

# ZAMĚŘENÍ DÁLNIČNÍHO MOSTU TECHNOLOGIÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ A VYUŽITÍ 3D DAT PRO PROJEKT REKONSTRUKCE MOSTU

## MEASUREMENT OF HIGHWAY BRIDGE WITH LASER SCANNING TECHNOLOGY AND USE OF 3D DATA FOR BRIDGE RECONSTRUCTION PROJECT

Ing. Lukáš Kutil, Ing. Marek Příkryl, Ph.D., Control System International a.s.  
Ing. Martin Drnec, Viapont s.r.o..

### Anotace

Na příkladu dálničního mostu 240 na 197,8 km dálnice D1 jsou dokumentovány možnosti technologie laserového skenování a následné využití při projekčních pracích. Zaměření je součástí geodetických podkladů pro rekonstrukci vozovkových vrstev na přilehlém úseku dálnice D1. Na mostech se jedná zejména o plánovanou výměnu obrusné vrstvy vozovky a opravu mostních závěrů.

Pro zaměření mostu byla použita technologie sběru 3D data laserové skenování. Laserové skenování je technologie spočívající v zaměření objektu pomocí velkého množství 3D bodů za krátký čas (tzv. mračno bodů). Příspěvek ukazuje, jakých přesností lze dosáhnout metodou laserového skenování, jak se zpracovávají mračna bodů, aby se dosáhlo požadovaných a přínosných výstupů.

Technologie laserového skenování umožňuje zaměřit detailně celé těleso mostu a nejbližšího okolí v daném souřadnicovém systému. Jde o mnohem podrobnější zaměření, než jaké poskytují ostatní technologie, kdy zaměřujeme pouze vybrané profily nebo vybrané části.

Druhá část příspěvku ukáže, jaký konkrétní přínos mohou mít 3D data pro vytvoření projektu rekonstrukce. V závěru uvádíme některé postřehy a připomínky projektanta a geodeta k zaměření skutečného stavu mostu 240 technologií laserového skenování.

### Abstract

Article is focused on measuring highway bridge with laser scanning technology. The text describes the procedure for measuring, processing, data analysis, output options and drawings. The conclusion contains comments surveyor and designer on the possibility of measuring bridge with laser scanning.

### Úvod

Příspěvek vychází z praxe společnosti Control System International a Viapont a ukazuje směr využívání moderních technologií 21. století. Popis této technologie a teorie fungování laserových skenerů je uvedeno v [1] a [2].

Příspěvek je rozdělen na tři navazující kapitoly, které ukazují základní informace o sběru, zpracování a vyhodnocení dat laserového skenování:

- Zaměření
  - Bodové pole a připojení měření do souřadnicového systému
  - Laserové skenování konstrukce mostu
  - Zpracování a pospojování mračen bodů
- Výstupy
  - Mračna bodů
  - Vektorový model

- Objektový model
- Mostní závěry
- Porovnání s projektem
- Závěr
  - Výhody laserového skenování pohled geodeta
  - Výhody laserového skenování pohled projektanta

### Zaměření mostu metodou laserového skenování

Dálniční most 240 na 197,8 km dálnice D1 se skládá ze dvou rovnoběžných mostovek o šířce 15,6m a délce 55,8m mezi závěry s dvěma jízdními pruhy a jedním odstavným. Most je vynesena na dvou krajních opěrách a osmi pilířích o průměrné výšce 6m. Pod mostem je vedena elektrifikovaná železnice a místní asfaltová komunikace.



Obrázek 1: Přehledka mostu s body vytyčovací sítě

### Bodové pole a připojení měření do souřadnicového systému

Kolem mostu byly čtyři body vytyčovací sítě, která byla vytvořena pro rekonstrukci vozovkových vrstev ve stejném roce 2012 jako měření metodou laserového skenování (Obrázek 1). Body vytyčovací sítě byly polohově i výškově vyrovnány s charakteristickou souřadnicovou směrodatnou odchylkou souboru bodů 3mm. Takto kvalitní bodové pole je základní předpoklad přesného a homogenního mráčka bodů. Pomocí totální stanice byly zaměřeny přesně polohy laserového skeneru a vlíčovacích bodů pro orientaci. Přesná poloha a výška skeneru se určuje zaměřením všesměrového hranolu, který je umístěn na vršku skeneru. (Obrázek 2 a 3). Vlícovací body byly stabilizovány reflexní folií na mostě. K měření byla použita kalibrovaná totální stanice Leica 1103.



Obrázek 2: Riegl VZ-400



Obrázek 3: Leica 1103

### Skenování konstrukce mostu

Laserové skenování bylo provedeno pulzním skenerem Riegl VZ-400, který má tyto základní parametry:

- směrodatná odchylka v délce: 3 mm
- směrodatná odchylka zaměření jednoho bodu: 5 mm
- divergence paprsku: 0.3 mrad
- pracovní rozsah: 280 m při odrazivosti 20%
- rychlost měření: až 125 000 bodů/s

Předností skeneru Riegl VZ-400 je jeho vysoká odolnost vůči prachu a vodě, bezpečnost provozu pro oči, značný dosah měření a dobrá geometrická přesnost. Tímto skenerem lze tedy dosáhnout přesnosti jednoho bodu v souboru mračka bodů do 5mm a tedy přesnost měřené délky mezi jednotlivými konstrukcemi do 10 mm.

Zaměření podrobných bodů bylo provedeno metodou měření ze stativu. To znamená, že skener se vhodně umístil na stativ a nahrubo se zhorizontoval (přesná horizontace není nutná skener má vlastní urovnávací systém – inclination sensor). Následně se provedlo zaměření polohy skeneru z totální stanice. Poté se naskenovalo okolí skeneru a mostní konstrukce s úhlovým rozlišením 0,04 stupně což zajistí průměrně bod každé dva centimetry (2500 bodů na 1m<sup>2</sup>)

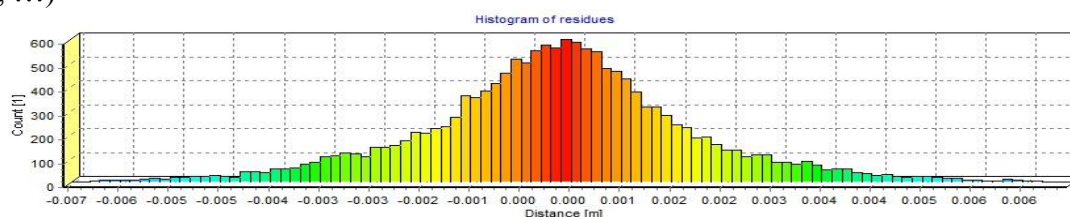
Jednotlivým postavením skeneru se říká skenpozice. Pro dobré zmapování mostu, tedy naskenování všech viditelných a dostupných konstrukcí, jich bylo provedeno 21 v okolí mostu. Skenpozice je dobré umístit tak, aby mezi jednotlivými mračny bodů byl překryv pro následnou korelaci mračen. Výstupem každé skenpozice jsou souřadnice XYZ v systému skeneru a intenzita odraženého paprsku. Intenzita dává informaci jak o barvě povrchu, od které se paprsek odrazil, tak o materiálu ze kterého je vyroben. Zobrazení mračen bodů s intenzitou dodává 3D skenu reálnou podobu. (Obrázek 4)



Obrázek 4: Základní výstup: 3D mračna bodů mostu

### Zpracování a pospojování mračen bodů

Jednotlivá mračna bodů, je potřeba nejprve transformovat do souřadnicového systému bodového pole pomocí zaměření totální stanicí a vřícovacích bodů. Následně se provede korelace mračen, kdy se jednotlivá mračna k sobě vyrovnávají na základě podobnosti tvarů na společných překryvných místech. Vyrovnávací proces korelace mračen, vytvoří z jednotlivých skenpozic jeden homogenní celek dat, který u mostu obsahuje 56 500 000 bodů. Směrodatná odchylka z vyrovnání korelací mračen je 0,002m (Obrázek 5). Poté se provedlo odstranění šumu z měření a odmazání nežádoucích naskenovaných objektů (auta, lidé, ...)



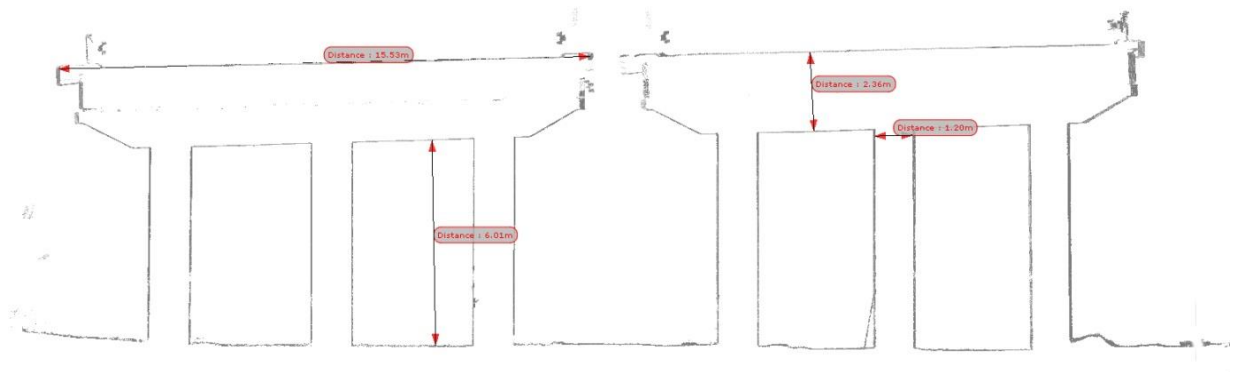
Obrázek 5: Histogram korelace mračen z 21 skenovacích pozic vykazuje přesnost 2 mm

### Výstupy ze zaměření mostu metodou laserového skenování

Výstupem laserového skenování jsou v první řadě mračna bodů. Data lze dále vyhodnocovat např. vektorizovat hrany, modelovat nebo triangulovat plochy, případně porovnávat etapy, porovnávat s projektem a vyhodnocovat změny.

### Mračna bodů

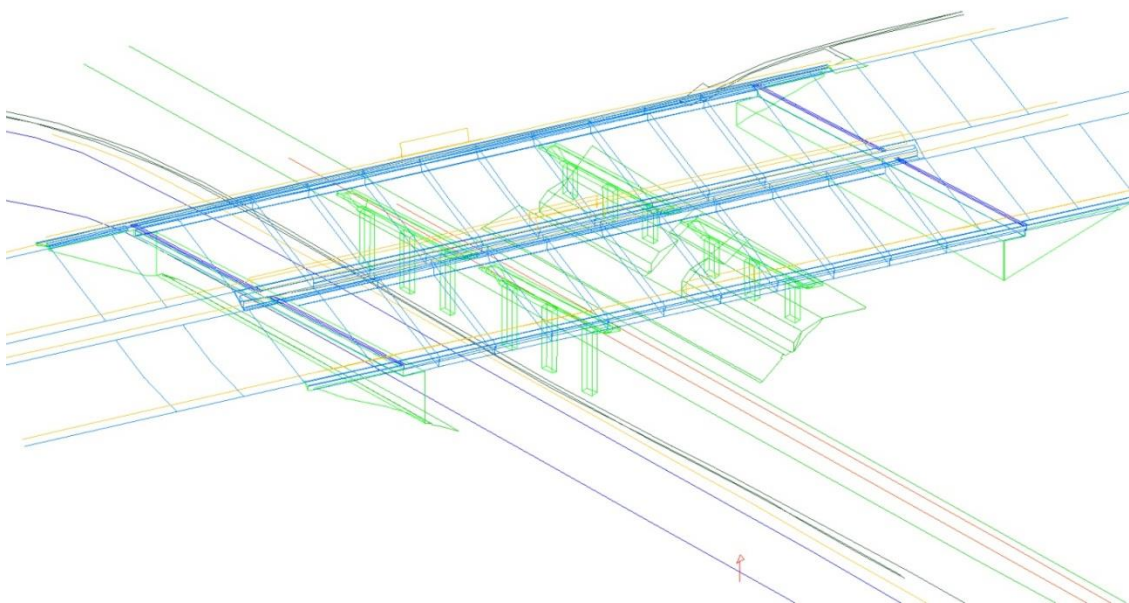
Základní výstup mračna bodů umožňují jednoduchým způsobem prohlížení a měření reálného modelu mostu a všech jeho konstrukcí. Dají se provádět řezy jednotlivých konstrukcí v libovolném místě, odměřovat souřadnice jednotlivých bodů, vytvářet různá zobrazení a pohledy (Obrázek 6). Nedílnou součástí jsou také video průlety a simulace pro prezentace. V podstatě se veškeré měřické práce, přenesou z terénu do kanceláře na počítač. Zobrazení mračen bodů vyžaduje speciální softwary anebo nadstavby CAD softwarů.



Obrázek 6: Řez konstrukce mostu s měřenými vzdálenostmi konstrukcí

### Vektorový model

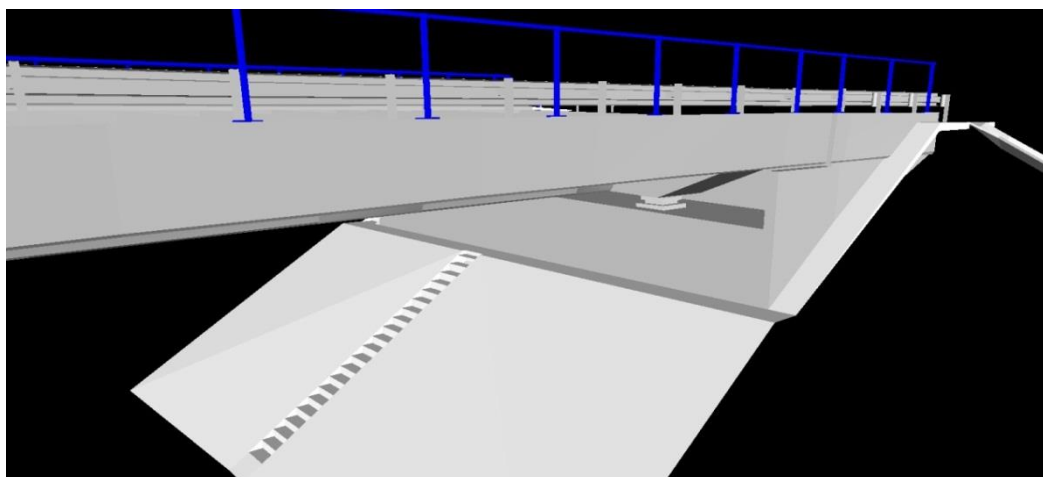
Vektorizací se nazývá překreslení hran a rozhraní, která jsou patrná v mračcích bodů do linií. Linie se uchopují na jednotlivé body v mračnu. Tvorbu vektorového modelu, lze částečně zautomatizovat, ale stále je to pečlivá kresličská práce (Obrázek 7). Lze vektorizovat hlavní hrany, nebo i details záleží na nastavené míře generalizace. Vektorový model je dobrý výstup pro CAD softwary a tisk.



Obrázek 7: Vektorový model mostu

## Objektový model

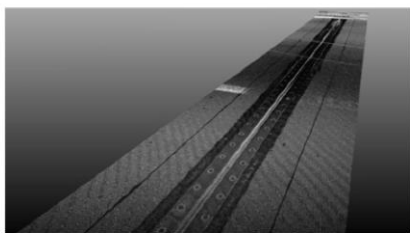
Objektový model je podobný vektorovému, ale vyplňují se u něj plochy. Rozeznáváme dva hlavní způsoby tvorby ploch. Prvním je 3D CAD modelování pomocí základních geometrických tvarů (Obrázek 8). Druhý se nazývá 3D polygonové triangulované plochy. Objektový model je dobrý pro CAD softwary, BIM softwary a vizualizace.



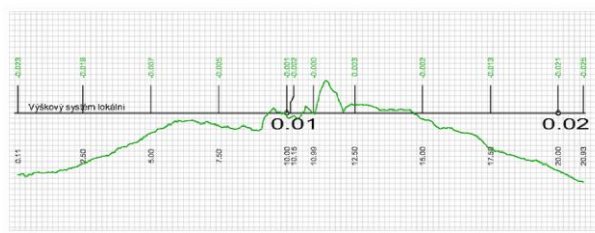
Obrázek 8: Objektový model mostu

## Mostní závěry

Vyhodnocení mračen bodů v okolí mostních závěrů je dobré pro hodnocení povrchových vlastností vozovky. Vytvořením podrobného digitálního modelu terénu vozovky závěru (Obrázek 9), lze vyhodnotit nerovnosti (Obrázek 10), míru poškození a stanovit nápravná opatření.



Obrázek 9: Mračno na mostním závěru



Obrázek 10: Řez mostním závěrem

## Porovnání s projektem

V případě výstavby nového mostu nebo rekonstrukce stávajícího, lze úspěšně porovnat tvar a umístění jednotlivých konstrukcí mostu vzhledem k projektu. Vytvářet dokumentaci skutečného provedení stavby a výkresy odchylek od projektu.

## Závěr

**Laserové skenování mostu pohledem geodeta** – technologie laserového skenování se nezadržitelně stává součástí měření ve stavebnictví. Přináší spousty změn v práci geodeta a nových možností realizace. Jako je úspora času na sběr dat v terénu, možnost měření a kreslení v kanceláři, nové formy výstupů, snížení chybovosti výsledků a možnost

ověřitelnosti výstupů, ale také vyšší nároky na zpracovatele a počítačové vybavení se softwarem.

**Laserové skenování mostu pohledem projektanta** – geodetické podklady získané pomocí laserového skenování mohou být s výhodou využity pro zpracování projektové dokumentace především rekonstrukcí mostů a dalších inženýrských konstrukcí. Nutným předpokladem je spolehlivé dosažení požadované přesnosti podmíněné dobrou adjustací mračen. Takovéto zaměření může poskytnout kompletní informaci o geometrii konstrukce včetně mnoha konstrukčních detailů a to i na špatně přístupných místech (spodní povrch nosné konstrukce). Vzhledem k náročnosti SW zpracování zaměřených dat je tento způsob zaměření vhodný zejména při zpracování menších konstrukčních celků. Na kapacitní problémy narážíme při běžném kancelářském HW a SW vybavení především při vytváření triangulovaných modelů. Nutné ředění mračen potom pro udržení dostatečné přesnosti vyžaduje dobré zpracování vektorizovaných hran a jejich uplatnění v triangulovaném modelu.

#### Literatura

[1] Příkryl Marek: Optimalizace při výstavbě silnic a dálnic, Stavební a investorské noviny. Ročník XVII, č.4, s.68-69, ISSN 1804-2864, 2010.

[2] Kašpar Milan, Pospíšil Jiří, Štroner Martin, Křemen Tomáš, Tejkal Miloš: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. První vydání, ISBN 80-900860.

Ing. Lukáš Kutil Control System International a.s.  
775787037 Lukas.kutil@controlsystem.cz