

SROVNÁNÍ GEODETICKÝCH PODKLADŮ PRO PROJEKT MODERNIZACE DÁLNICE D1 POŘÍZENÝCH LASEROVÝM SKENOVÁNÍM POZEMNÍ A LETECKOU METODOU A TRIGONOMETRICKÝM MĚŘENÍM

A COMPARISON OF GEODETIC DATA COLLECTED FOR THE PROJECT TO MODERNISE THE D1 MOTORWAY BY MEANS OF LASER SCANNING OF THE TERRAIN, USING THE AERIAL METHOD AND TRIGONOMETRIC MEASUREMENT

Sobotka, P.¹ – Sirotek, M.²

Abstract:

The Prague to Brno motorway is the oldest motorway in the Czech Republic. An unbelievable 32 years passed from the commencement of its construction in 1939 to the putting into operation of its first section in 1971. Currently this section of the D1 is the most heavily used road in the Czech Republic and urgently requires an extensive modernisation. For this reason an extensive geodetic survey was carried out in 2010. Various geodetic methods and technologies were used in this survey. This article compares the various methods and technologies used.

1 Úvod

1.1 40. výročí zprovoznění prvního úseku dálnice D1

Dálnice D1 spojí po svém dobudování jedinou komunikací Prahu, Brno, Ostravu a u Bohumína propojí dálniční systém České republiky a Polska.

Stavba D1 byla zahájena v září 1967, tehdy však jako součást páteřní komunikace ČSSR, která měla od západu k východu v délce 722 km vést z Prahy přes Jihlavu, Brno, Trenčín, Žilinu, Prešov a Košice až na hranici se Sovětským svazem [2].

Jako první byl 12. 7. 1971 uveden do provozu po čtyřech letech výstavby 21,3 km dlouhý úsek Praha - Mirošovice a o rok později 7,8 km dlouhý úsek Kývalka-Brno Západ. Dálniční propojení Prahy a Brna bylo dokončeno 8. 11. 1980 zprovozněním 20,7 km dlouhého úseku Humpolec – Pávov [1].

V červenci letošního roku jsme tedy oslavili 40. výročí zprovoznění prvního úseku dálnice v tehdejším Československu.

1.2 Historie dálnice Praha – Brno

Z dnešního pohledu se zdá být téměř neuvěřitelné, že k otevření prvního úseku dálnice došlo vlivem historicko-politických až po více než 32 letech od prvního zahájení výstavby. Během tohoto dlouhého období, kdy byly stavební práce opakovaně přerušovány a znovu

¹ Ing. Pavel Sobotka, PRAGOPROJEKT, a.s., K Ryšánce 16, 147 54 Praha 4, tel.: +420 226 066 180,
e-mail: sobotka@pragoprojekt.cz

² Ing. Martin Sirotek, VIAPONT, s.r.o., Vodní 258/13, 602 00 Brno, tel.: +420 543 217 590,
e-mail: sirotek@viapont.cz

zahajovány, došlo k mnoha korekcím trasy dálnice i jejích technických parametrů a několika změnám politických systémů.

Seriózní úvahy o vybudování dálkové komunikace, která by umožnila rychlé spojení západu a východu Československé republiky, byly prezentovány v roce 1935. Prvním úředně schváleným projektem silniční magistrály pak bylo spojení Moravy se Slovenskem, který nechal na vlastní náklady zpracovat obuvnický velkopodnikatel J. A. Baťa, jenž navrhoval vybudování dálkové silnice „Cheb - Velký Bočkov“ ze západních Čech na tehdejší Podkarpatskou Rus [3].

Po přijetí Mnichovské dohody v září 1938 vznikla naléhavá potřeba rychlého propojení okleštěného území tzv. Druhé republiky. Projekční práce začaly prakticky okamžitě, výstavba byla zahájena 2. 5. 1939, tedy již po vzniku Protektorátu Čechy a Morava, po přizpůsobení projektu německým normám a schválení generálním inspektorem německých silnic. Stavební práce probíhaly na jednotlivých úsecích různým tempem až do 30. 4. 1942, kdy byly po nátlaku říšského protektora zastaveny ve prospěch válečného průmyslu (některé části dálnice již byly ve velmi pokročilém stadiu výstavby).

Po válce v roce 1946 byly stavební práce na dálnici obnoveny, avšak v mnohem menším rozsahu než před přerušením v roce 1942. Po převratu v roce 1948 došlo k postupnému utlumování stavebních prací, které byly v závěru roku 1950 zastaveny úplně (paradoxně pak byla v prosinci 1952 v Jihlavském kraji zkolaudována řada dílčích staveb).

Projekční práce, které pak vedly k vybudování dálnice Praha-Brno v podobě, jakou známe dnes, byly zahájeny až po více než 10 letech ve zcela jiných podmínkách. Současná dálniční komunikace je vybudována v řadě úseků v koridoru původní trasy dálnice a využívá přitom mnoha jejích objektů (včetně řady mostů), zčásti musela být vedena v jiné trase (např. v důsledku vybudování vodní nádrže Želivka).

1.3 Současný stav dálnice D1

Po téměř 40 letech provozu je dnes D1 ve velmi špatném technickém stavu, s výjimkou úseku Praha – Mirošovice, kde byla provedena komplexní rekonstrukce dálnice a její rozšíření na 3 jízdní pruhy v každém směru. Dálniční vozovka dosáhla hranice své životnosti. K poruchám dochází jak v úsecích s asfaltovým povrchem, tak v úsecích s betonovými vozovkami. Betonové kry vozovky se začínají, zejména v pravém pruhu, prosedat a dochází ke vzniku výškových nerovností i několik cm. Následně začíná docházet k lokální destrukci vozovky. V posledních letech byla provedena řada oprav (frézování nerovností, položení krycího koberce). Zdá se však, že již bylo dosaženo hranice, kdy další opravování nemá smysl a ani není technicky možné (dodavatelé odmítají převzít záruky za opravené úseky).

Intenzity provozu na dálnici D1 jsou nejvyšší dosažené v ČR. V roce 2010 bylo v ČR provedeno celostátní sčítání dopravy. Na dálnici jsou dále k dispozici údaje z průběžného měření a údaje z mýtných bran.

Dálnici D1 lze z hlediska dosažené intenzity dopravy rozdělit do tří pásem. V úseku Praha - Mirošovice je dosahována intenzita 65 000 – 90 000 voz/24.hod. V tomto úseku je dálnice již opravená a třípruhová. V úseku Mirošovice – Kývalka se pohybují zjištěné intenzity mezi 35 000 – 40 000 voz/24hod. V úseku Kývalka – Brno – Holubice dosahují intenzity hodnot 45 000 – 60 000 voz/24 hod. V souvislosti s vyhodnocováním výsledků sčítání dopravy bylo konstatováno, že oproti roku 2005 nedošlo k zásadnímu nárůstu dopravy na dálnicích a silnicích I. třídy a byly aktualizovány výhledové koeficienty růstu intenzity dopravy pro období 2015 – 2040.

1.4 Výhled od budoucnosti

S ohledem na výsledky sčítání dopravy a jejich projekci do výhledu na období 2010 – 2035 lze konstatovat, že v úseku Mirošovice Kývalka o délce celkem 160 km stávající uspořádání dálnice se 2 jízdními pruhy v každém směru vyhoví i v uvedeném návrhovém intervalu. Po zvážení reálných možností (stavebně technická připravenost, dostupné finanční prostředky a možnosti při investiční přípravě takto rozsáhlé stavby), bylo rozhodnuto provést modernizaci dálnice ve stávajícím šířkovém uspořádání s rozšířením vozovek na min. šířku 11,50 m, které umožní dočasný provoz 2+2 pruhy při opravách. Modernizace zahrne kompletní výměnu vozovek a opravu nebo náhradu všech mostů, současně bude nahrazeno veškeré vybavení dálnice tak, aby odpovídalo stávajícím technickým požadavkům. Předpokládá se financování s pomocí příspěvku z Fondu soudržnosti s realizací celé akce v letech 2012 – 2015.

V úseku Kývalka – Brno – Holubice, kde dosahují současné intenzity hodnot 45 000 až 60 000 voz. /24 hod a ve výhledu do roku 2035 již 70 000 až 100 000 voz. /24 hod. je potřeba kromě opravy rozšířit dálnici i o třetí jízdní pruh. Pro tento úsek byla zpracována řada studií a v některých případech i dokumentace DÚR, o termínu realizace ale dosud nebylo rozhodnuto.

2 Měření pro potřeby modernizace dálnice D1

ŘSD ČR objednalo v průběhu uplynulých let vypracování studie modernizace dálnice D1 v úseku Mirošovice-Kývalka (km 21,3 – 182,7) a následně i zpracování dokumentace DSP/ZDS pro prvních pět stavebních úseků.

Stávající ZMD, byť v mezích možností aktualizovaná, se ukázala být nedostatečným podkladem pro náročnější projektovou činnost. U starších úseků její digitální podoba vnikla z větší části digitalizací původní analogové (papírové) mapy. U nových úseků bylo již prováděno zaměření v terénu, ale zejména výšková přesnost údajů není pro projektové práce dostačující.

V průběhu roku 2010 došlo v rámci přípravy projektů k zaměření těch úseků dálnice, které byly z hlediska modernizace označeny jako prioritní. Některé úseky byly nově zaměřeny (zajišťovaly projektové firmy), v některých úsecích byla provedena aktualizace stávající ZMD.

Určitým problémem bylo, že ze strany ŘSD ČR neexistovalo jednotné zadání. V důsledku toho byly rozsáhlé úseky dálnice zaměřovány na objednávky různých subjektů v rozdílných (někdy vzájemně se prolínajících) časových obdobích a na základě různých zadání (nové zaměření / aktualizace stávající ZMD). Pro zhotovení mapových podkladů v jednotlivých dílčích projektově řešených úsecích dálnice proto byly použity (a kombinovány) různé geodetické metody (měření byla provedena totálními stanicemi, použitím GNSS a metodami pozemního a leteckého laserového skenování).

Před zahájením stavebních prací bude nutné vybudovat v celé délce úpravy (160 km) jednotné bodové pole, aby mezi dílčími stavebními úseky nedocházelo k prostorovým rozdílům v hodnotách několika centimetrů (zejména ve výškách).

Společnost PRAGOPROJEKT, a.s. v loňském roce řešila úsek 4 (Šternov – Psáře, pozemní laserové skenování s významným podílem konvenčního měření), úsek 7 (Loket – Hořice, letecké laserové skenování s menším podílem konvenčních doměrků), úsek 17 (Lhotka – Velká Bíteš, aktualizace stávající ZMD konvenčním doměřením).

Společnost VIAPONT, s.r.o. řešila úsek 18 (Velká Bíteš – Devět Křížů), bylo použito letecké laserové skenování a samostatné zaměření klasickou geodetickou technologií.

Na zaměření byly kladeny vysoké požadavky jak na přesnost tak i na rychlost zpracování:

- směrodatná výšková odchylka na zpevněných površích 40 mm (relativní odchylka vzhledem k referenčním bodům státní nivelační sítě 30 mm),
- směrodatná výšková odchylka na nezpevněných površích 120 mm,
- směrodatná polohová odchylka 100 mm,
- předání geodetického podkladu do projekce 1 měsíc po objednání.

Současně se zaměřením území v zájmovém území projektu probíhaly aktualizace průzkumu stávajících inženýrských sítí a databáze majetkoprávních vztahů k pozemkům.

2.1 Měření konvenčními geodetickými metodami

S ohledem na možnosti přístupu na dálnici za plného provozu, byly klasickým způsobem zaměřeny vnější hrany zpevnění dálnice a okolí dálnice v nutném rozsahu. Používal se interval příčných řezů 50 m až 80 m. Měření bylo napojeno na stávající body ZPBP, ZVBP v okolí dálnice a na body sítě ŘSD. Podrobnost zaměření byla v jednotlivých úsecích (4, 7, 11, 17 a 18) mírně odlišná podle požadavku projektanta a způsobu práce zhotovitele.

Ve všech případech byly výsledky klasického měření konfrontovány s výsledky pozemního resp. leteckého skenování.

2.2 Pozemní laserové skenování

Metoda byla použita v úseku 4, Šternov – Psáře, km 41.87-49.31.

Měření byla prováděna březnu a dubnu 2010. Skenování provedla firma Control System International, s.r.o. přístrojem RIEGL [9].

Očištěná mračna bodů byla zředěna na hustotu cca 1 bod na cca 2 m² až 3 m² a byly vektorizovány okraje vozovek. Výsledný geodetický podklad pro projekt vznikl takto zpracovaným výstupem ze skenování, který byl doplněn poměrně rozsáhlým doměřením polohopisu a míst a prvků, které nebyly skenováním postihnuty.

Při přebírání výsledků laserového skenování byla provedena kontrola porovnáním s nezávislým geodetickým zaměřením. Zjištěné rozdíly nadmořských výšek na krajích vozovek nepřekročily 30 mm (průměrná hodnota 20 mm) a v poloze 100 mm [6].

Lze tedy konstatovat, že tato metoda pozemního skenování je srovnatelná s klasickým zaměřením a vyhovuje tedy potřebám projektu. Výhodou metody ve srovnání s leteckým skenováním je zejména [4], [8]:

- operativnost a časová flexibilita,
- ekonomický efekt i pro měření rozsahem menších lokalit,
- lepší výšková přesnost (20 mm),
- použitelnost i pro zaměření tunelů a prostor pod mosty.

Negativem je naopak:

- absence polohové složky v jinak velmi kvalitním výškovém modelu, kterou je nutné převzít z jiných podkladů nebo provést doměřením polohopisu (vyhodnocení okrajů vozovky z obarveného mračna bodů nebylo zcela spolehlivé),
- vyšší počet falešných odrazů => náročné čištění a editace DTM, zejména na zpevněných površích, kde je požadována vysoká výšková přesnost,
- měření na dálnici za provozu – nutnost náročných dopravních opatření pro zajištění bezpečnosti práce, součinnost s SSÚD.

2.3 Letecké laserové skenování

Metoda skenování z vrtulníku byla použita pro zaměření úseku 7, Loket – Hořice, km 66,45 - 75,82 a dále v úseku 18, Velká Bíteš – Devět Křížů, km 163,59 – 168,64.

Měření byla realizována v dubnu a květnu 2010. Zajímavostí je, že harmonogram prací byl hned v počátku narušen aktivitou islandské sopky Eyjafjallajökull, jejíž popel způsobil několikadenní uzavření vzdušného prostoru nad částí Evropy.

V úseku 7 byla partnerem projektanta firma Control System International, s.r.o., vlastní skenování provedla firma Blom technologií TOPEYE [10]. V úseku 18 zajišťovala pro projektanta firma Blom Czech Republic jak skenování, tak i kompletní zpracování výsledků včetně podpory při snímání příčných řezů v požadovaných řezech.

V úseku 7 byla očištěná mračna bodů o průměrné hustotě 19 bodů/m² obdobně jako v případě pozemního skenování zředěna na hustotu cca 1 bod na cca 2 m² až 3 m², vektorizovány byly též okraje vozovek. Vzhledem k tomu, že sken byl doplněn kvalitní ortofotomapou o vysokém rozlišení, bylo možné do podkladu pro projekt převzít řadu polohopisných prvků i části povinných spojnic pro DTM bez nutnosti rozsáhlejších doměrků.

V úseku 18 bylo očištěné mračno bodů ponecháno ve vyšší hustotě a byl připraven terénní model na základě povinných spojnic identifikovaných v kvalitní ortofotomapě (30 mm /pixel). Podrobnější model vyžadoval při snímání příčných řezů práci se speciálním softwarem, schopným reagovat správně na velké množství bodů v pásu řezu.

Kontrolní měření geodetem projektanta nezjistily rozdíly v nadmořských výškách na okrajích vozovek vyšší než 45 mm (průměrná hodnota 30 mm) a v poloze 100 mm [7]. Z hlediska projektové firmy jsou hlavní výhody použité metody:

- vysoká efektivita při zaměření rozsáhlých zájmových území,
- bezpečnost práce, nejsou nutná žádná dopravní opatření,
- díky ortofotomapě o vysokém rozlišení je výrazně redukován podíl ploch, které je nutno doměřit (lze odvodit např. hranice zeleně, rozhraní ploch, dopravní značky, linie svodidel, spárořez dlaždic odvodňovacích žlabů apod.).

Nevýhody metody spatřuje geodet projektanta zejména v:

- nižší výškové přesnosti proti pozemnímu skenování (30 mm),
- v současné době v ČR neekonomické pro menší lokality,
- nutnosti doměření vegetací zacloněných objektů a pro laser skrytých prostor (pod mosty, v tunelech, čela propustků apod.).

2.4 Srovnání výsledků ze získaných podkladů

Při práci na úseku 18 byla věnována velká pozornost srovnávání výsledků, získaných jednotlivými metodami s cílem připravit podklad pro zadání a zpracování zaměření ostatních projekčních úseků. Podrobně byla posuzována možnost práce s příčnými řezy a jejich použití v dalším projektování.

Klasickým způsobem byly zaměřeny příčné řezy po cca 80 m. Model DTM vytvořený z těchto řezů bylo možné použít tam, kde povinné spojnice kopírovaly skutečné hrany – šlo zejména o hranu zpevnění. Nevýhodou metody je značná generalizace terénu. Údaje z tělesa, získané interpolací, byly nutně zatíženy chybou danou nepravidelností měřeného terénu. Výhodou tohoto modelu byla naopak rychlá odezva při snímání řezů – model byl relativně malý.

Při použití modelu z leteckého skenování bylo problematické stanovení povinných spojnic. Tyto spojnice byly polohově odečteny z přesné ortofotomapy, jejich zavedení do modelu potom způsobilo v řadě případů jeho nekorektní chování (konflikt výšky na modelu

bez hran a výšky interpolované na dodatečně přidané dlouhé hraně). V každém případě se jednalo o velmi rozsáhlé modely (v řádu milionů bodů), které byly obtížně zpracovatelné běžnými programy DTM v silničních systémech [5].

Na základě zkušeností s výsledkem je možno doporučit 2 způsoby používání:

- použít málo zředěný nebo neředěný model bez povinných spojnic a potřebné řezy snímat softwarem pro práci s mračny bodů. Výsledné řezy potom generalizovat na počet bodů do cca 200 a využít je běžném silničním softwaru.
- zředit model DTM z laserového skenování (viz. úsek 7), opatřit jej povinnými spojnici a prověřit shodu výšek na hranách s údaji získanými na neředěném mračnu bodů. Takový model je pak možno používat přímo v běžném silničním softwaru (RoadPAC, InRoads, Autodesk Civil3D).
- možná je i 3. alternativa - začít pracovat se SW nadstavbami, které umožňují práci s mračny bodů i detailními DTM. Vzhledem k nejčastěji používaným postupům projektování a možnostem současně používaného silničního SW a HW vybavení, je běžná aplikace uvedeného postupu spíše záležitostí budoucnosti.

3 Závěr

Metoda laserového skenování je pro potřeby projektů rozsáhlých silničních staveb vhodná a efektivní. Dodržení poměrně náročných kritérií přesnosti na rozsáhlých plochách v řádu desítek až stovek hektarů vyžaduje aplikaci technologií, které umožňují využití použitých metod až k jejich současným limitním hodnotám.

K využití výstupů ze skenování pro přípravu silničních staveb je nezbytné kvalitní zaměření referenčních bodů po celé délce trasy (zejména výškové), dále je nutno provést velmi podrobnou kontrolu DTM (hlavně na zpevněných površích) a zejména jeho doplnění velkým počtem doměřených povinných spojnic.

Pro ověření správnosti zpracování údajů získaných laserovým skenováním je vhodné vždy (alespoň v omezeném rozsahu) porovnat výsledek získaný ze skenování se zaměřením klasickým způsobem.

Spojení výsledků laserového skenování s pozemním doměřením a doplnění povinných spojnic v DTM by měl zajišťovat pokud možno zpracovatel laserového skenování tak, aby projektant získal pro svoji práci již korektní terénní model použitelný v běžných programech.

Použité zkratky

ŘSD ČR	- Ředitelství silnic a dálnic České republiky
DÚR	- Projektová dokumentace pro územní rozhodnutí
DSP	- Projektová dokumentace pro stavební povolení
ZDS	- Zadávací dokumentace stavby
SSÚD	- Středisko správy a údržby dálnice
ZMD	- Základní mapa dálnice
DTM	- Digitální model terénu
GNSS	- Globální navigační družicový systém (Global Navigation Satellite System)
SW/HW	- software/hardware
ZPBP, ZVBP	- Základní polohové a základní výškové bodové pole

Literatura:

- [1] LÍDL, V., JANDA, T., Stavby, kterým doba nepřála, ŘSD ČR, 2. vydání 2006
- [2] ŘSD ČR, Dálnice D1-nejdelší český dálniční tah, ŘSD ČR, 5. vydání 2010
- [3] KOLEKTIV, Silnice a dálnice v České republice, PRAGOPROJEKT, a.s., 2009
- [4] SOBOTKA, P., 3D data pozemního skenování pro dálnici D1, přednáška na semináři „3D daty k úsporám“, ŘSD ČR, 09.2010
- [5] SIROTEK, M., „3D data leteckého skenování pro dálnici D1“, přednáška na semináři „3D daty k úsporám“, ŘSD ČR, 09.2010
- [6] PRAGOPROJEKT, a.s., Technická zpráva ke geodetickému zaměření zakázka č. 10-163-2-000, PRAGOPROJEKT, a.s., 04.2010
- [7] PRAGOPROJEKT, a.s., Technická zpráva ke geodetickému zaměření zakázka č. 10-230-2-000, PRAGOPROJEKT, a.s., 05.2010
- [8] [ŠTRONER, M., POSPÍŠIL, J., Terestrické skenovací systémy, ČVUT, 2008
- [9] CONTROL SYSTEM INTERNATIONAL, s.r.o., Firemní materiály
- [10] BLOM GROUP, Firemní materiály

Lektoroval:

prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie