye s.r.o, Řípská 1464/11d, Slatina 627 00 Brno, tel.: +421907849762, mail: stefan.brncik@landeye.cz



Obr.1 - Situácia úsekov projektu

Každý z týchto úsekov je jedinečný, či už z pohľadu umiestnenia v teréne, ako aj z časového hľadiska ukončenia výstavby, resp. spracovania projektovej dokumentácie v stupni DSP pre plánovanú výstavbu (Tabuľka č.1 časové údaje o úsekoch).

Tabuľka č. 1 časové údaje o úsekoch

úsek	dokončenie výstavby	spracovanie DSP	aktualizácia DSP
1	2017		
2		2016	2017
3		2009	2018
4		2007	2019
5		2012	2018
6		2017	2017
7	2012		
8	2008		
9	2005		

Pozn: Pri aktualizácií DSP podľa dostupných podkladov nebolo realizované nové mapovanie.

Ako je zrejme s uvedených údajov, jedná sa o väčšie časové obdobie, z čoho vyplývala aj rôznorodosť a detailnosť dostupných podkladov (predrealizačných, resp. porealizačných zameraní a pod..) k jednotlivým úsekom. S ohľadom na požiadavku zadávateľa projektu, aby dokumentácia DRS obsahovala aj spracovanie jednotlivých SO v prostredí BIM minimálne v grafickej úrovni LOD 100 na všetkých úsekoch, vyplynula potreba nového mapovania vo vyššom stupni úrovne detailu, hustote, rozsahu ako aj

jednotnosti spracovania merania a následného vyhotovenia DMT (Digitálneho modelu terénu). Požiadavkou bolo, aby DMT obsahovalo zapracovanie aj umelých objektov (mostov, ORL, oporných múrov a pod..) a bolo v realizované v rozsahu ochranného pásma diaľnice.

Základné údaje o rozsahu:

Celková dĺžka 9 úsekov v osi je 48,587 km,

Celkom bolo v záujmovej lokalite 33 mostov,

Jeden skalný zárez dĺžky 525 m,

Celková plocha zamerania bola 1141 ha.

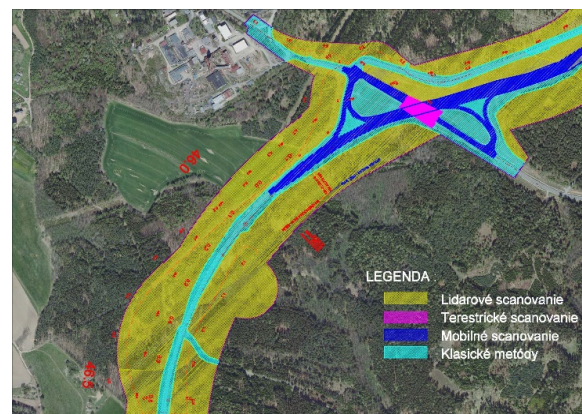
2 Plánovanie a príprava

Plánovanie postupu realizácie a využitia jednotlivých metód determinovali požiadavky objednávateľa na poradie odovzdávania DMT jednotlivých úsekov a požiadavky na presnosti jednotlivých prvkov. Prvým krokom pre plánovanie bola rekognoskácia terénu, ktorej hlavnú časť tvorilo:

- vyhľadanie v dostupných podkladoch údaje o existencii bodového poľa,
- fyzická obhliadka lokality,
- predbežný harmonogram s rozvrhnutím prác,
- vyhľadanie lokalít pre kontrolné a porovnávacie plochy (v prípade použitia Scanovacích technológií).



Obr. 1 Ukážka lokality



Obr. 2 návrhu nasadenia technológií

3 Princíp návrhu použitia technológií

Využitie jednotlivých technológií sa riadilo požiadavkami na presnosť zamerania :

- spevnené povrchy (cesty, betónové konštrukcie, okameňovania, spevnené poľné cesty),
- požadovaná presnosť $\sigma_{xy} = 0,03\text{m}$, $\sigma_h = 0,03\text{m}$
- nespevnené povrchy (role, pasienky),
- požadovaná presnosť $\sigma_{xy} = 0,10\text{m}$, $\sigma_h = 0,10\text{m}$
- umelé objekty ako ORL, mostné objekty a pod.
- požadovaná presnosť $\sigma_{xy} = 0,02\text{m}$, $\sigma_h = 0,015\text{m}$

Pozn: požadovanou presnosťou sa rozumie presnosť voči bodom bodového poľa.

4 Použité prístrojové vybavenie

Terestrické merania : 2 x Totálna stanica Leica TCRP 1201+ s príslušenstvom,

GNSS merania : 2 x Leica Viva GS 12 s príslušenstvom,

Mobilný skenovací systém : mobilný laserový skenovací systém Riegl VMX-2HA s príslušenstvom,

Terestrický skener : Laserový skener Leica HDS RTC360 s príslušenstvom,

Lidarový systém: Lidareto s integrovaným skenerom Velodyne PUCK ULTRA (32 lúčový) s duálnym anténovým GNSS prímačom.

5 Postupy pri použití jednotlivých technológií

5.1 Kontrola existujúceho bodového poľa:

Na úsekoch č.1, 2, 3, 4, 7 a 8 boli pri rekognoskácii nájdené body bodového poľa.

Kontrola polohových parametrov bola realizovaná dvojnásobným určením technológiou GNSS metódou RTK s predĺženou dobou observácie na 360 s (so sekundovým záznamom). Výsledné súradnice pre porovnanie boli vypočítané ako priemer z dvoch observácií. Polohová odchýlka pôvodných a novourčených súradníc nepresahovala hodnotu 15 mm. Výšková kontrola spočívala vo vzájomnom prepojení bodov Trigonometrickou niveláciou s bodmi nivelačnej siete nachádzajúcej sa v predmetnom území. Výškové rozdiely sa pohybovali v rozmedzí 3 -10 mm.

5.2 Zriadenie bodov pomocného bodového poľa

Na úsekoch 5,6 a 9 sa body vytyčovacej siete nenašli. Tu bolo potrebné zriadiť pomocné bodové pole, aby bolo možné realizovať merania spevnených

povrchov. Pomocné bodové pole bolo navrhované tak, aby bola zabezpečená vzájomná viditeľnosť a vzdialenosti bodov od seba nepresahovali dĺžku 200 m. Na styku so 4, 7 a 8 úsekom bola táto sieť napojená na minimálne 3 body existujúcej vytyčovacej siete predmetných úsekov. Polohové parametre boli určené technológiou GNNS a to každý cca 1 km statickou metódou s dĺžkou observácie 1 hodina a zvyšné body boli určené metódou RTK s predĺženou dobou observácie na 360 s (so sekundovým záznamom). Pomocné bodové pole bolo pri realizácii podrobných terestrických meraní vzájomne prepojené do polygónu. Polohové parametre boli následne určené vyrovnaním na celej štruktúre meraní, kde do výpočtu vstupovali pripojovacie body zo stykových úsekov a body určené statickou metódou ako fixné. Výškové pripojenie pomocného bodového poľa bolo realizované trigonometrickou niveláciou s pripojením na body nivelačnej siete nachádzajúcej sa v predmetnom území.

5.3 Dostupné spevnené plochy (Terestrické merania)

Dostupné spevnené plochy predstavovali cestu 1. triedy, účelové komunikácie, a spevnené poľné cesty vrátane príľahlých svahov, priepustov, okameňovaní a betónových žlabov. Tieto povrchy boli merané terestricky za použitia totálnych staníc vybavených jedno mužným systémom. Hustotu profilov určoval priebeh týchto povrchov. Pre komunikácie sa interval profilov pohyboval od 1-10 m. Výsledkom terestrických meraní po spracovaní v programovom prostredí Microstation bol polohopisno-výškopisný plán v 3D, z ktorého bol vyhotovený TIN-model spevnených povrchov.

5.4 Umelé objekty (Terestrické skenovanie)

Na základe požiadavky objednávateľa na zapracovanie mostných objektov, oporných stien, nádrží ORL do DMT bolo rozhodnuté, že na tieto prvky infraštruktúry sa aplikuje technológia terestrického skenovania, ktorého nespornou výhodou je možnosť detailného spracovania objektu v 3D. Pred samotným skenovaním boli na objekte umiestnené vlicovacie a kontrolné body, ktoré boli určené totálnou stanicou z bodov bodového poľa. Rozmiestnenie bodov na objekte určoval tvar a veľkosť objektu. Kontrolné body boli rozmiestnené tak, aby boli v rôznych výškových úrovniach a rovnomerne pokrývali celý objekt. Po naskenovaní objektu sa pristúpilo k spracovaniu dát v programovom prostredí Leica Cyclone Register 360. Spracovanie prebiehalo v niekoľkých úrovniach:

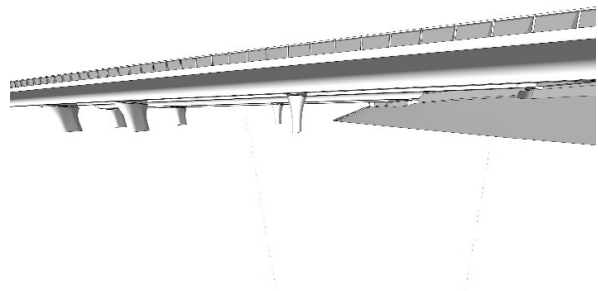
- spojenie jednotlivých stanovísk (mračien) do jedného
- odstránenie šumu

- referencovanie mračna na základe vlicovacích bodov (vždy boli použité minimálne 4)
- kontrola presnosti na kontrolných bodoch (odchýlky nesmeli presahovať interval 0-5 mm)

Vyhotovené a referencované mračno bodov bolo importované do programového prostredia SketchUp v ktorom bolo mračno spracované do 3D modelu. 3D model bol následne prevedený do tvaru TIN – modelu pre kompatibilitu na zapracovanie do celkového DMT.



Obr. 3 Ukážka mračna



Obr. 4 Vyhotovený 3D model

5.5 Nedostupné spevnené povrchy (Mobilné skenovanie)

Primárne sa jednalo o povrch a objekty v stredovom páse na úsekoch 1 a 7 až 9. Tieto úseky diaľnice sú už sprevádzkované. Vzhľadom na intenzitu dopravy nám zo strany prevádzkovateľa bol poskytnutý zákryt len na určitý čas a vo vymedzených dňoch a hodinách. Z tohto dôvodu sme na týchto úsekoch pristúpili na zber dát povrchu diaľnice a prvkov umiestnených v stredovom páse metódou mobilného skenovania. Mobilné skenovanie sme realizovali mobilným laserovým skenovacím systémom Riegl VMX-2HA samostatne v každom jazdnom smere. Kde skenovanie bolo realizované samostatne pre prvý úsek a úseky 7 až 9 boli realizované súčasne. Zber dát prebiehal v ranných hodinách za asistencie diaľničnej patroly. Tým sa vo veľkej miere eliminoval ruch z dopravy. Pri realizácii laserového skenovania bol zároveň realizovaný zber panoramatických snímok, ktoré slúžili na kolonizáciu výsledného mračna bodov. Georeferencovanie dát zabezpečila GNSS anténa s nepretržitým záznamom trajektórie. Samotné spracovanie skenovania prebiehalo v niekoľkých krokoch. Prvým krokom bol výpočet trajektórií postprocesingom s využitím RINEX údajov služby Czepos. Na spracovanie trajektórií bol použitý softvér PosPAC. Dáta mobilného laserového skenovania boli spracované v softvéri Riegl RiProcess a vyrovnané pomocou Riegl Riprecision. Mračná bodov boli očistené od šumu a

okoloidících vozidel v místě vozovky. Vyčištěné mračná bodov boli exportované do LAS súborov a pretransformované do súradnicového systému JTSK a výškového systému Bpv. Na transformáciu údajov zo systému ETRS89 (realizácia ETRF2000) v zobrazení UTM, severný pás 33 do systému S-JTSK, realizácia S-JTSK, s Křovákovým zobrazením bol použitý dvojkrokový postup, pričom v prvom kroku boli údaje pretransformované do systému S-JTSK/05. Na túto transformáciu bol použitý Molodenského-Badekasov transformačný model so 7 transformačnými parametrami, ktoré stanovilo a odporúča ČUZK. Použitý transformačný kľúč mal nasledovne parametre:

Tabuľka č.2 Transformačné parametre

translácia [m]	rotácia [``]	mierkový faktor
dx = -572.203	ox = 5.24832714	s = -3.5393
dy = -85.328	oy = 1.52900087	
dz = - 461.934	oz = 4.97311727	

Keďže systém S-JTSK je mierkovo lokálne veľmi deformovaný, bola v druhom kroku na lokálnu do transformáciu použitá metóda shift grid. Táto je založená na interpolácii reziduálnej zložky pre jednotlivé súradnice medzi systémami S-JTSK, realizácia S-JTSK a S-JTSK/05 z pravidelného gridu s krokom 200m.

Natransformované mračno bodov sme skontrolovali na vybraných identických bodoch. Za identické body boli vybrané jednoznačne identifikovateľné body, ako boli vrcholy dopravného značenia. V miestach kde to bolo možné v rámci bezpečnosti boli tieto body zamerané terestricky. Hustotu bodov sme v miestach križovaní diaľnice s mostnými objektami doplnili o vybrané body z terestrického skenovania. Vzhľadom na obmedzenú dostupnosť boli pre jednotlivé mračná realizované kontrolné body cca po 500 m. Na prvom úseku sa výškové odchýlky pre pravý jazdný pás pohybovali v rozmedzí -3 až -2 cm a pre ľavý jazdný pás -2 až -1 cm. Pre úseky 7 až 9 sa výškové odchýlky pre pravý jazdný pás aj ľavý jazdný pás pohybovali v rozmedzí -3 až -2 cm.

Polohové odchýlky na všetkých kontrolných bodoch sa pohybovali v rozmedzí 2-3 cm. Na základe odchýlok na kontrolných bodoch sme mračná výškovy upravili o +2 cm. Takto upravené mračná slúžili ako podklad na spracovanie 3D kresby s jednotlivých úsekov.

5.6 Nespevnené povrchy (Lidarové skenovanie)

Na zameranie terénu na nespevnených povrchoch bola využívaná metóda lidarového skenovania. Pre lidarové skenovanie bol použitý komplexný systém Lidaretto. V závislosti na type terénu bol zvolený nosič pre lidarový systém:

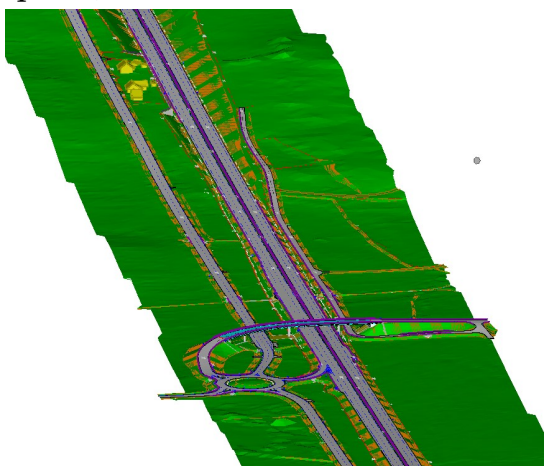
- dron (voľné terény mimo zastavaného územia a ciest),
- vozidlo (terény v blízkosti komunikácií),
- batoh (v zastavaných častiach a miestach kde nebol možný prístup autom).

Pri rekognoskácii terénu boli rozvrhnuté lokality pre jednotlivé nosiče systému a umiestnenia kontrolných plôch. Následne bola naplánovaná optimálna trasa. V prípade dronu sa jednalo hlavne o výber vzletovej a pristávacej plochy a preverenie výškových prekážok ako sú elektrické stĺpy, vysoká vegetácia a pod.. Pri vozidle začiatkové miesto, priebeh komunikácií a prípadných prekážok na nich ako je prevísajúca vegetácia pri komunikáciách, prípadný podchod a pod.. Po „na lidarovaní“ prichádzalo k spracovaniu dát, ktoré bolo realizované v niekoľkých krokoch. Výpočet trajektórie v programovom prostredí Inertial Explorer postprocesingom s využitím RINEX údajov služby CzePos. Po výpočte trajektórie bolo pristúpené k samotnému generovaniu mračna bodov, ktoré bolo realizované v software lidaretto Creator. Následne bolo mračno bodov v tomto software očistené o základné šumy a vyexportované do štandardného formátu LAS. Pre spracovanie modelu nespevneného povrchu bolo potrebné najskôr očistené mračno filtrovať a klasifikovať. Toto bolo realizované v programovom prostredí 3Dsurvey. Po automatickej klasifikácii do jednotlivých skupín, bola ďalej využívaná základná skupina „ground“ ,ktorá bola manuálne kontrolovaná za pomoci rezov. Následne bol s tejto skupiny vygenerovaný pomocný TIN-model o mriežke 0,25 m x 0,25 m. Kde pre tvorbu modelu bola zadaná podmienka aby vrcholy trojuholníkov generoval na základe výšky bodov v okolí 0,1 m. Tento model bol výškovo kontrolovaný, porovnávaný s kontrolným TIN-modelom vytvoreným na kontrolných plochách v každej lokalite. Kontrolné plochy boli zamerané terestricky v rastri 1 x 1 m. Veľkosť každej kontrolnej plochy bola 5 x 5 m. Počet kontrolných plôch závisel od veľkosti spracovávanej lokality pohyboval sa v rozmedzí 6-12. Výšková kontrola bola realizovaná porovnaním modelov vo vrcholoch kontrolného TIN-modelu. V prípade ak priemerné odchýlky na všetkých kontrolných plochách boli rovnakého znamienka, smeru a veľkosti (príklad : -6;-5;-7;-6;-7;-5= priemer -6) bol pomocný model ground povrchu upravený o výškovú

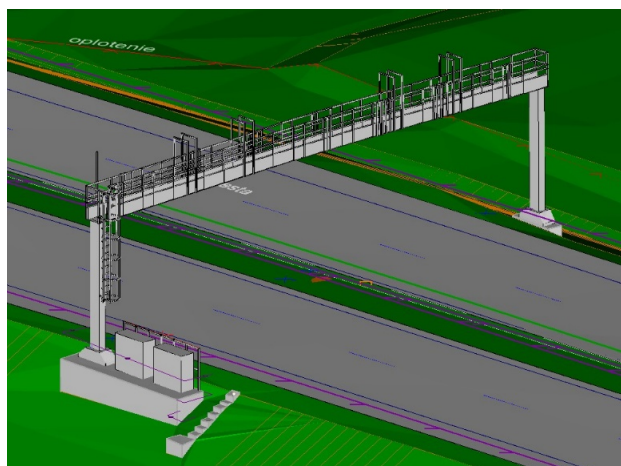
korekciu zodpovedajúcu priemeru (teda +6 cm). Takto upravený pomocný model slúžil na vygenerovanie TIN-modelu v rastri 5 x 5 m, ktorý bol následne zapracovávaný do celkového DMT úseku.

6 Vyhotovenie kompletného DMT úseku

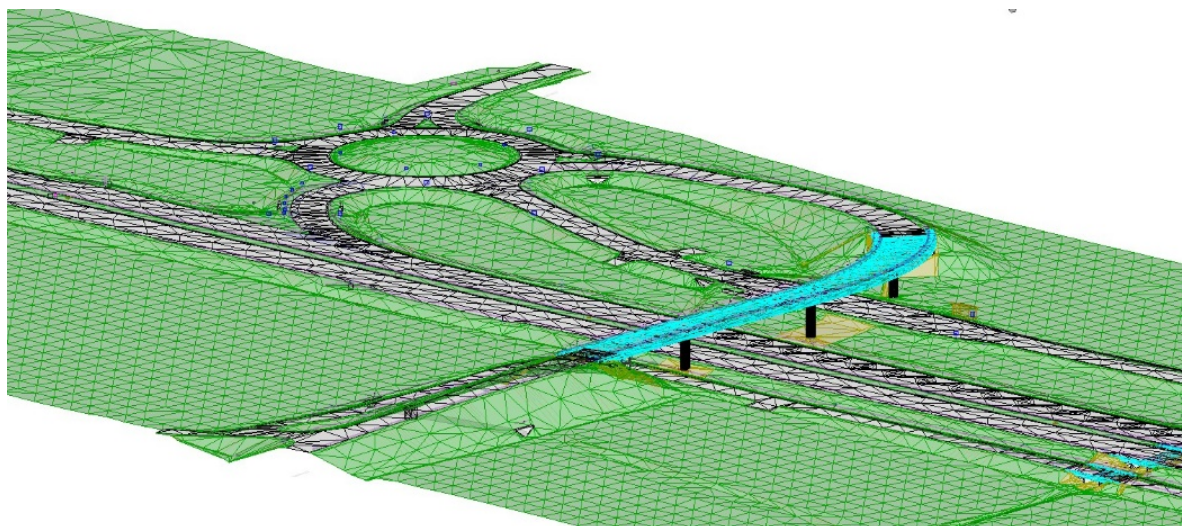
Vyhotovenie kompletného DMT bolo realizované v programovom prostredí Microstation. Vyhotovenie kompletného modelu pozostávalo z vyhotovenia TIN-modelu z terestrických meraní a jeho následného spojenia s čiastkovými TIN-modelmi vyhotovenými ostatnými technológiami. Kompletný DMT model predstavoval jednotný model rozvrstvený na čiastkové modely mostných objektov, priepustov a portálových konštrukcií. Súčasťou dodávky bol aj komplexne spracovaný polohopisno-výškopisný plán v 3D obsahujúci všetky prvky v samostatných vrstvách. Bol vyhotovený na podklade polohopisno-výškopisného plánu spevnených povrchov, ktorý bol doplnený o prvky vyhotovené ostatnými metódami (3D línie, podrobné body a pod..).



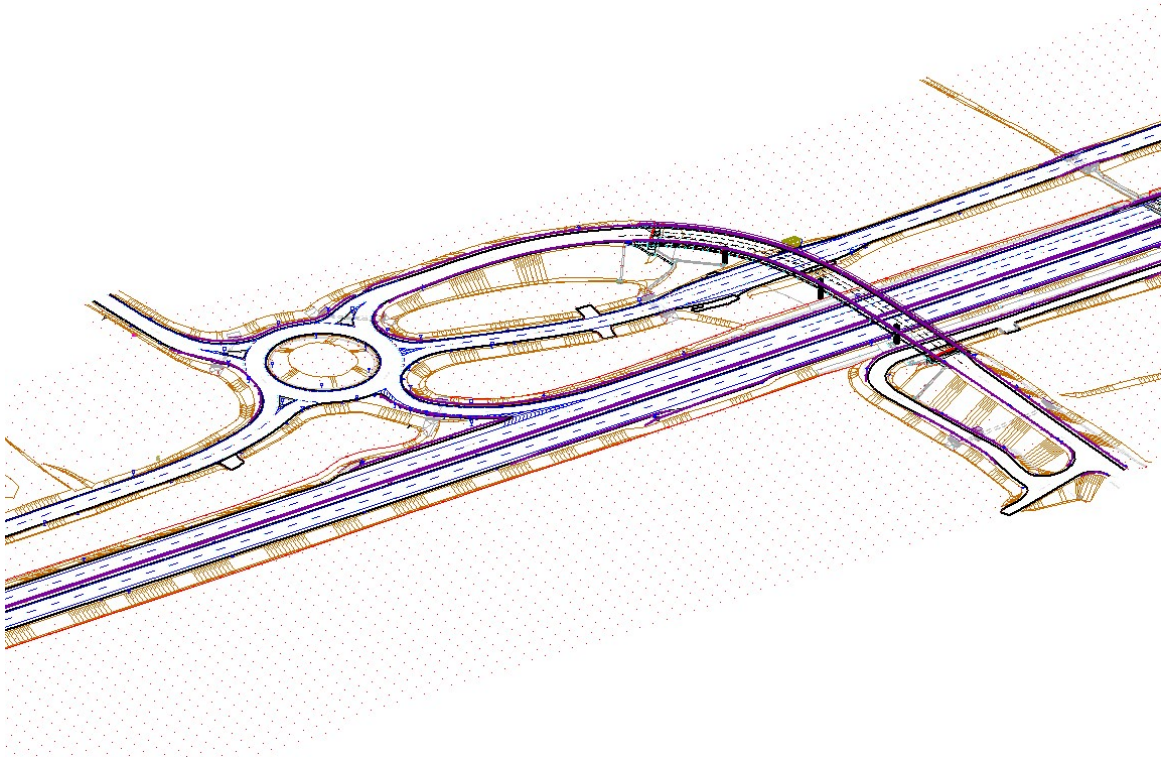
Obr. 5 Ukážka spracovaného DMT



Obr. 6 Ukážka mýtnej brány v DMT

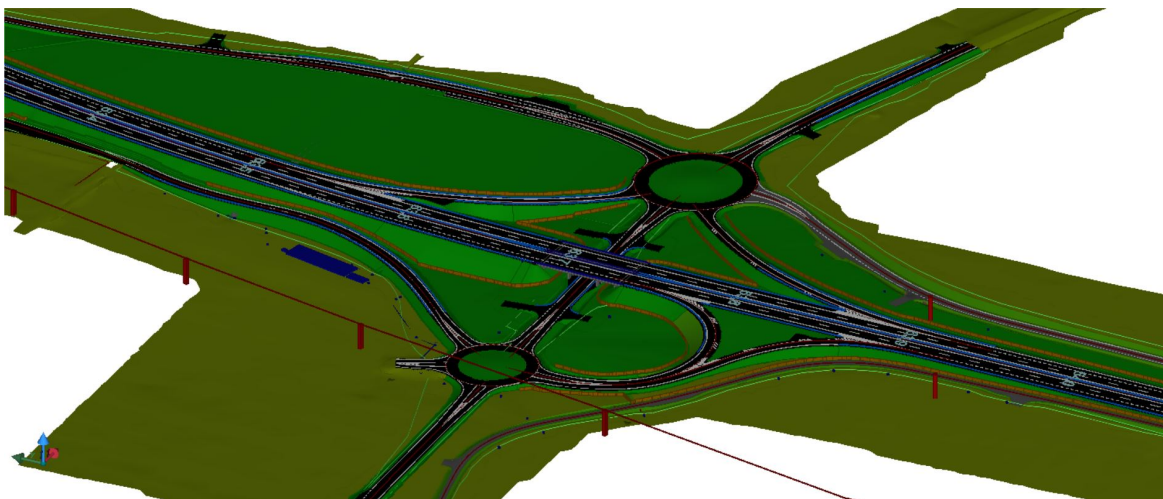


Obr. 7 Ukážka spracovaného DMT v tvare TIN-modelu

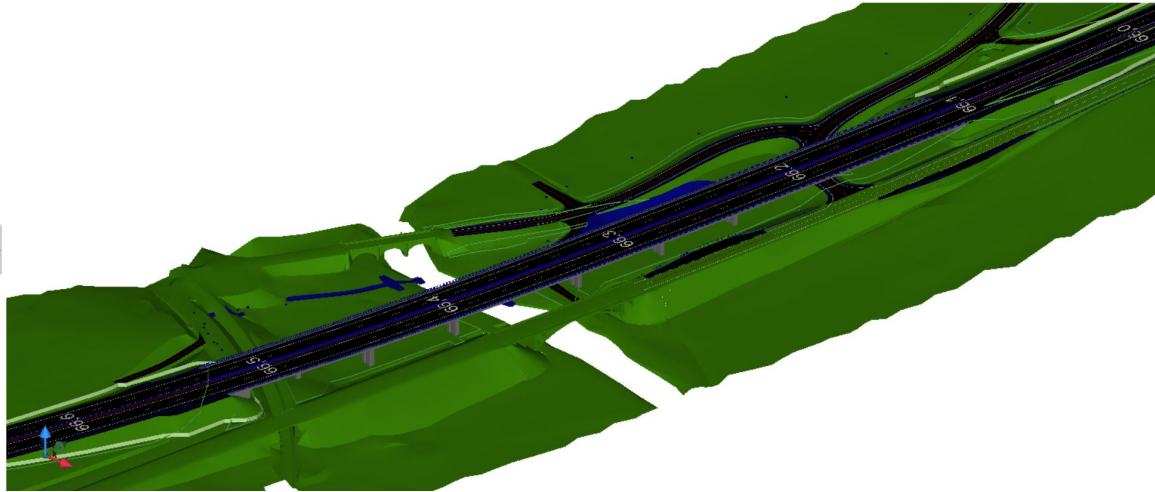


Obr. 8 Ukážka spracovaného polohopisno-výškopisného plánu

7 Ukážky spracovanej DRS v grafickej úrovni LOD 100 na podklade predrealizačného DMT



Obr. 9 Ukážka spracovanej DRS na podklade DMT „Dominanta 4 úseku – mimoúrovňová križovatka Lety“



Obr. 10 Ukážka spracovanej DRS na podklade DMT „Dominanta 5 úseku – objekt 201 Most v km 66,220 přes řeku Skalici“

8 Závěr

S nástupom BIM riešení aj pri projektoch výstavby dopravnej infraštruktúry bude nevyhnutnou súčasťou podkladov pre projekciu predrealizačné zameranie v oveľa vyššom stupni detailnosti a podrobnosti ako bolo zvykom. Toto si nevyhnutne vyžaduje doplnenie klasických metód o použitie nových technológií umožňujúcich rýchly zber dát súčasne s dosiahnutím vysokej úrovne podrobnosti v relatívne krátkom čase.

*Lektoroval: Ing. Jozef Kožár
(GEEKOD, s.r.o.)*