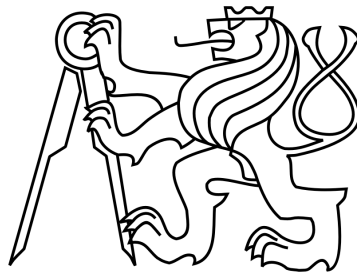


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie



Geodetické zaměření a tvorba 3D modelu silničního mostu

Geodetic measurement and creating a 3D model of road bridge

Diplomová práce

Bc. JAROSLAV FAIFERLÍK

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

květen 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Faiferlík Jméno: Jaroslav Osobní číslo: 439265
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Geodetické zaměření a tvorba 3D modelu silničního mostu

Název diplomové práce anglicky: Geodetic measurement and creating a 3D model of road bridge

Pokyny pro vypracování:

Provéďte geodetické měření pro vytvoření 3D modelu silničního mostu. Vytvořte měřickou síť v S-JTSK a Bpv, zaměřte mostní konstrukci prostorovou polární metodou a metodou laserového skenování. Vyhotovte drátový model z měření polární metodou a model z měření metodou laserového skenování. Oba modely vzájemně porovnejte a zhodnoťte výslednou přesnost, porovnejte také časovou náročnost měření a vyhotovení. Zpracujte výkresovou a obrazovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [2] Štroner, M. - Pospíšil, J. - Koska, B. - Křemen, T. - Urban, R. - et al.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2013. 396 s. ISBN 978-80-01-05371-3.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 21. 2. 2020 Termín odevzdání diplomové práce: 17. 5. 2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21. 2. 2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

.....

.....

Místo zpracování, datum

Bc. Jaroslav Faiferlík

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především panu Ing. Jaroslavu Braunovi, Ph.D. za odborné vedení této Diplomové práce, za jeho vstřícnost a trpělivost, kterou projevil a za jeho cenné rady a čas. Dále bych chtěl poděkovat Adéle Kozderkové za pomocné práce při měření.

Abstrakt

Práce se zabývá vytvořením geodetické dokumentace skutečného stavu Liblínského mostu. Obsahem práce je zaměření mostu 3D polární metodou, metodou laserového skenování a porovnání výsledných dat. Dále je obsahem práce vyhotovení 2D a 3D dokumentace, vizualizace a BIM objektu. Práce se zabývá obecným popisem problematiky dokumentace skutečného stavu stavebních objektů.

Klíčová slova: Liblín, Liblínský most, Laserové skenování, mračna bodů, BIM, 3D drátěný model, vizualizace, dokumentace skutečného stavu

Abstract

The diploma thesis deals with the creation of geodetic documentation of the actual state of the Liblín Bridge. The content of the thesis is the measurement of the bridge by 3D polar method, laser scanning method and comparison of the resulting data. Furthermore, the content of the thesis is the preparation of 2D and 3D documentation, visualization and BIM object. The thesis deals with a general description of the documentation of the actual state of buildings.

Keywords:

Liblín, Liblín bridge, laser scanning, point cloud, BIM, 3D model, visualization, documentation of the actual state

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
1. ÚVOD	9
2. ZÁJMOVÁ LOKALITA	10
2.1 POPIS LOKALITY	10
2.2 POPIS LIBLÍNSKÉHO MOSTU	11
3. ÚČEL MĚŘENÍ A VÝSTUPY.....	13
3.1 ÚČEL MĚŘENÍ	13
3.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ VÝSLEDNÝCH DAT	14
4. POUŽITÉ METODY MĚŘENÍ.....	15
4.1 3D POLÁRNÍ METODA	15
4.2 METODA GNSS-RTK.....	15
4.3 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	15
4.4 ALTERNATIVNÍ METODY MĚŘENÍ.....	16
5. VYUŽITÍ BIM, PROPOJENÍ BIM A GEODÉZIE.....	17
5.1 DEFINICE BIM.....	17
5.2 APLIKACE BIM.....	18
5.3 PŘÍNOS BIM	19
5.4 PROPOJENÍ BIM A GEODÉZIE	21
5.5 PŘESNOST, ROZPRACOVANOST A PODROBNOST BIM	23
6. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A SOFTWARE.....	25
6.1 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A JEJICH PARAMETRY	25
6.2 PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	26
6.3 POUŽITÝ SOFTWARE	27
7. MĚŘIČSKÉ PRÁCE.....	28
7.1 ZAMĚŘENÍ SÍTĚ 3D POLÁRNÍ METODOU A METODOU GNSS-RTK.....	28
7.2 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	29
7.3 ZAMĚŘENÍ MOSTNÍ KONSTRUKCE 3D POLÁRNÍ METODOU	32
8. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	34
8.1 METODA GNSS-RTK.....	34
8.2 VYROVNÁNÍ PROSTOROVÉ SÍTĚ	35
8.3 3D POLÁRNÍ METODA (TACHYMETRIE).....	36
8.4 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	37
9. ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI.....	42

9.1	VYROVNÁNÍ SÍTĚ	42
9.2	POLÁRNÍ METODA.....	42
9.3	LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	44
9.4	Vliv nedokonalostí konstrukce na průběh zpracování a výsledné výstupy	45
9.5	Porovnání přesnosti 3D drátěných modelů měřených 3D polární metodou a metodou laserového skenování	47
10.	ZPRACOVÁNÍ VÝSTUPŮ	52
10.1	MRAČNO BODŮ.....	52
10.2	SITUACE 1 : 200.....	53
10.3	PŘEHLEDNÉ NÁČRTY BODŮ SÍTĚ, SMĚRŮ MĚŘENÍ A ORIENTACÍ A REGISTRACE MRAČEN BODŮ METODOU CLOUD TO CLOUD.....	53
10.4	PŮDORYS 1 : 50	54
10.5	ŘEZ PODÉLNÝ 1 : 50.....	54
10.6	PŘÍČNÉ ŘEZY 1 : 50.....	55
10.7	POHLEDY 1 : 100	55
10.8	3D DRÁTĚNÝ MODEL MOSTU – 3D POLÁRNÍ METODA MĚŘENÍ	55
10.9	3D DRÁTĚNÝ MODEL MOSTU – METODA LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	56
10.10	MODEL MOSTU BIM.....	57
11.	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Bpv – Balt po vyrovnání

k. ú. – Katastrální území

ř. km – Říční kilometr

BIM – Building information modelling

RTK – Real time kinematic

DMR 5G – Digitální model reliéfu 5. generace

IFC – výměnný formát dat pro BIM

DUR – Dokumentace pro územní rozhodnutí

DSP – Dokumentace pro stavební povolení

DPS – Dokumentace pro provedení stavby

DSPS – Dokumentace skutečného provedení stavby

LOD – Level of detail/development

1. ÚVOD

Při dokumentaci skutečného stavu objektů, ať už se jedná o budovy, přehrady, mosty nebo jiné stavby, bylo vždy nejzásadnější otázkou, jakou metodu měření a zpracování k dokumentaci použít, aby bylo vyhověno velkému množství požadavků od různých profesí. Pokud se jedná o požadavky ze strany projektantů nebo statiků, tak je vždy zapotřebí dosažení odpovídajících přesností, co nejvěrnějšího zachycení reality a přenesení těchto dat do různých formátů a výstupů tak, aby na tato data mohli navázat ostatní stavební profese. S nástupem moderních technologií se objevilo nepřehledné množství měřících technologií, programů na zpracování a také formátů výsledných dat. Pokud se vezmou v úvahu technologie měření, jako je měření pásmem nebo ručním elektronickým dálkoměrem, totální stanicí, laserovým skenerem, fotogrammetrickým snímkováním, tak lze dojít k závěru, že každá technologie má své výhody i nevýhody. Stejně je to i s výpočetními programy, ve kterých se naměřená data zpracovávají. V dnešní době stále neexistuje pouze jedna metoda měření ani pouze jeden software, pomocí nichž by bylo možno vyřešit kompletní celou libovolnou úlohu detailní dokumentace skutečného stavu.

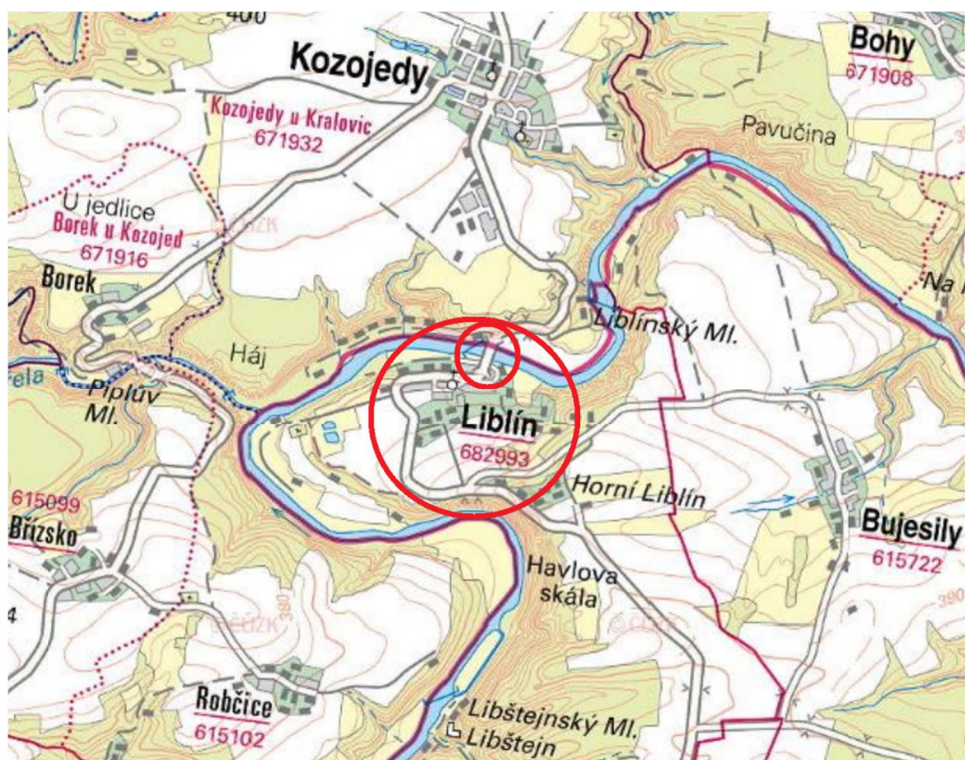
Předmětem této práce je na základě vybrané kombinace geodetických metod, technologií, programů a postupů vyhotovit dokumentaci skutečného stavu Liblínského mostu tak, aby poměr kvality výsledků, přesností, časové náročnosti a ekonomické náročnosti byl co nejvýhodnější. Dále jsou v rámci této práce představeny různé formy výsledných dokumentací, které lze získat z takto naměřených dat, jako například klasická 2D dokumentace obsahující půdorysy, řezy a pohledy nebo 3D drátěný model, vizualizace nebo BIM (Building information modelling). Právě BIM byl v posledních letech ve stavebnictví hodně probírané téma a pomalu se začíná dostávat mezi širokou skupinu projektantů. Proto i jedno z témat této práce je vyhotovení BIM modelu mostu určeného pro další zpracování a v neposlední řadě řešení otázky propojení geodézie a projektování BIM, ke kterému bude v dalších letech docházet čím dál častěji.

Motivací pro výběr tohoto tématu byla především snaha o vytvoření plnohodnotné dokumentace skutečného stavu mostu v obci Liblín, propojení a otestování přesností různých geodetických metod, zjištění kvality pořízení dat, časové a ekonomické náročnosti. Další motivací bylo nastudovat otázku BIM a zjistit, jaká je možná spolupráce v této oblasti mezi oblastí geodézie a projekční činností. Jak bude dále popsáno, tak problematika BIM v oblasti dokumentace skutečného stavu objektů je hlubší, než by se mohlo na první pohled zdát.

2. ZÁJMOVÁ LOKALITA

2.1 Popis lokality

Městys Liblín se nachází na severu Plzeňska zhruba jeden kilometr východně od soutoku řeky Berounky a Střely a přibližně 30 km od Plzně v k.ú. Liblín [682993]. Městys Liblín, potažmo Liblínský most (*Obr. 2.1*) je situován v údolí řeky Berounky na 101,5 ř. km. Liblínský most propojuje obce Liblín a Kozojedy a vzhledem k jeho umístění je důležitou dopravní stavbou na severu Plzeňska.



Obr. 2.1 Poloha Městyse Liblín a mostu přes řeku Berounku [1]

První zmínka o Liblínu je datována do roku 1180, častěji je však udáváno až 13. století. Ve druhé polovině 14. století byl vystavěn nedaleký hrad Libštejn (*Obr. 2.2*), který patřil dlouhá staletí rodu Libštejnských z Kolovrat, stejně jako Liblín. Počátkem 16. století se Liblín stává sídlem a majetkem rodu Valdštejnů a dále pak v 17. století patřil rodu Gryspeků. V 18. století bylo zdejší sídlo přestavěno na barokní zámek (*Obr. 2.3*), který ovšem prodělal mnoho přestaveb. [2]



Obr. 2.2 Zřícenina hradu Libštejn [10]



Obr. 2.3 Zámek Liblín

2.2 Popis Liblínského mostu

Liblínský most je označen evidenčním číslem 232 – 007, nachází se v k.ú. Liblín [682993] a část mostu na levém břehu řeky Berounky se nachází v k.ú. Kozojedy u Kralovic [671932]. Přes most vede pozemní komunikace označena číslem II/232 severně na obec Kozojedy a jižně na obec Liblín. Liblínský most byl dokončen v roce 1929. V roce 1997 byla provedena první velká rekonstrukce a druhá rekonstrukce následovala v roce 2017.

Obloukový železobetonový most je situován kolmo k toku řeky Berounky, je tvořen 6 otvory, z čehož dva otvory tvoří velké oblouky. Liblínský most se skládá ze dvou velkých železobetonových oblouků vysokých 12 m nad normálním stavem hladiny řeky Berounky a 3 dominantních pilířů, které jsou v místě styku s terénem nebo vodní hladinou obloženy kamenem. Každý ze železobetonových oblouků překlene vzdálenost 50 m a na březích jsou založeny v hloubce 7-10 m pod terénem. Železobetonová mostovka je široká 7 m mezi sloupky zábradlí a vozovka mezi obrubami je 5 m široká. Délka přemostění činí 133,8 m a celková délka mostu činí 135,8 m. Celková zatížitelnost mostní konstrukce při normálním stavu činí 28 tun, při výhradním stavu 48 tun a při výjimečném stavu 135 tun.

Mostní objekt je založen na filitové skále a je tvořen železobetonovou konstrukcí o kvalitě 100 – 350 kg*c (100 – 350 kg cementu na kubík betonu). Pilíře jsou v místě styku s terénem nebo vodní hladinou obloženy opracovanými kamennými kvádry. Mostovka je složena ze 172 prefabrikovaných desek spojených a vyztužených příčnicí a konsolami. Skladba vozovky byla tvořena v minulosti vyrovnávacím betonem, 4 cm vrstvou písku a 10 cm vrstvou dlažby zalité asfaltem. Po rekonstrukci v roce 1997 byly tyto vrstvy vozovky odbourány a nahrazeny 45 mm vrstvou asfaltového betonu a 45 mm litého asfaltu jako

izolační vrstvou. Chodníky byly v minulosti vyskládány mozaikovou dlažbou založenou na vrstvě cementové malty. Při rekonstrukci v roce 1997 byla tato dlažba nahrazena betonem s protiskluzovou úpravou. Zábradlí mostu je tvořeno 56 železobetonovými sloupky propojené čtyřmi vodorovnými řadami ocelových trubek o průměru 70 mm. Zábradlí nad každým břehovým zavázáním je tvořené železobetonovou konstrukcí.



Obr. 2.4 Liblínský most – pohled západní



Obr. 2.5 Liblínský most – pohled východní



Obr. 2.6 Liblínský most – pohled na mostovku

3. ÚČEL MĚŘENÍ A VÝSTUPY

3.1 Účel měření

Účelem měření Liblínského mostu bylo nasbírání dvou sad dat, nad kterými byla následně vyhotovena dokumentace skutečného stavu objektu. Tato data byla pořízena primárně totální stanicí a laserovým skenerem. Obě tyto metody poskytují různé druhy dat a jsou vhodné pro různé typy výstupů. Výsledné elaboráty a jejich obsah se v praxi dramaticky odlišují v závislosti na tom, co má být účelem a k čemu mají výsledné podklady sloužit, přičemž výstupy této práce mají primárně sloužit jako podklad pro projekční činnost a případnou rekonstrukci objektu. V rámci této práce bylo vytvořeno několik typů výstupů, aby bylo představeno maximum z toho, co lze z těchto dat získat a dále je využít jako podklad pro projekční činnost. Dalším důvodem měření byla demonstrace problematiky BIM v geodézii, potažmo i v projekční činnosti, propojení těchto oborů a nalezení hranice, kde končí práce oblasti geodézie a kde začíná práce projekční činnosti.

Pro zachycení Liblínského mostu byla v první fázi zvolena totální stanice a 3D polární metoda. Data naměřená totální stanicí mají po zpracování formu bodů, přičemž každý zaměřený bod má svůj opodstatněný význam pro následné zpracování. Těmito body jsou především hrany terénu, rozhraní povrchů, rohy konstrukcí a rozhraní materiálů. Správným pospojováním těchto bodů bylo možné vytvořit 3D drátěný model mostu. Dále byla na základě těchto naměřených bodů vytvořena také situace nejbližšího okolí mostu v kombinaci s daty DMR5G a s daty z laserového skenování. Kombinace totální stanice a laserového skenování není vždy nutná a je možné vykres situace a také 2D dokumentaci vytvořit pouze z dat získaných pomocí totální stanice. K této práci byl použit ale také laserový skener a v rámci časové i ekonomické úspory a vyhotovení kvalitnějších výstupů byla tato data zkombinována.

Druhá fáze měření byla provedena laserovým skenerem, přičemž z 19 skenovacích pozic byla zachycena většina viditelných míst na mostní konstrukci i v okolí samotného mostu. Takto nasbíraná data byla v počítači zobrazena jako barevné mračno bodů. Nad tímto mračnem bodů byl vykreslen 3D drátěný model mostu, který byl porovnán s modelem zachyceným totální stanicí. Dalšími výstupy byla 2D dokumentace ve formě půdorysů, pohledů a řezů, 3D model, vizualizace, BIM a mračno bodů.

Takto zaměřená a zobrazená data jsou v dnešní době v podstatě hlavními možnostmi, jak zachytit a předat podklady od objektu k jeho následné úpravě či rekonstrukci. Pokud se

jedná o formu výstupů, tak existuje mnoho softwarů, které dokáží s těmito daty pracovat a nelze jednoznačně říci jaké formáty a jakou podobu mají výsledná data mít. V praxi si většinou tyto detaily určuje sám objednatel, je možné pouze normalizovat zejména přesnosti zobrazení a typy čar a rozvrstvení výkresu. Samotná forma a kvalita mračen bodů a 3D modelů se pak odvíjí hlavně od zvolených výpočetních programů, jejich funkcí a provázání s ostatními programy. V případě problematiky BIM by však tento problém měl být potlačen a měly by být i tyto detaily normalizovány. Touto snahou o sjednocení ale vznikají jiná úskalí, která jsou více popsána v kapitole 5.

3.2 Možnosti využití výsledných dat

Možnost využití takto získaných a prezentovaných dat je poměrně široká a jen těžko je možné zde uvést veškeré případy využití.

Hlavní možnost využití těchto dat je bezesporu podklad pro projekční nebo architektonickou činnost. Ať se jedná o podklad pro rekonstrukci nebo návrh přístaveb a přestaveb objektů. Dále je pak možné na takto získaných datech prezentovat různé architektonické vize a představy.

Další kapitolou je sledování objektů. Na základě mračen bodů a 3D modelů je možné sledovat posuny a přetvoření v závislosti na čase. Zde je však na zvážení volba metody, mezi laserovým skenováním, polární metodou a nivelací. Pokud je potřeba sledovat objekt jako celek, je vhodná metoda laserového skenování, zatímco pokud pro danou práci stačí sledovat pouze separované body, pak je vhodná polární metoda doplněná o nivelaci. Dále je možné z dat laserového skenování sledovat různé konstrukční vady, jako jsou například praskliny v betonu či jiných materiálech. V případě, že je mračno bodů v daném místě dostatečně husté, jsme schopni z těchto dat získat velice dobrou představu o tom, jak se materiál v kritickém místě chová. V tomto případě je možné uvažovat ještě o využití metody fotogrammetrie.

4. POUŽITÉ METODY MĚŘENÍ

Pro zaměření a následné vyhotovení dokumentace Liblínského mostu byla zvolena kombinace metod GNSS-RTK, 3D polární metody a metody laserového skenování. Důvodem volby těchto metod byl především poměr kvality a množství nasbíraných dat, časové náročnosti, ekonomické náročnosti a v neposlední řadě dostatečná přesnost vzhledem k účelu a využití výsledných výstupů. Alternativou k těmto metodám je metoda fotogrammetrie.

4.1 3D polární metoda

3D polární metoda (tachymetrie) je metoda, která ze dvou výchozích známých bodů se souřadnicemi YXZ (stanovisko a orientace), umožňuje pomocí změřených úhlů a délek ze stanoviska vypočítat souřadnice zvolených měřených bodů. Hlavními veličinami v této metodě jsou výchozí polohové a výškové souřadnice YXZ (v případě této práce S-JTSK a Bpv), šikmá délka, horizontální a vertikální úhel. K těmto veličinám je v případě potřeby nutné zavést ještě další, jako je výška přístroje, výška cíle a další.

Výhoda této metody je především v její jednoduchosti, rychlosti a přesnosti. Dále pak zpracování naměřených dat není výrazně složitě a pracovní procesy jsou díky nejrůznějším softwarům automatizované a je tak možné zpracovat i velké množství naměřených dat. Při měření této práce, i přes všechny výhody této metody, bylo naráženo na její limity a z tohoto důvodu musela být doplněna o laserové skenování. [15]

4.2 Metoda GNSS-RTK

Metoda GNSS-RTK (Real time kinematic) byla při měření této práce využita pouze k určení přibližných souřadnic prostorové sítě, která byla na základě dalšího měření totální stanicí vyrovnána a zpřesněna. Tato metoda umožňuje určování prostorových souřadnic YXZ v reálném čase. K tomuto procesu využívá data z viditelných družic a zpřesňující korekce z referenční stanice. Její reálná přesnost 3-5 cm pro připojení celého měření do systému S-JTSK a Bpv je dostačující. Vnitřní přesnost sítě a mračna bodů však dosahuje lepších výsledků. [14]

4.3 Laserové skenování

Použitá metoda laserového skenování podobně jako 3D polární metoda využívá princip měření šikmých délek, horizontálních a vertikálních úhlů, ze kterých jsou následně

vypočteny XYZ souřadnice jednotlivých bodů. Rozdíl těchto metod spočívá v tom, že pomocí totální stanice je možné zaměřit desítky nebo maximálně stovky vybraných bodů za hodinu a laserové skenery dokáží zaměřit až miliony bodů za vteřinu, jedná se o neselektivní metodu měření. V kombinaci s integrovaným fotoaparátem je možné naskenované mračno obarvit reálnými barvami a tím získat věrné zobrazení reality s přesností až v řádech mm.

Úskalím laserového skeneru je skutečnost, že oproti totální stanici má výrazně nižší vzdálenost, na kterou je schopen měřit (většinou maximálně stovky metrů), není schopen získat data pod vodní hladinou, na různých materiálech nebo v místech, která se nacházejí v příliš ostrém úhlu ke skeneru. Většinu těchto nevýhod je však možné řešit vícero skenovacími pozicemi nebo využitím různých funkcí skeneru.

Nevýhody skenování se však nevyrovnají jeho výhodám a v kombinaci s 3D polární metodou je tato dvojice metod na realizaci této práce ideální.

4.4 Alternativní metody měření

Asi jediná konkurenceschopná metoda k použitým metodám v této práci je fotogrammetrie. Fotogrammetrická metoda pracuje s nafocenými snímky fotoaparátem a na základě prostorovou polární metodou zaměřených identických bodů, je možné tyto snímky složit do jednoho celku a vytvořit tak model objektu a následně mračno bodů.

Co se týká přesnosti a rychlosti, tak tato metoda disponuje podobnými nároky jako laserové skenování. Ekonomická stránka fotogrammetrie je v úvodních nákladech na pořízení vybavení o něco výhodnější.

Bohužel má tato metoda i své nevýhody. Vzhledem k povaze měřeného objektu by pro snímkování musel být použitý dron. V případě létání s dronem je nutné disponovat povolením od Úřadu pro civilní letectví a platnou licenci. Povolení létání je poměrně složitý proces a při létání musejí být uzavřeny silnice a chodníky. Povolení je vydáváno na několik týdnů dopředu a je poté možné létat pouze v určité dny. Bohužel na tak dlouhou dobu dopředu není možné předpovídat například povětrnostní podmínky. [13]

Další nevýhodou by v případě dokumentace Liblínského mostu byla schovaná místa mezi mostovkou a obloukem. Pro létání dronem v těchto místech není prostor a pro pozemní snímkování jsou tato místa skrytá nebo nepřístupná.

5. VYUŽITÍ BIM, PROPOJENÍ BIM A GEODÉZIE

V této kapitole bylo čerpáno z podkladů [6], [7], [8], které se zaměřují na popis BIM a seznámení odborné veřejnosti s problematikou.

5.1 Definice BIM

Zkratka BIM vychází z anglického Building information modelling. V překladu tato zkratka znamená informační modelování budov. Tato problematika je poměrně mladá a v současné době dochází k její expanzi mezi širokou veřejnost. Bohužel skupina lidí, která má povědomí o tom, co se pod zkratkou BIM doopravdy skrývá, není nikterak veliká. Obecně zažitý pojem BIM mezi lidmi vyvolá představu 3D modelu budovy – to ale není zcela správně.

Důležité je rozlišovat BIM MODEL a BIM PROCES MODELOVÁNÍ. BIM model je možné si představit jako databázi informací o výstavbě, samotné budově, ekonomické stránce stavby a provozu budovy, prvcích v budově a mnoho dalšího. Samozřejmě jedním z pilířů je i 3D model budovy. V samotném procesu projekce je to ale jen jedna z částí, kterou zkratka zahrnuje. Dalším pojmem je proces modelování v BIM. Toto lze chápat jako formu výměny informací a jejich sdílení, přičemž v BIM procesu se pracuje vždy se samotným BIM modelem.

Pokud důkladněji definujeme obsah toho, co vše se skrývá pod zkratkou BIM, tak lze říct, že je to databáze informací o budově nebo o jakékoliv jiné stavbě. Tyto informace začínají u samotné výstavby, u materiálů, subdodávek, firem, termínů, rozpočtů a pokračují přes informace o budově, správě budovy, opravy, revize, snižování nákladů, chod budovy, ekonomické náročnosti provozu a končí u likvidace budovy, demolice, nákladů na likvidaci, svoz odpadu a dalších. Jak lze vidět, tak do BIM je zahrnutý celý životní cyklus budovy.

Myšlenkou celého informačního modelování budov a jiných objektů je, že už od samotného zahájení projekčních prací každá profese a každý subdodavatel doplňuje informace o objektu ze svého oboru do vytvořených databází. Do těchto databází mají přístup všechny profese, a pokud je dodržena určitá posloupnost a návaznost prací, tak tímto způsobem je možné předejít chybám a kolizím. K tomu, aby se předešlo těmto omylům, slouží i samotný 3D model objektu, který je nedílnou součástí celého procesu projektování. V samotném modelu lze tak předejít například kolizím inženýrských sítí, které dosud byly zakreslovány v drtivé většině případů do 2D dokumentace. Ve 2D dokumentaci u složitých staveb docházelo k tomu, že po složení několika výkresů od různých profesí, se ve výkresu

dalo jen těžko orientovat z důvodu velkého množství čar a kót. Toto je ale jen malý výčet přínosu BIM ve stavebnictví.

Další důležitou částí je například možnost vytváření různých vizualizací pro investory, provádět různé virtuální zkoušky statické odolnosti budovy, kontrolovat automaticky kolize inženýrských sítí, možnost vytvářet tabulky a přehledy o výměrách, podlahových plochách, cenách materiálů nebo subdodavatelů, to ať už například pro investora nebo rozpočtáře.

Výsledným produktem BIM je tedy nejen projektová dokumentace, která dříve po dokončení stavby byla zavřena do šuplíku, ale hlavním přínosem je možnost koordinace při výstavbě a během správy budovy, samotná správa budovy díky již vytvořeným databázím a modelům, předejití kolizím, problémům a omylům během výstavby a tím dosažení ekonomické i časové úspory a v neposlední řadě také zvýšení ceny samotné nemovitosti. [6][7][8]

5.2 Aplikace BIM

V současné době je BIM aplikován především u větších staveb nebo vybraných odběratelů a investorů. Základním rozdělením je státní a soukromá sféra.

Ve státní sféře je evidován velký počet staveb (prostorových i liniových) a je tady snaha o vytvoření informačních databází, které by sloužily a pomáhaly při jejich výstavbě a následném provozu. Zde je důležité sjednocení všech BIM projektů a databází v jednotlivých sektorech a oborech. Je důležité vytvoření určité stromové struktury a zahrnutí do vytvořených databází správných a aktuálních informací. Dále je důležité tyto informace aktualizovat a dokázat je využít a pracovat s nimi. Jen tak je možné využít na plno potenciál BIM.

Pokud se jedná o soukromou sféru, tak zde je možné se setkat s informačním modelováním především u velkých staveb typu výrobní haly, bytové domy, kancelářské budovy a podobně. Zde je možné naplno využít potenciál BIM.

Možnost využití BIM modelů je v podstatě neomezená, ať už se budeme bavit o rodinném domě nebo výrobní hale, železnici či silnici, provozování sportovních areálů nebo zemědělských družstev, všechny tyto oblasti mají potenciál těžit z přínosů a kvalit informačního modelování. [6] [7] [8]

5.3 Přínos BIM

Informační modelování přináší spoustu výhod, ale jako vše, má i své stinné stránky. Vzhledem k vývoji a postupnému rozšíření BIM mezi širokou veřejnost je však nutné dodat, že toto odvětví je pravděpodobně budoucností stavebnictví a provozování budov.

Již od rané fáze vývoje nové stavby, tedy od impulsu investora, se rozbíhá soukolí spousty profesí. Většinou vše začíná v projekčních nebo architektonických kancelářích, které dříve vytvořily studii stavby doplněnou o vizualizaci. Tato studie po konzultaci s investorem a případných úpravách, přešla do druhého stupně tzv. dokumentace pro územní rozhodnutí (DUR), dále došlo na dokumentaci pro stavební povolení (DSP), dokumentaci provedení stavby (DPS) a na závěr na dokumentaci skutečného provedení stavby (DSPS). Během přechodů mezi těmito stupni dochází k různým změnám, doplněním a zapracováním připomínek. Velká část všech změn a připomínek pramení především z neustálého zpřesňování a doplňování mezi jednotlivými stupni dokumentace. Objevováním stále nových kolizí a problémů, které v předchozích etapách nebyly zřetelné z důvodu nízké propracovanosti, dochází v drtivé většině staveb k prodlužování termínů a navyšování ceny. Hlavní problém pramenil z 2D dokumentace a z její nízké podrobnosti. K dalšímu navýšení ceny docházelo poté na samotných stavbách, kde v některých složitých místech nebyla dokumentace vyhotovena správně, byla nepřehledná, neúplná nebo zde docházelo k nejrůznějším kolizím. Tato skutečnost nejen že se projeví na ceně za více práce a materiálu, ale také na výsledném termínu.

Výše zmíněnou problematiku dokáže vyřešit do značné míry informační modelování. Již od začátku samotného projektování je vytvářen 3D model budovy, na kterém jsou ihned řešeny kolize a problémy již v počáteční fázi projektování. Tyto problémy a případné kolize je možné ihned konzultovat se zainteresovanými a odpovědnými osobami. Zároveň je možné v průběhu projektování automaticky generovat z 3D modelu 2D dokumentaci pro různé stupně projektové dokumentace a ušetřený čas věnovat právě doplňování informací a řešení problémů v rámci 3D modelu. Dále je možné vytvářet a upravovat v průběhu projektování různé vizualizace a analýzy. Vše lze vytvářet již v raných fázích projektování a předkládat tak investorovi možné další podněty a návrhy k samotné realizaci a k případnému ušetření nákladů.

Dalším velkým přínosem je možnost již od začátku vytvářet rozpočet, který je možné v průběhu stavby snadno upravovat a předělávat z důvodu případných změn. Pro samotného rozpočtáře je využití BIM velkým ulehčením práce v případě nejrůznějších výpočtů objemů

a ploch pro na cenění materiálů a stavebních prací. Za pomoci 3D modelu jsou výsledné hodnoty přesnější, díky databázím a informacím je možné přesněji a snadněji dohledávat a oceňovat nejrůznější položky.

Přínosem pro samotnou stavbu je dále možnost připravit v čase průběh stavebních prací, rozmístění stavby a jejích částí, a samotná koordinace stavby a různých profesí na stavbě. V případě, že zhotovitel do BIM doplňuje a opravuje případné změny a problémy již v průběhu výstavby, dává tak prostor pro nenáročnou tvorbu plnohodnotné dokumentace skutečného provedení stavby, kterou lze posléze předat provozovateli stavby ke správě.

Důležitým aspektem, kterým BIM zlepšuje situaci při projekčních a stavebních pracích je koordinace. Při projektování rozsáhlejších staveb je poměrně náročné zkoordinovat veškeré obory a profese tak, aby každá profese pracovala s aktuálními podklady a daty a zároveň byly dodrženy termíny. Vzhledem k možnému přístupu do jednotného modelu a databází, je snížena potřeba dodatečné komunikace a z ní plynoucí dotazy mezi zúčastněnými profesemi. Tato spolupráce funguje prostřednictvím tzv. OpenBIM pomocí formátu IFC, díky tomuto formátu je možné vybrat určité informace a předat je zainteresovaným profesím pro další zpracování a doplnění.

Samotné BIM modelování je oproti standardnímu 2D projektování v určitých ohledech snazší. Je možné například jednou čarou definovat stěnu včetně její skladby v podobě omítky, nátěrů, lepidel, tvárnic a dalších prvků. Dále k takto vytvořenému prvku je možné, v určitých případech i automatizovaně, doplňovat a ukládat informace o typu materiálu, výrobci, ceně, nosnosti, tepelné izolaci a jiných důležitých aspektech. Dále hlavně v případě technických zařízení budov je možné vytvářet knihovny prvků, které jsou použity v projektu a k těmto prvkům přidávat výše zmíněné informace. Dnes již někteří výrobci k samotnému výrobku dodávají také tyto prvky vymodelované a doplněné o přesné informace přímo v BIM. V takových to případech dochází k výrazným úsporám času a eliminaci chyb. V případě, že jsou dodrženy veškeré postupy a že jsou doplněny správné informace na správná místa do databází a modelu, je možné vytvořit takto plnohodnotný BIM model a dále s ním pracovat. Jedním z výčtu výhod při dokumentování skutečného stavu nebo doplňování stávajícího objektu o přístavby je možnost pracovat i s mračny bodů, kterým se tato práce věnuje.

Naopak určitou nevýhodou se může zdát přílišná složitost celého procesu, neochota profesí proniknout do této problematiky, řešení technických problémů již na začátku

projektování a nutnost odborné znalosti problematiky při provozování budov. Jako další negativum se může zprvu zdát většinou vyšší cena BIM oproti standardní 2D dokumentaci. Jak již ale bylo řečeno výše. V celkových nákladech dojde k výrazným úsporám během projektování, provozu budovy, ale hlavně při výstavbě. Tuto skutečnost si zatím ne všichni investoři uvědomují a cíleně vyhledávají nejlevnější varianty projekčních prací bez ohledu na následky, které to přinese při samotné výstavbě. [6] [7] [8]

5.4 Propojení BIM a geodézie

Tato práce se primárně nevěnuje samotné problematice BIM a projektování v něm. Má sloužit spíše jako ukázka toho, jak je možné propojit geodézii s tímto novodobým trendem ve stavebnictví a také má za účel zvýšit povědomí o informačním modelování budov v geodézii.

V případě, že má vzniknout nová stavba, tak geodézie se při projekci a výstavbě projeví v podstatě pouze ve třech případech.

Prvním z nich je polohopisné a výškopisné zaměření skutečného terénu, inženýrských sítí, komunikací a dalších prvků, zkrátka skutečný stav lokality před zahájením prací. Tento podklad i nadále bude pravděpodobně předáván do projekce ve formě 2D výkresů pouze s informací o výškách v podobě kót a vrstevnic a sami projektanti nad tímto podkladem začnou tvořit BIM model.

Druhým případem je vytyčování stavby. Zde je určitá možnost, že geodet bude muset získat určitá data z databází a samotného modelu, aby byl schopen vytyčit stavbu a její součásti a následně do databází vložit případné informace o vytyčení, dosažených přesnostech a dalších náležitostech. I přes tato fakta je zde kooperace s BIM pouze okrajová a výrazně nezasáhne do práce a do oboru geodézie.

Posledním zmíněným případem je pak vyhotovení geometrického plánu na finální stavbu. V tomto případě bude vyhotoven standardní geometrický plán v součinnosti s katastrem nemovitostí a předán investorovi v papírové či elektronické podobě. Zde tedy také není velký prostor na provázání geodézie s BIM.

V podstatě existuje jediný případ, kdy se informační modelování objektů dotkne výrazněji geodézie. Tímto případem je dokumentace skutečného stavu objektů. Ještě dnes, když se vytváří dokumentace skutečného stavu objektu, jsou výsledkem z měření 2D

výkresy ve formě půdorysů, řezů a pohledů. Ve výjimečných případech pak 3D drátěné modely nebo texturované 3D modely. Toto ale stále není informační modelování.

Tato práce byla věnována právě tomuto případu. Pokud bychom si představili vzorový příklad, kdy investor chce provést rekonstrukci objektu, ke kterému není žádná dokumentace a chce vytvořit BIM tohoto objektu pro jeho následný provoz a správu. V tuto chvíli osloví projekční kancelář, která je schopna vytvořit BIM daného objektu. Tato firma ale potřebuje zdokumentovat objekt, aby byla schopna dále projektovat a splnit tak požadavky investora. V tomto případě je nutné objekt zaměřit a vyhotovit dokumentaci. Je možné, aby geodet vyhotovil 2D dokumentaci, kterou následně předá projekční kanceláři a ta tuto dokumentaci převede do 3D a započne doplňování informací do databází a zapojení dalších profesí do celého koloběhu, který od této chvíle je v podstatě stejný jako u projektování nové stavby. Další variantou je, aby samotný geodet vytvořil 3D model objektu a k tomuto modelu do databází doplnil informace, které získal v průběhu měření. Takto vypracovaný model by mohl sloužit mnohem lépe jako stavební kámen pro další zpracování a následné vytvoření BIM.

Bohužel realita v praxi je trochu jiná. V dnešní době takovéto dokumentování skutečného stavu objektů v lepším případě znamená, že projekční firma poptá geodetickou firmu pouze na vyhotovení mračna bodů. Odevzdané mračno bodů slouží projekční firmě jako základ pro vytvoření modelu a následnou další projekční činnost. V horším případě si však projekční kancelář naskenuje objekt sama i bez větších znalostí o geodézii a mračno bodů použije stejně jako v předchozím případě. Skutečnost, že takovýto vzorec v praxi funguje, je ta, že dnešní technologie dokážou většinu problémů odstranit a některé kroky automatizovat. Tento fakt přispívá k představě o tom, že samotné skenování a jeho zpracování je možné provést bez hlubších znalostí geodézie. V opačném případě, kdy geodet bude na základě naměřených dat vytvářet kompletní dokumentaci objektu je překážkou opět neznalost, v tomto případě projekční činnosti.

Geodet nikdy nevytvoří plnohodnotný BIM, už jen z výše uvedené definice vyplývá, že BIM slouží primárně jako databáze informací o budově a jako prostředek pro její správu, provoz a koordinaci. Cílem této práce je tedy nalézt tu pomyslnou tenkou hranici, kde končí práce geodeta a začíná práce projektanta, architekta nebo statika a vytvořit pro tyto profese z obecných znalostí geodeta plnohodnotný podklad pro další práci. [6] [7] [8]

5.5 Přesnost, rozpracovanost a podrobnost BIM

Stejně jako projektová 2D dokumentace může být vyhotovena v různých stupních propracovanosti (studie, DUR, DSP nebo DPS), tak i model BIM může být vyhotoven konkrétně v pěti stupních rozpracovanosti a podrobnosti. Tyto stupně vycházejí z toho, k jakému účelu bude BIM sloužit, kdo s ním bude pracovat a v neposlední řadě do této otázky vstupuje výsledná cena BIM modelu, která logicky narůstá se zvyšující se podrobností a rozpracovaností. Tato podrobnost a rozpracovanost se skrývá pod zkratkou LOD. V překladu znamená „Level of Detail“ v případě podrobnosti, respektive „Level of Development“ v případě rozpracovanosti. Level of Detail určuje geometrickou propracovanost prvku a Level of Development určuje nejen geometrickou propracovanost prvku ale také rozsah a úplnost informací o prvku. V zásadě tyto dva výrazy jdou ruku v ruce a obecně se používá zkratka LOD s příslušným číslem 100, 200, 300, 400 nebo 500. Toto číslo určuje úroveň propracovanosti a podrobnosti BIM modelu.

- **LOD100**

LOD100 označuje nejnižší úroveň rozpracovanosti a podrobnosti. V zásadě se jedná o nerozpracovaný model budovy, přibližně umístěný, pouze s orientačními a nepřesnými informacemi o plochách, objemech a rozměrech. Takovýto model většinou nemá přidružené informace v databázích. Prvky v tomto modelu mají pouze umístění, nenesou si s sebou žádnou přidruženou informaci a samotný počet prvků může být nepřesný.

Tyto modely jsou převážně využívány pro přibližné rozpočty, plánování a hrubé analýzy.

- **LOD200**

Druhou úrovní rozpracovanosti a podrobnosti je LOD200. V této úrovni modelu již je možné získat konkrétnější představu o rozmístění prvků a rozměrech samotného objektu, do modelu jsou vloženy základní informace o objektu a prvcích. Prvky již mají definované přibližné rozměry a umístění.

Modely ve stupni LOD200 je možné využít na rozpočty, plánování a analýzy s tím, že je možné získat přesnější informace a představy o daném objektu.

- **LOD300**

V této úrovni rozpracovanosti model nabývá přesných rozměrů, ploch a objemů. Některé méně důležité prvky jsou stále generalizovány, avšak již známe jejich přesný počet a nejdůležitější informace například o výrobci nebo ceně. Ostatní, pro stavbu více důležité prvky v této úrovni bývají podrobněji rozkresleny a již si sebou nesou přesné rozměry a umístění.

LOD300 je možné použít taktéž pro vyhotovení různých analýz a rozpočtů ale především také pro vyhotovení projektové dokumentace.

- **LOD400**

Další úroveň je LOD400. Tento model má přesně definované rozměry, plochy a objemy, veškeré stavební prvky a součásti jsou podrobně rozkresleny, mají přesný rozměr a umístění, je znám jejich přesný počet. Na tyto prvky se vážou bohaté informace a detaily.

Tuto úroveň je možné využít pro tvorbu přesných rozpočtů a analýz, při tvorbě projektové dokumentace, plánování a při správě budovy.

- **LOD500**

Nejpropracovanější model nabízí nejvyšší možnou míru rozpracovanosti ve všech nebo v určitých aspektech modelu, prvky mají přesný rozměr, uspořádání, počet, rozměry a informace.

Tato úroveň zpracování modelu je využívána především pro správu budovy, ale je možné nad ní vytvořit i projektovou dokumentaci či tvořit analýzy a plánovat. [6]

[7] [8]

6. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A SOFTWARE

6.1 Použité přístroje a jejich parametry

Totální stanice SOKKIA SET 2030R3 s. č. 143169 (Obr. 6.1)

- Směrodatná odchylka měření délek 2 + 2 ppm
- Směrodatná odchylka měření úhlů 0,2 mgon

Totální stanice LEICA MS60 s. č. 885017 (Obr. 6.2)

- Směrodatná odchylka měření délek 1 + 1,5 ppm
- Směrodatná odchylka měření úhlů 0,3 mgon



Obr. 6.1 SOKKIA SET 2030R3 [3]



Obr. 6.2 LEICA MS60 [4]

GNSS TRIMBLE GeoXR s. č. 5135407185

- Směrodatná odchylka horizontálního měření při RTK 13 mm + 1 ppm RMS
- Směrodatná odchylka vertikálního měření 20 mm + 1 ppm RMS

Statický skener Z+F 5016 IMAGER s. č. 5016-0245 (Obr. 6.3)

Tab 6.1 Technické parametry udávány výrobcem [9]

Rozsah šumu	Vzdálenost	Černá 14 %	Šedá 37 %	Bílá 80 %
Rozsah šumu	Na 10 m	0,30 mm rms	0,25 mm rms	0,20 mm rms
Rozsah šumu	Na 25 m	0,39 mm rms	0,28 mm rms	0,25 mm rms
Rozsah šumu	Na 50 m	0,8 mm rms	0,5 mm rms	0,3 mm rms
Rozsah šumu	Na 100 m	2,6 mm rms	1,1 mm rms	0,7 mm rms
Rozsah šumu	Na 200 m	9,6 mm rms	3,6 mm rms	1,7 mm rms

Dosah skeneru: 0,3 – 365 m

Přesnost dálkoměru: $\leq 1 \text{ mm} + 10 \text{ ppm}$

Úhlová přesnost horizontální: $\pm 0,004^\circ$

Úhlová přesnost vertikální: $\pm 0,004^\circ$

Rychlost sběru dat: $\leq 1,094$ milionu pixelů/sek

Rozlišení kamery: 80 Megapixel



Obr. 6.3 Z+F 5016 IMAGER [5]

6.2 Příslušenství

Stativ 7x, teleskopická výtyčka 1,68–5,1 m, minihranol Leica GMP111, odrazný hranol, značkovací barva, dřevěné kolíky, hřebíky, pásmo 30 m, svinovací metr, terče Z+F A4 20x, terče Z+F A3 10x, referenční koule 200 mm 6x.

6.3 Použitý software

- Trimble General Survey SW: 2.11 byl použit pro zpracování naměřených GNSS dat. Ke zpracování byl využit transformační modul zpřesněné globální transformace Trimble 2018 verze 1.0 schválený ČÚZK pro měření od 1.1.2018,
- Program GNU GAMA verze: 1.7.09-svd byl využit pro vyrovnání měřičské sítě a získání vyrovnaných souřadnic,
- GEUS 19.0 byl použit pro výpočet volných stanovisek a následně pro výpočet polární metody dávkou podrobných bodů.
- ATLAS DMT. V tomto programu byl vygenerován model terénu nad daty DMR 5G a byl proveden export vrstevnic pro 3D drátěné modely.
- V SW AutoCAD 2018 byla vyhotovena situace a přehledný výkres umístění bodů sítě a skenovacích pozic. Dále nad mračny bodů byla v tomto programu vyhotovena 2D dokumentace v podobě půdorysu, řezů a pohledů a 3D drátěné modely mostu.
- Z+F SCOUT byl využit již při samotném skenování v tabletu, který byl přes WIFI propojen se skenerem. Z tohoto programu byl řízen celý proces skenování, nastavování pozic a parametrů pro jednotlivá skenování. Dále přes tento SW byly prováděny výřezy, kdy z již naskenovaného řídkého mračna o nízkých parametrech byl vybrán výřez části mostu, který byl následně naskenován s lepšími parametry. Poté na stolním PC ve stejném programu byl proveden preprocessing (předzpracování) v podobě filtrace nedokonalostí a chyb mračen bodů, obarvení bodů na základě vyfocených fotografií skenerem a následná registrace mračen v jedno kompaktní mračno bodů,
- Cloudcompare Stereo. Do tohoto programu byla nahrána mračna bodů, která byla vyexportována po registraci ze SW Z+F SCOUT. Zde bylo provedeno finální čištění mračna bodů od vegetace, osob, projíždějících vozidel a ostatních šumů a chyb v mračně bodů. Dále byly provedeny řezy mračnem bodů pro vyhotovení 2D dokumentace. Z tohoto programu byla následně exportována výsledná mračna bodů pro prezentaci a pro další zpracování a modelování,
- REVIT 2018 v tomto programu byl vytvořen BIM model mostu včetně vizualizací a informací o skladbě mostu a použitých materiálech.

7. MĚŘIČSKÉ PRÁCE

7.1 Zaměření sítě 3D polární metodou a metodou GNSS-RTK

Datum měření: 22.3.2020

Povětrnostní podmínky: polojasno, místy silný vítr, 0 – 5 °C

Souřadnicový systém použitý pro celou práci: S-JTSK, Bpv

Práce byly započaty rekognoskací území a samotného objektu. Na základě rekognoskace byla vytipována vhodná místa pro umístění šesti páteřních bodů sítě číselovaných 4001 – 4006. Body 4001 a 4002 byly stabilizovány do pravého břehu řeky Berounky dřevěným kolíkem s vyznačeným středem hlavy pro přesnější identifikaci bodu. Stejným způsobem byly stabilizovány také body 4005 a 4006 na levý břeh řeky. Body 4003 a 4004 byly stabilizovány nad prostřední pilíř mostu. Každý z bodů byl stabilizován na jednu stranu mostu do chodníku k zábradlí. Jako způsob stabilizace byla zvolena barva.

Každý z těchto bodů byl na začátku a na konci zaměřen metodou GNSS-RTK pomocí GNSS přístroje TRIMBLE GEOXR. Časový odstup cca 9 hodin mezi jednotlivými observacemi byl volen z důvodu zpřesnění a vyloučení hrubých chyb. Těchto šest zaměřených bodů metodou GNSS-RTK bylo použito jako výchozí pro veškeré další měření a výpočty.

Vytvořená síť byla dále doplněna o šestici bodů 4007 – 4012. Tyto body byly stabilizovány na betonovém zábradlí mostu barvou. Byly stabilizovány z důvodu jejich následného využití jako orientační body při 3D polárním měření mostní konstrukce. Dále byly stabilizovány hřebem do asfaltu body 4013 a 4014 na pravém břehu řeky Berounky. Takto stabilizované body sloužili také především jako doplnění a zajištění sítě v okolí mostu a jako výchozí body pro měření mostní konstrukce 3D polární metodou.

Měření sítě prostorovou polární metodou bylo provedeno z volných stanovisek 4101 a 4102, které byly zbudovány na pravém břehu řeky, každé na jedné straně mostu. Poslední volné stanoviště 4103 bylo zbudováno uprostřed mostu nad řekou.

Z těchto volných stanovisek byla proměřena síť bodů totální stanicí LEICA MS60 ve dvou polohách s automatickým cílením. Body byly měřeny na minihranol LEICA GMP111 osazený na výtyčce o výšce 10 cm a 40 cm. Bezhranolové měření bylo využito na vybudovanou síť 23 terčů o které je více napsáno v odstavci 7.2. Proměřením sítě ze tří

volných stanovisek vznikl dostatečný počet nadbytečných měření, která mohla být následně vyrovnána.

7.2 Laserové skenování

Skenování bylo provedeno ve stejném dni, jako měření sítě, tedy 23.3.2020.

Na body sítě (4001 – 4006), jejichž vybudování a zaměření bylo popsáno v rámci předchozí kapitoly 7.1 byly postaveny stativy, které byly osazeny trojnožkou s centrovačem a referenční koulí o průměru 200 mm. Takto signalizované body byly důležitou součástí při registraci naskenovaných mračen bodů do systému JTSK a Bpv. Tento druh signalizace byl na bodech přítomen po celou dobu skenování.

Před zahájením samotného statického skenování byly na mostě a v jeho okolí umístěny skenovací terče o formátech A4 a A3. Z důvodu dosažení maximální možné přesnosti registrace skenovaných mračen v jedno kompaktní mračno bodů bylo celkem rozmístěno 23 těchto terčů. Vzhledem ke skutečnosti, že skenovaná lokalita je poměrně rozsáhlá a skenování probíhalo na vzdálenosti přesahující 70 – 100 m, byla snaha o co nejvhodnější rozmístění a natočení terčů. Terče byly osazovány na taková místa, která byla viditelná z maximálního počtu skenovacích pozic. Přičemž i navzdory této skutečnosti nebylo možné zaručit, že veškeré viditelné terče ze skenovacích pozic budou naskenovány dostatečně kvalitně. Ať již kvalitnímu naskenování terčů bránila vzdálenost, úhel skenování nebo vegetace, tak využití některých terčů při registraci nebylo možné. Dále pak jeden z terčů umístěných na mostní konstrukci vlivem větru odpadl a nemohl být použit pro další zpracování. Poloha terčů byla zaměřena v rámci určování prostorové sítě, byly zaměřeny pouze viditelné terče z volných stanovisek 4101-4103.

Před popisem samotného postupu skenování je důležité se seznámit s možností volby parametrů skenování, respektive výsledného mračna. Hlavním parametrem skenování je tzv. rozlišení. Volba rozlišení ovlivní výslednou hustotu mračna bodů. V *Tab 7.1* jsou uvedeny jednotlivé hodnoty hustoty bodů na vzdálenost 10 m. Například námi nejvíce používaná hodnota rozlišení „High“ 6,3 mm na 10 m. Hodnota 6,3 mm udává vzdálenost bodů v mračně, které byly naskenovány na vzdálenost 10 m. Hodnota hustoty bodů narůstá se vzdáleností od skenovací pozice lineárně.

Druhým důležitým parametrem je volba kvality skenování. Kvalita skenování je v případě skeneru Z+F IMAGER 5016 udávána jako „low“, „normal“, „high“ a „premium“.

Kvalita udává rozsah šumu ve výsledném mračně, skener výrazně zpomalí otáčky a vzdálenost k jednotlivým bodům proměřuje vícekrát. Obecně platí pravidlo, že na velké vzdálenosti by měla být volena lepší kvalita a rozlišení. Samozřejmě volba lepších parametrů se projeví výrazně na délce trvání jednoho skenování a na velikosti výsledných dat. Porovnání časů skenování je uvedeno v *Tab 7.2*

Výrobce doporučuje parametr pro rozlišení „High“ a pro kvalitu „Normal“ je asi v praxi nejpoužívanější. V případě skenování Liblínského mostu tyto parametry ale v určitých případech nestačily. Z tohoto důvodu je možné skenovat pouze výřezy. Tato funkce funguje tak, že je naskenováno nejprve mračno bodů o nízkých parametrech. V programu Z+F SCOUT, který byl během skenování spuštěn na tabletu, se po na skenování mračna zobrazí panorama v červenošedých barvách značících intenzitu odrazu paprsku. V tomto panorama je možné vyhledat vzdálený objekt, který se vloží do výřezu a skener na stejné pozici provede skenování pouze vybraného výřezu. Je tedy možné skenovat i na nejvyšší možné parametry v rozumném časovém horizontu.

Tab 7.1 Rozlišení skenování [9]

Rozlišení	Hustota bodů na vzdálenost 10 m
Preview	50,3 mm
Low	25,1 mm
Middle	12,6 mm
High	6,3 mm
Superhigh	3,1 mm
Ultrahigh	1,6 mm
Extremelyhigh	0,6 mm

Tab 7.2 Tabulka doby trvání skenování v závislosti na zvolených parametrech [9]

Rozlišení/kvalita	Low	Normal	High	Premium
Preview	Nelze	23 s	Nelze	Nelze
Low	23 s	46 s	1 min 33 s	Nelze
Middle	46 s	1 min 34 s	3 min 7 s	6 min 14 s
High	1 min 33 s	3 min 7 s	6 min 14 s	12 min 29 s
Superhigh	3 min 6 s	6 min 14 s	12 min 28 s	24 min 59 s
Ultrahigh	Nelze	12 min 28 s	24 min 57 s	49 min 55 s
Extremelyhigh	Nelze	Nelze	49 min 55 s	1 h 39 min 58 s

Skenování bylo provedeno celkem z 19 skenovacích pozic rozmístěných tak, aby byla zaručena maximální kvalita zobrazení objektu v mračně bodů. Všechny skenovací pozice, s výjimkou pozice č.3 a pozice č.5 byly skenovány s parametrem rozlišení „High“ a kvalitou „Normal“. Zmíněné pozice č.3 a č.5 byly umístěny poměrně daleko od skenovaného objektu. Z tohoto důvodu byly zvoleny parametry rozlišení „Middle“ a kvalita „Low“ na pozici č.3 a rozlišení „Middle“ a kvalita „Normal“ na pozici č.5. Tato volba byla provedena především z úspory času skenování mateřského skenu na dané pozici. Následně byly provedeny výřezy pro celý objekt o rozlišení „Ultrahigh“ a kvality „High“ na obou pozicích. Na ostatních pozicích byly výřezy prováděny také většinou na nejvyšší možné parametry rozlišení a kvality, tedy „Extremelyhigh“ a „Premium“. Tyto výřezy byly prováděny na vzdálené terče a referenční koule z důvodu, aby SW Z+F SCOUT rozpoznal cíle i na velké vzdálenosti. Volba výše zmíněných parametrů byla učiněna s ohledem na skutečnost, že most není výrazně členěný, má čisté a ostré linie a je na něm minimum složitých a detailních prvků, které by bylo třeba skenovat s větší podrobností. [9]

Na závěr skenování, na každé skenovací pozici, skener vyfotil sérii 46 fotografií, které měly vzájemný překryv a pokrývají zorné pole 360x320 stupňů. Z těchto fotografií byla následně v SW Z+F SCOUT vytvořena panoramatická fotografie. Na základě takto vytvořených fotografií bylo vytvořeno obarvené mračno bodů.



Obr. 7.1 Z+F 5016 IMAGER a referenční koule při skenování z druhé pozice



Obr. 7.2 Z+F 5016 IMAGER při skenování z pozice č. 16



Obr. 7.3 Referenční terč t4010



Obr. 7.4 Referenční sféra sf4005

7.3 Zaměření mostní konstrukce 3D polární metodou

Datum měření: 12.4.2020

Povětrnostní podmínky: jasno, mírný vítr, 20 - 25 °C

Souřadnicový systém použitý pro celou práci: S-JTSK, Bpv

Zaměření mostní konstrukce 3D polární metodou bylo provedeno totální stanicí SOKKIA SET2030R3. Měření bylo provedeno z pěti volných stanovišek. Body stanovišek byly číslovány čísly 5001 – 5005. Body 5001 a 5002 byly umístěny z každé strany mostu na pravém břehu řeky Berounky. Bod 5003 byl umístěn na chodníku uprostřed mostu a zbylé body 5004 a 5005 byly také umístěny z každé strany mostu, tentokrát na levém břehu řeky. Body vyrovnané sítě zaměřené v rámci předchozího měření, které byly na mostě a v jeho okolí vhodně stabilizovány, byly pro toto měření použity jako orientace pro výpočet volných stanovišek. Měření bylo provedeno ve dvou polohách dalekohledu na každý orientační bod. Pro volná stanoviška byly použity orientační body s čísly 4001, 4002, 4005, 4006, 4007,

4008, 4009, 4010, 4011, 4012, 4013 a 4014. Volná stanoviska byla volena tak, aby úhly protnutí byly optimální a zároveň aby bylo možné zaměřit maximální možný počet prvků na mostě.

Celkem bylo zaměřeno 1043 podrobných bodů. Měření podrobných bodů bylo provedeno na minihranol nebo v případě nepřístupných míst funkcí bezhranolového měření. Měření byly především rohy betonových konstrukcí, průnik pilířů s terénem, asfaltová komunikace, zábradlí a další prvky.

V rámci zjednodušení a urychlení měřičských prací byly některé prvky (zábradlí, dimenze nosníků) zaměřeny pouze jednou buď totální stanicí, nebo pásmem a tyto opakující se prvky byly v rámci celého mostu měřeny pouze jedním bodem. Měření a samotné zpracování nebylo provedeno v takovém detailu, jakého bylo dosaženo v rámci skenování. Zaměřený a vyhotovený model mostu nad daty z totální stanice slouží v první řadě pro porovnání přesností mezi metodou polární a metodou statického skenování. Z tohoto důvodu bylo zanedbáno měření ozdobných prvků mostních pilířů a detailní rozměření příčných a podélných nosníků.

8. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

8.1 Metoda GNSS-RTK

Body měřené metodou GNSS-RTK byly zaměřeny dvakrát, jednou ráno a podruhé večer. V případě bodu 4005 při večerním měření nebylo dosaženo fixního řešení na bodě pravděpodobně z důvodu husté vegetace v okolí bodu. Této skutečnosti napovídá i fakt, že přesnosti řešení ranního měření dosahují v poloze hodnoty 42 mm a ve výšce 55 mm. Z tohoto důvodu nebyl tento bod do dalších výpočtů zahrnut. GNSS přijímač Trimble GeoXR byl připojen na CZEPOS se síťovým řešením. Pro výpočet byl použit transformační modul zpřesněné transformace Trimble 2018 verze 1.0 schvalený ČÚZK pro měření od 1.1.2018.

Výsledné souřadnice z ranní a večerní observace byly zprůměrovány a dále použity do vyrovnání jako přibližné souřadnice bodů sítě, výsledné souřadnice jsou uvedeny v tabulce *Tab 8.2*.

Tab 8.1 Tabulka prvního a druhého měření GNSS-RTK

	1.měření			2.měření		
Č. b.	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	807556,545	1052714,441	273,715	807556,537	1052714,425	273,724
4002	807615,812	1052704,369	273,348	807615,831	1052704,382	273,271
4003	807582,859	1052667,408	282,817	807582,860	1052667,425	282,791
4004	807573,740	1052659,694	282,810	807573,741	1052659,709	282,742
4006	807550,837	1052621,137	272,073	807550,824	1052621,154	271,972

Tab 8.2 Tabulka průměrných souřadnic GNSS-RTK

Č. b.	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	807556,541	1052714,433	273,720
4002	807615,822	1052704,376	273,310
4003	807582,860	1052667,417	282,804
4004	807573,741	1052659,702	282,776
4006	807550,831	1052621,146	272,023

Rozdíly souřadnic mezi prvním a druhým měřením dosahují maximálního rozdílu 19 mm na bodě 4002. Větší odchylky se nacházejí u výšek. Z tabulky *Tab 8.3* je patrné, že na bodě 4006 dosahuje rozdíl výšek hodnoty 101 mm. Takové rozdíly vznikly především z důvodu nízkého počtu viditelných družic a jejich špatné konfigurace na obloze. Dále přesnost mohla ovlivnit také vzrostlá vegetace v okolí měřeného bodu. Ačkoliv tyto dosažené přesnosti nejsou nikterak valné, tak výsledné přesnosti skenování a modelů neovlivní. Protože tyto souřadnice byly použity pouze jako přibližné, tak jejich přesnost se projeví pouze na umístění celého měření do systému JTSK a Bpv.

Tab 8.3 Rozdíly souřadnic

Č. b.	Y [mm]	X [mm]	Z [mm]
4001	8	16	-9
4002	-19	-13	77
4003	-1	-17	26
4004	-1	-15	68
4006	13	-17	101

8.2 Vyrovnání prostorové sítě

V rámci vytvoření referenční sítě pro dokumentaci objektu bylo ze 3 stanovisek zaměřeno 26 bodů. Z toho 14 bodů tvořilo základ pro pozdější měření 3D polární metodou a 12 bodů bylo tvořeno terči pro laserové skenování. Data z totální stanice Leica MS60 byla zpracována běžným způsobem, tedy byly zpracovány měření v obou polohách a zprůměrována opakovaná měření. Délky nebyly redukovány z důvodu zachování skutečných rozměrů sítě a následného 3D modelu stavebního objektu. Vyrovnání bylo řešeno v programu Gama, který umožňuje v jednoduchém souboru ve formátu xml (Extensible Markup Language) definovat vstupní soubor pro vyrovnání. Podstatná je zejména možnost zadání různých směrodatných odchylek měření podle počtu opakování jednotlivých veličin vstupujících do vyrovnání (vodorovné směry, zenitové úhly, délky).

V síti bylo měřeno 51 vodorovných směrů, 51 zenitových úhlů a 51 šikmých délek. Síť byla vyrovnávána jako volná s 29 body. Celkem bylo tedy 153 měření a 67 nadbytečných měření. Souřadnice bodů určených GNSS-RTK 4001, 4002, 4003, 4004 a 4006 byly použity jako přibližné pro umístění sítě do prostoru (polohový systém JTSK a výškový systém Bpv).

Při vyrovnání byly uvažovány směrodatné odchylky měření vodorovných směrů a zenitových úhlů 0,6 mgon a délek 2 mm. Tyto hodnoty byly voleny vzhledem k použití ručního cílení na terče laserového skenování a vzhledem k cílení na hranol držený v ruce. Během vyrovnání byla 4 měřeným hodnotám zvýšena směrodatná odchylka z důvodu odlehlosti měření. Apriorní směrodatná odchylka byla volena 1, aposteriorní směrodatná odchylka dosáhla hodnoty 1, což svědčí o vhodné volbě velikosti směrodatných odchylek a nepřítomnosti velkého množství odlehlých měření. Průměrná polohová směrodatná odchylka vyrovnaných souřadnic dosáhla hodnoty 1,3 mm.

8.3 3D polární metoda (Tachymetrie)

Zpracování naměřených dat v rámci polární metody bylo provedeno v programu GEUS 19.0. Celé měření bylo provedeno z pěti volných stanovisek 5001 – 5005. Jako orientace byly využity body zaměřené a zpracované v rámci vyrovnání sítě. Tyto body byly měřeny ve dvou polohách dalekohledu.

V první fázi zpracování bylo nutné nastavit v programu GEUS 19.0 měřítko zkreslení na hodnotu 1.000000. Ačkoliv je v rámci práce řečeno, že je měření prováděno v systému JTSK a Bpv, tak reálně byla měřená data zpracována nezkreslená do Křovákova zobrazení a do nulového horizontu. Důvodem tohoto postupu je především skutečnost, že mračna bodů nelze zkreslit a ze samotného principu věci tvorby 3D modelu pro projekční činnost by tento krok nedával smysl. Pro následné porovnání by nebylo možné použít nezkreslený drátěný model vytvořený nad mračny bodů a zkreslený model vytvořený nad daty z totální stanice. Proto veškeré výstupy této práce jsou v reálných nijak nezkreslených rozměrech.

Po nastavení měřítkového čísla byla výstupní hrubá data z totální stanice opravena o chyby, které nastaly během měření (špatný kód nebo výška hranolu) a byl proveden výpočet dvou poloh dalekohledu. Takto upravená data mohla být nahrána spolu se seznamem souřadnic orientačních bodů do SW GEUS 19.0, kde byl proveden výpočet volných stanovisek. Dále byl proveden výpočet polární metody dávkou pro všech 1043 naměřených podrobných bodů. Takto vypočtené body byly vyexportovány do seznamu souřadnic a do výkresu pro další zpracování drátěného modelu. V závěru byl z programu GEUS vyexportován také protokol o výpočtech (příloha č.3).

Volná stanoviška byla počítána Helmertovou transformací a maximální směrodatná odchylka transformace na bodech 5001 a 5002 byla 5 mm. Směrodatná odchylka transformace na bodech 5003 a 5005 činí 4 mm a na bodě 5004 tato hodnota činí 3 mm.

8.4 Laserové skenování

Data ze statického skenování byla již během samotného skenování automaticky stažena do SW Z+F SCOUT v tabletu. V první fázi zpracování bylo nutné provést filtraci mračen bodů. Filtrace byla provedena v několika úrovních. Cílem filtrace bylo odstranění šumu, odlehlých bodů, neplatných bodů, odstranění bodů s vysokou a nízkou intenzitou odrazu a odstranění bodů k docílení minimálního rozestupu bodů 1 mm.

Takto očištěná mračna bodů byla na základě skenerem nafocených fotografií obarvena a následně registrována do systému JTSK a Bpv.

Dříve než bude popsán samotný proces registrace, je důležité zmínit, několik důležitých pojmů. Prvním z nich je tzv. registrace cloud to cloud. Tato registrace propojuje dvě mračna bodů na základě jejich podobnosti. První mračno bodů je fixní (neměnné v souřadnicích) a druhé mračno je pohyblivé. Pohyblivé mračno je registrováno posunem v osách X, Y a Z a úhlem stočení. Výpočetní program hledá v mračnec bodů podobnosti v podobě hran, ploch a různých 3D prvků. Tyto prvky následně porovná a mračna zaregistruje. Pro úspěšné provedení registrace je nezbytné, aby vzájemně registrovaná mračna bodů měla mezi sebou překryv. Tento překryv by měl být v ideálním případě 100%. To by ale znamenalo, že by byla registrována mračna, která byla naskenována ze stejné pozice. V praxi však stačí, pro dosažení vyhovujících výsledků, překryv 30 – 70%. V případě že je překryv menší, registrace může být úspěšná, ale výrazně to ovlivňuje výslednou přesnost.

Další, v této práci použitý typ registrace, je registrace na terče (targets) nebo na referenční koule (spheres). Tento typ registrace je již dosti podobný běžně používaným transformacím v geodézii. Referenční koule a terče představují identické body a na základě těchto bodů jsou mračna registrována. I zde je důležité dodržet několik podmínek pro dosažení úspěšné registrace. V první řadě je nutné, aby v každém mračně byl minimální počet tří identických bodů naskenovaných dostatečně kvalitně. Nízká kvalita vede k horším výsledkům při rozpoznávání referenčních cílů, a tudíž i k horším výsledkům registrace. Dále je důležitá konfigurace identických bodů. Zde fungují stejné principy, jako při transformaci bodů v geodézii. Dodržení těchto podmínek však může být v praxi poměrně těžko proveditelné. Z tohoto důvodu i v této práci byla zvolena kombinace registrace cloud to cloud a registrace s použitím cílů.

Skener Z+F má integrovanou funkci, která sleduje výchytky kompenzátoru v průběhu skenování. Naskenované mračno bodů si do zpracování nese informace o výchytkách v určitých časech skenování. Na základě těchto dat je SW schopen opravit danou část mračna, která byla znehodnocena náklonem skeneru v průběhu skenování. Tato funkce dokáže výborně kompenzovat například chvění vlivem větru nebo vlivem otřesů půdy.

V případě registrace mračen bodů bylo nejprve nutné provést tzv. předregistraci. Předregistrace může být provedena automaticky za předpokladu, že byly dodrženy v průběhu skenování veškeré postupy pro přenášení stroje mezi jednotlivými skenovacími pozicemi. Výrobce udávané postupy jsou například správné natočení stroje před přesunem, při přesunu jít se strojem přímým směrem, vyvarovat se otřesů a další. Ve skeneru zabudovaná IMU jednotka dokáže rozpoznat pohyb stroje a na základě této informace je možné provést automatickou předregistraci. V případě skenování Liblínského mostu však nebylo možné některé zásady z důvodu členitosti území dodržet. V tomto případě automatická předregistrace selhává. Předregistrace byla tedy provedena manuálně postupným hrubým sestavením naskenovaných mračen do jednoho celku.

Aby bylo možné zjistit, zda skenování a následné registrace byly úspěšné, tak byla provedena prvotní cloud to cloud registrace. Jednotlivé skenovací pozice byly v SW Z+F SCOUT spojeny šipkami, které znázorňují směr a průběh registrace. Pro získání maximální představy o úspěšnosti skenování byl těchto propojení zadán nadbytečný počet. V tomto případě pak program provede vyrovnání. Úspěšnost skenování, respektive registrace byla znázorněna v protokolu. Přesnost této registrace mezi jednotlivými skenovacími pozicemi dosahovala hodnot 3 – 10 mm. Takováto přesnost je v případě skenování ve venkovních prostorech na takto dlouhé vzdálenosti dostačující. Tato registrace však není finální, ukazuje pouze na fakt, že při měření nedošlo k hrubým chybám.

Dalším krokem k dokončení registrace a exportu mračen bodů k následnému zpracování bylo označení všech viditelných terčů a referenčních koulí na každé skenovací pozici. Pro tento proces je také možné využít automatických funkcí programu. Bohužel ale, v případě skenování exteriérů je tento automatický proces spíše kontraproduktivní. Automatické vyhledávání terčů si často plete černobílé přechody na terči například s březovou kůrou nebo jinými ostrými přechody světlých a tmavých barev. Takovéto chyby je pak nutné ručně odstranit. Z tohoto důvodu bylo provedeno manuální vyhledání cílů, kterým byla přiřazena příslušná označení. Terče byly označeny jako „tXXXX“, kde písmena

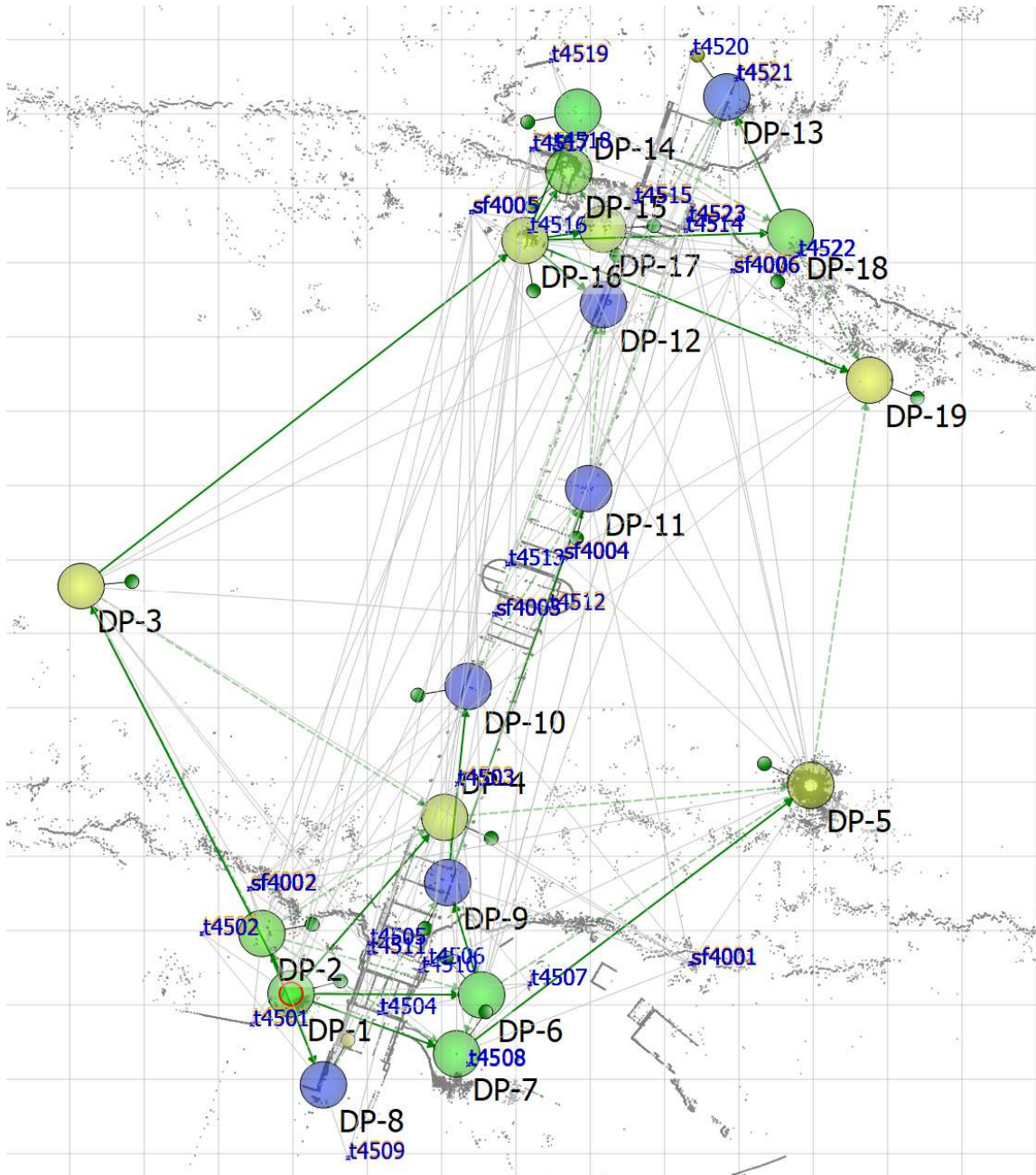
XXXX značí číslo bodu od 4501 do 4523 a referenční koule byly označeny „sfXXXX“, kde písmena XXXX značí číslo bodu sítě od 4001 do 4006. Přesnost označení terčů závisí na úhlu, pod kterým byl terč skenován, na hustotě a kvalitě mračna a také na světelných podmínkách v oblasti terče. Manuální označení cílů je pouze přibližné, software automaticky rozpozná nejideálnější shodu s předdefinovanou šablonou a bod určí. Přesnost označení terčů je o poznání lepší než v případě referenčních koulí, dosahuje řádově 1 – 3 mm. V případě referenčních koulí hraje roli také vzdálenost, kvalita a hustota mračna. Oproti terčům mají však velkou výhodu, že mohou být skenovány ze všech směrů. Manuálně a přibližně označené referenční koule v mračně bodů software porovná s předdefinovanou hodnotou průměru referenční koule a proloží mračnem bodů sféru o daném průměru. Přesnost takového určení bodu dosahuje od 1 do 10 mm.

Pro ověření správnosti zadání všech cílů byla provedená zkušební registrace mračen bodů pomocí funkce cloud to cloud z předchozího vyrovnání doplněna o registraci na referenční koule a terče s celkovým vyrovnáním. Výstupní protokol získaný touto registrací odhalil veškeré chyby v číslování a případné cíle, které přesností nesplňují stanovený limit 10 mm. V takovém případě byly cíle z dané skenovací pozice po zvážení důvodů, díky kterým tato situace nastala buďto odstraněny nebo ponechány pro závěrečný výpočet. V případě zpracování skenování Liblínského mostu nastal takový případ pro referenční kouli sf 4003 skenované z pozice č.1. Chyba na tomto bodě dosahovala hodnoty 12 mm. Tento cíl byl z registrace vyloučen z důvodu částečného zakrytí referenční koule zábradlím mostu. Díky zakrytí nebylo možné naskenovat referenční kouli dostatečně kvalitně a software tak neměl dostatek bodů pro proložení referenční sféry modelovou sférou pro určení středu sféry. Další problém nastal na terči t4511, který byl skenován z pozice č.13. Tento terč byl skenován na vzdálenost pohybující se okolo 100 m. Takováto vzdálenost je v získání správných výsledků limitující ale nikterak nemožná. Na tomto cíli však došlo k přesvícení terče sluncem a intenzita odrazu na černých a bílých plochách terče byla podobná. Z tohoto důvodu nebyl software schopen jednoznačně určit střed terče. V tomto případě chyba na cíli dosahovala hodnoty 11 mm a cíl byl z výpočtu vyloučen. Poslední problém nastal u referenční koule sf4001 skenované z pozice č.16. Tato referenční koule byla také skenována na vzdálenost přesahující 100 m. Pro získávání kvalitních výsledků určení referenčních koulí je tato vzdálenost limitní. Tento bod byl určen s chybou 10 mm a z výpočtu byl vyloučen.

V poslední části registrace bylo nutné registrovat mračna bodů do systému JTSK a Bpv. Do SW Z+F SCOUT byl nahrán upravený seznam souřadnic bodů sítě a terčů. Před čísla bodů bylo doplněno označení „t“ pro terče a „sf“ pro sféry. Číslování bodů se po této úpravě shodovalo s číslováním ve výpočetním programu a mohla být provedena finální registrace. Tato registrace byla provedena jako v předchozím případě metodou cloud to cloud doplněnou o registraci na terče a referenční koule. Dále byla do výpočtu zahrnuta registrace na známé body v S-JTSK a Bpv.

V závěru zpracování byla zaregistrovaná mračna exportována do formátu *.las a byl exportován protokol o registraci (přílohy č. 4 a 6).

Na níže uvedeném obrázku *Obr. 8.1* je schematicky znázorněno umístění jednotlivých skenovacích pozic. Tyto pozice jsou vyobrazeny jako žlutá, zelená a modrá kolečka. Barva těchto koleček demonstruje výšku umístění skenovací pozice. Jedná se pouze o relativní znázornění nezávislé na absolutních nadmořských výškách. V praxi je tato funkce využívána například při skenování vícepodlažních objektů, v takovém případě má pak každé patro jinou barvu skenovacích pozic a lze se snadno orientovat v situaci. Skenovací pozice jsou propojeny zelenými šipkami, které znázorňují směry průběhu registrace cloud to cloud. Tenké šedivé čáry znázorňují orientace na terče a referenční koule. Celé schéma je podloženo potlačeným mračnem bodů pro usnadnění orientace a čtvercovou sítí o rozměrech 10 x 10 m.



Obr. 8.1 Schéma skenovacích pozíc a cieľů

9. ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI

9.1 Vyrovnání sítě

Vyrovnání volné sítě bylo provedeno v programu GNU Gama, celkem bylo vyrovnáno 29 bodů. Z toho 14 bodů tvořilo základ pro pozdější měření 3D polární metodou a 12 bodů bylo tvořeno terči pro laserové skenování. Dosažená přesnost určení pravoúhlých prostorových souřadnic bodů bodového pole je vyjádřena hodnotami polohových směrodatných odchylek jednotlivých bodů. Pro popis výsledků vyrovnání bylo vybráno několik ukazatelů (Příloha 2):

Maximální polohová směrodatná odchylka je 2,3 mm.

Minimální polohová směrodatná odchylka je 0,6 mm.

Průměrná polohová směrodatná odchylka 1,3 mm.

9.2 Polární metoda

Zaměření Liblínského mostu 3D polární metodou bylo provedeno z volných stanovisek 5001 – 5005. Za orientační body byly zvoleny body vyrovnané měřičské sítě. Z *Tab.9.1* jsou patrné dosažené přesnosti v rámci určování volných stanovisek. Podrobnější protokol o výpočtech volných stanovisek je uveden v příloze 3.. Volná stanoviska byla počítána Helmertovou transformací. Pro výpočet bylo použito měřítkové číslo zkraslení 1.00000.

Dosažená přesnost výpočtu volného stanoviska, respektive střední chyba transformace, jak je z níže uvedené tabulky patrné, dosahuje hodnot 3 – 5 mm. Tato dosažená přesnost splňuje očekávání zvolené maximální chyby 10 mm a je tedy možné s těmito daty dále pracovat.

Tab.9.1 Tabulka orientací volných stanovisek a dosažených přesností

Volné stanovisko	Orientační body	Odchyly transformace		
		Vy [m]	Vx [m]	Vz [m]
5001	4001	-0,003	-0,003	0,001
	4013	-0,001	0,003	0,000
	4002	-0,006	-0,005	-0,000
	4007	0,008	0,007	0,004
	4008	-0,001	-0,007	0,003
	4009	0,004	0,003	-0,001
	4006	-0,001	0,002	-0,006
	Sm. odchylka transformace [m]:		0,005	
5002	4014	0,006	-0,002	-0,001
	4013	0,003	0,002	-0,000
	4012	-0,007	0,002	0,007
	4011	-0,006	-0,007	0,001
	4010	0,001	0,000	-0,000
	4005	0,003	0,005	-0,006
	Sm. odchylka transformace [m]:		0,005	
5003	4009	0,006	-0,001	-0,001
	4010	-0,003	-0,002	-0,003
	4011	-0,005	0,001	0,003
	4008	-0,001	0,003	0,003
	4012	0,005	-0,002	0,001
	4007	-0,002	-0,000	-0,002
	Sm. odchylka transformace [m]:		0,004	
5004	4005	-0,006	0,002	-0,002
	4009	0,004	-0,003	0,007
	4008	0,001	0,000	-0,000
	4007	0,000	0,001	-0,002
	4001	0,000	-0,000	-0,003
	Sm. odchylka transformace [m]:		0,003	
5005	4010	-0,001	-0,002	0,008
	4011	0,001	0,004	-0,003
	4012	0,002	-0,004	-0,004
	4002	-0,002	0,003	0,000
	Sm. odchylka transformace [m]:		0,004	

9.3 Laserové skenování

Před samotným skenováním byla stanovena maximální dopustná hodnota vnitřní přesnosti mračna bodů na 10 mm. Tato hodnota v praxi znamená, že dva naskenované prvky mají vůči sobě přesnost 10 mm, přičemž nezáleží na jejich umístění v mračně bodů.

Výstupem ze SW Z+F SCOUT je protokol o registraci. Tento protokol je v přílohách uveden jako 4.. V protokolu jsou podrobně rozepsány jednotlivé dosažené přesnosti v rámci registrace cloud to cloud, přesnosti určení terčů a referenčních koulí.

Celková přesnost je z důvodu složitosti a rozvětvenosti registrace definována několika parametry. Směrodatná odchylka registrace metodou cloud to cloud dosahuje hodnoty 7,16 mm. Stanovená vnitřní přesnost mračna 10 mm byla splněna již touto registrací.

Registrace doplněná o terče a referenční koule tuto přesnost zlepšuje. Dalším ukazatelem je směrodatná odchylka registrace s využitím terčů a referenčních koulí na cíli, která dosahuje hodnoty 1,41 mm. Dále maximální odchylka registrace s využitím terčů a referenčních koulí na cíli je 8,10 mm a průměrná odchylka s využitím cílů dosahuje hodnoty 2,27 mm.

Posledním ukazatelem vztahujícím se k stanoveným přesnostem, je registrace s využitím terčů, která respektuje souřadnice sítě S-JTSK a Bpv. Tato registrace dosahuje většinou horších přesností než předchozí. Je to dáno především tím, že do výpočtu vstupují pevně určené body, které byly v rámci sítě zaměřeny 3D polární metodou a vyrovnány. Přesnost tohoto měření se samozřejmě projeví i v této registraci. Hodnota směrodatné odchylky registrace s využitím referenčních koulí a terčů určených v S-JTSK a Bpv dosahuje 1,84 mm. Maximální odchylka registrace činí 7,90 mm a průměrná odchylka registrace respektující body sítě dosahuje 3,22 mm.

Výsledná vnitřní přesnost mračna bodů tedy splňuje předem stanovené maximální odchylky. V níže uvedené tabulce 9.2 jsou přehledně shrnuty dosažené přesnosti.

Tab.9.2 Tabulka dosažených přesností registrace mračen bodů

Výsledné odchylky registrace cloud to cloud	
σ_{cc}	7,16 mm
Výsledné odchylky registrace na terče a referenční koule	
Průměrná odchylka	2,27 mm
Směrodatná odchylka	1,41 mm
Maximální odchylka	8,10 mm
Výsledné odchylky registrace na terče a referenční koule s respektováním bodů sítě	
Průměrná odchylka	3,22 mm
Směrodatná odchylka	1,84 mm
Maximální odchylka	7,90 mm

9.4 Vliv nedokonalostí konstrukce na průběh zpracování a výsledné výstupy

Při dokumentaci skutečných stavů objektů je vždy řešena otázka, do jaké míry generalizovat členitost a zakřivení konstrukcí. Tato problematika by měla být v praxi podchycena zadáním ze strany projekční kanceláře. Většinou se jedná o zadání maximální délky (odchylky) skutečného stavu a geodetem kreslené linie. Velikost této maximální odchylky je většinou udávána v závislosti na tom, o jaký objekt se jedná a k jakým účelům výsledná dokumentace bude sloužit.

Zásadní otázkou tedy je, jakým způsobem a co nejvěrněji zobrazit dokumentovaný objekt. Prvním způsobem je 2D dokumentace v podobě půdorysů, řezů a pohledů. V tomto případě je v rámci jednoho výkresu znázorněna jen 2D složka a výkres obsahuje jen část informací o daném objektu. V praxi tak často dochází k tomu, že spousta důležitých věcí není ve výkresech obsažena vůbec. Členitost a zakřivení samotných konstrukcí lze v tomto případě zobrazit jen v podobě 2D a díky tomu následný zpracovatel může přijít do kontaktu s neúplnými informacemi o skutečném tvaru konstrukce.

Další možností je přesunout se do trojrozměrného zobrazení dat. V tomto případě je nutné již při zpracovávání dokumentace řešit problémy, které v předchozím případě byly většinou přesunuty na projekční kancelář. Je to dáno především tím, že při dokumentování objektů ve 3D, je nutné řešit veškeré hrany a lomy konstrukcí, přičemž ve 2D spousta hran a lomů konstrukcí nebyla vůbec vyobrazena. Jedním z možných způsobů, jak tyto hrany a

lomy zobrazit je 3D drátěný model. V tomto případě jsou řešeny a zobrazeny pouze hrany objektu, ale nikoliv plochy, které by propojily jednotlivé hrany. Tímto způsobem lze věrněji zachytit hrany objektu, nikoliv však křivost ploch.

Pokud bychom chtěli vyobrazit křivost ploch, tak objekt je možné zobrazit pomocí naskenovaného mračna bodů nebo trojúhelníkové sítě. Těmito metodami lze v případě dostatečně hustého mračna, respektive sítě, vyobrazit většinu nerovností. Samozřejmě toto zobrazení musí vycházet z reálně naměřených dat. V místech, která nebyla naskenována, pak není možné mračno nebo síť rekonstruovat.

Protipólem takto zpracovaných a naměřených dat, která jsou schopná reprezentovat a vyobrazit i minimální křivost konstrukcí, jsou data z polární metody. Tedy body reprezentující pouze rohy konstrukcí, přičemž mezi těmito body je předpokládán rovný průběh konstrukce.

V této práci byly použity metody vyobrazení 2D dokumentace, drátěný model a model BIM. Každé toto vyobrazení má svá specifika. V případě 2D dokumentace byla snaha o dodržení maximální odchylky 20 mm. Samozřejmě ale není zobrazen třetí rozměr, takže kresba nemusí mít ve všech případech kvalitní vypovídající hodnotu.

3D drátěný model mostu vyhotovený z dat naměřených polární metodou zobrazuje pouze hrany, které jsou vedeny mezi naměřenými body. Zde, jak vyplývá z následující podkapitoly, je naráženo na spoustu úskalí, která ovlivňují výslednou přesnost drátěného modelu. Vyobrazené hrany konstrukcí jsou ovlivněny přesností koncových bodů. Přesnost koncových bodů vychází samozřejmě z přesnosti přístroje a určení stanoviska, ale nejpodstatnější složka této přesnosti je správné cílení. Správné cílení nejvíce ovlivňují nedokonalosti a nečistoty na konstrukci, velká vzdálenost, světelné podmínky apod. Z porovnání v následující podkapitole vyplývá, že tyto body dosahují odchylek od mračna bodů v řádech i několika centimetrů. Samotná křivost konstrukce se tak většinou skryje za nepřesnost samotných bodů.

Drátěný model mostu vyhotovený nad daty laserového skenování se snaží v maximální možné míře opisovat reálné hrany objektu. Na první pohled nepatrné a téměř nepostřehnutelné nedokonalosti a křivosti konstrukce dosahují řádu centimetrů, ale ve všech je možné v drátěném modelu vyobrazit. Z tohoto důvodu byla pro kresbu maximální odchylka linie od mračna bodů zvolena na hodnotu 20 mm.

V případě BIM modelu je situace o něco komplikovanější. Model byl tvořen v programu Revit 2018, který je primárně cílený na architektonickou a projekční sféru. Bohužel v tomto programu nelze modelovat křivé konstrukce tak, aby k těmto konstrukcím byly zároveň vázány informace o skladbě a materiálech. Z tohoto důvodu byl model tvořen převážně z na sebe kolmých objektů reprezentujících části konstrukce. V tomto případě pak musela být zvolena maximální odchylka mračna bodů od modelované konstrukce na 50 mm. Takto vytvořený model v podstatě reprezentuje ideální stav mostní konstrukce bez všech deformací a nedokonalostí.

9.5 Porovnání přesnosti 3D drátěných modelů měřených 3D polární metodou a metodou laserového skenování

Liblínský most byl v rámci této práce měřen metodou laserového skenování. Data z této metody byla využita téměř ve všech výstupech především proto, že obor laserového skenování je poměrně mladý a perspektivní. V dnešní době se tato metoda využívá stále častěji a dobývá tak čím dál více oborů geodézie. Vzhledem ke komplexnosti a struktuře dat je tato metoda poslední roky dominantní i ve sféře projekční. Z tohoto důvodu byla metoda laserového skenování zvolena i pro tuto práci. Tato metoda je alternativou k 3D polární metodě, která byla a někdy ještě je využívána při dokumentaci takovýchto složitých objektů.

S příchodem a využitím nových technologií je nutné položit si otázku, zda dokáže tato technologie plně nahradit tu původní? Samozřejmě že je možné hodnotit tuto problematiku z mnoha úhlů. Z ekonomického hlediska je technologie laserového skenování nákladnější především v pořizovacích cenách přístrojů a příslušenství. Investice do technologie laserového skenování se ale vyplatí v podobě až několikanásobné úspory času při měření. V případě Liblínského mostu bylo provedeno skenování za poloviční čas než metoda polární. Přidaná hodnota skenování navíc je, že ze získaných dat lze vyhotovit BIM model s podrobností až LOD500. Pokud bychom chtěli získat stejnou podrobnost a rozpracovanost i z dat polární metody, časová náročnost měření by se rázem zvýšila i na více jak čtyřnásobek.

Dalším hlediskem může být náročnost dat na zpracování. V tomto případě je časová náročnost podobná. V případě laserového skenování se však pracuje s velkými objemy dat (v řádech GB). Zde se čas zpracování odvíjí především od výkonu počítače.

Posledním a nejdůležitějším faktorem je přesnost. Nelze jednoznačně říct, zda je přesnější metoda polární nebo metoda laserového skenování. Zde záleží na mnoha faktorech,

obě z metod fungují a generují trochu jinak využitelná data. Z tohoto důvodu závěry o přesnosti a využitelnosti metod uvedené v této kapitole je možné aplikovat pouze na dokumentace skutečného stavu objektů.

Na základě metody polární a metody laserového skenování byly vyhotoveny dva drátěné modely mostního objektu. V případě laserového skenování byl vyhotoven plnohodnotný a do detailu rozpracovaný drátěný model obsahující detailní prvky, jako například dekorační prvky v pilířích a zábradlích, svody inženýrských sítí, dělení kamenného obložení pilířů a další. Drátěný model vyhotovený na základě naměřených bodů polární metodou byl již od samého začátku měřen pouze z důvodu porovnání. Proto byly měřeny především výrazné a důležité prvky konstrukce mostu. I přes tuto skutečnost bylo zaměřeno přes 1000 podrobných bodů. Do samotného porovnání dvou modelů tak byly použity pouze identické body, které by měly mít v ideálním případě stejnou polohu.

Porovnáno bylo celkem 200 bodů. Příloha 10. znázorňuje porovnání 100 přímo měřených bodů polární metodou a jim odpovídajícím bodům získaných z mračna bodů. Ve druhé tabulce příloha 11. je uvedeno 100 bodů, které nebyly přímo měřené v rámci polární metody, ale byly konstruovány za pomoci kolmic a svislic. V tabulkách jsou uvedeny seznamy souřadnic bodů z polární metody, respektive z metody laserového skenování. Dále jsou v těchto tabulkách uvedeny rozdíly souřadnic a prostorová délka mezi body. Z rozdílů souřadnic a z prostorových délek mezi body byly určeny průměrné směrodatné odchylky, které charakterizují míru ztotožnění dvou modelů. Z níže uvedené tabulky 9.3 jsou pak patrné celkové dosažené přesnosti.

Výběrové směrodatné odchylky jednoho bodu pro složku Y, X, Z a prostorovou délku d_{xyz} byly vypočteny dle vzorce:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum i^2}{n-1}}, \text{ kde } n=100 \text{ (počet bodů)}, i = dY; dX; dZ; d_{xyz}$$

Výběrové směrodatné odchylky průměru byly počítány dle vzorce:

$$\sigma_{d_{xyz}} = \sqrt{\frac{\sum d_{xyz}^2}{(n-1)*n}}, \text{ kde } n=100 \text{ (počet bodů)}.$$

Tab.9.3 Tabulka dosažených přesností z porovnání drátěných modelů mostu

Prostorové délky mezi přímo měřenými body polární metodou a body získanými z mračna bodů	
Maximální prostorová délka: d_{yz_max}	69,5 mm
Minimální prostorová délka: d_{yz_min}	2,5 mm
Průměrná prostorová délka: $d_{yz_Ø}$	20,9 mm
Výběrová směrodatná odchylka průměru: $\sigma_{Ødyxz}$	2,51 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro Y: σ_y	13,84 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro X: σ_x	15,76 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro Z: σ_z	13,75 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro d_{yz} : σ_{dyxz}	25,08 mm
Prostorové délky mezi konstrukčními body vycházející z polární metody a body získanými z mračna bodů	
Maximální prostorová délka: $d_{yz_K_max}$	83,5 mm
Minimální prostorová délka: $d_{yz_K_min}$	6,9 mm
Průměrná prostorová délka: $d_{yz_K_Ø}$	28,7 mm
Výběrová směrodatná odchylka průměru: $\sigma_{K_Ødxyz}$	3,37 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro Y: σ_{K_y}	21,26 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro X: σ_{K_x}	18,80 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro Z: σ_{K_z}	18,24 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro d_{yz} : σ_{K_dyxz}	33,74 mm

Z výše uvedené tabulky je patrné, že v obou porovnávaných případech dosahují rozdíly řádu několika centimetrů. Zde se projevují především chyby z jednotlivých metod, které byly rozepsány v předchozích podkapitolách. Chyba vyrovnání sítě, chyba určení volných stanovisek polární metody, vnitřní přesnost mračna bodů, umístění mračna bodů do

systému JTSK a Bpv. Toto jsou všechno chyby, které mají nahodilou povahu, to znamená, že tyto chyby se nemusejí sčítat. I přes tento fakt musíme brát v úvahu, že vnitřní přesnost mračna bodů je do 10 mm, volná stanoviška byla také určena s přesností do 10 mm. S přihlédnutím k této skutečnosti jsou rozdíly do cca 20 mm neprokazatelné. V rámci porovnání se v obou případech však poměrně často objevují hodnoty okolo 30 – 50 mm. Tyto chyby jsou způsobeny především nedokonalostí povrchů a nečistot na mostní konstrukci. Nedokonalostí na mostní konstrukci je myšleno především křivost (průhyb) zdánlivě rovných konstrukcí nebo například rozbité rohy a hrany konstrukcí. V případě laserového skenování jsou tyto nedokonalosti zachyceny a při modelování v počítači je možné chybějící hrany a rohy domodelovat. Křivost konstrukce je pak možné velice dobře zachytit a zobrazit v modelu. Pokud ale tato situace nastane při měření polární metodou, dává to prostor pro zanesení poměrně velkých chyb do výsledného modelu. Znehodnocené rohy konstrukcí měřené na velké vzdálenosti se mohou jevit v pořádku a měřený bod pak neodpovídá skutečnému rohu. Dále pak je v rámci polární metody předpoklad, že mezi body, jsou konstrukce rovné, dochází zde tak do určité míry ke generalizaci. Zatímco data z laserového skenování tuto nedokonalost zachytí a mračnem bodů je proložena přímka nebo křivka, tak vždy je dosaženo lepšího odhadu rohu konstrukce než z měření polární metodou. Dalším nepříznivým vlivem, který ovlivňuje měření polární metodou, jsou nečistoty, které se usazují především ve vnitřních rozích konstrukcí. Tyto nečistoty mohou výrazně ovlivnit výsledné naměřené body. Posledním důležitým faktem může být nepříznivé světlo a stín hlavně v oblasti pod mostovkou. Zde se především na dlouhé vzdálenosti velice obtížně určují rohy konstrukcí a tímto pak vznikají zbytečné chyby z cílení.

Dle očekávání jsou patrně horší výsledky z konstrukčních bodů oproti bodům přímo měřeným. Je to dáno především tím, že v chybách konstrukčních bodů jsou zahrnuty chyby bodů, ze kterých jsou vedeny konstrukční čáry a předpoklad, že daný bod se nachází na kolmicích a svislicích.

Výše popsané chyby tak mohou dosahovat dle přiložených tabulek řádu několika centimetrů. Tyto chyby jsou však přisuzovány především polární metodě. A to především z výše uvedených důvodů a také s přihlédnutím k faktu, že mračno bodů obsahuje nadbytečné množství naměřených informací a je proto možné lépe provádět konstrukční modelování na kolmice a svislice. Na níže uvedených obrázcích je schematicky znázorněno rozmístění porovnávaných bodů, přičemž červené body značí přímo měřená data a fialové body značí data konstrukční.



Obr. 9.1 Schematické znázornění porovnávaných bodů



Obr. 9.2 Schematické znázornění porovnávaných bodů



Obr. 9.3 Schematické znázornění porovnávaných bodů

10. ZPRACOVÁNÍ VÝSTUPŮ

10.1 Mračno bodů

Registrovaná mračna bodů ze SW Z+F SCOUT byla exportována ve formátu *.las. Exportovaná mračna bodů byla nahrána do SW Cloudcompare Stereo. V tomto programu byla mračna sloučena do jednoho kompaktního mračna a bylo provedeno prvotní ořezání. Ořezáno bylo okolí mostu vzdálené cca 25 m. Dále bylo nutné očistit mračno bodů od vzrostlé vegetace (stromy, keře, vysoká tráva) a od chyb v mračně (postavy, projíždějící auta). Po ořezání těchto vad z mračna bodů bylo dále nutné odstranit šum a odlehlé body. Šum a odlehlé body byly odstraněny pomocí funkce SOR. Tato funkce hledá v mračně bodů takové body, které jsou příliš vzdálené od ostatních a tyto body následně odstraní. Dalším důležitým krokem bylo provedení redukce (naředění) mračna bodů na hodnotu 5 mm. Tento krok zajistil, aby v mračně nebyly žádné dva body sobě blíže, než právě 5 mm.

Takto upravené mračno obsahující 124,4 milionů bodů bylo exportováno jako finální výstup ve formátu *.las a nachází se v přílohách pod č. 6.

Očištěné mračno bodů bylo dále rozřezáno na půdorysný pohled na mostovku, půdorysy pilířů, podélný řez mostem, pět příčných řezů a západní a východní pohled na most. Takto rozřezané mračno bylo dále použito jako podklad pro vyhotovení 2D dokumentace.



Obr. 10.1 Mračno bodů

10.2 Situace 1 : 200

Situace (příloha č. 7.) nejbližšího okolí mostu byla vytvořena v SW AutoCAD 2018 na podkladě mračna bodů. Kresba mostu byla částečně převzata z výkresu půdorysu mostu 1 : 50. Tato kresba byla generalizována do měřítka 1 : 200. Na podkladě mračna bodů byla vytvořena kresba okolí mostu, která byla doplněna o popis a mapové značky. Výškopis situace je tvořen vrstevnicemi s intervalem 0,5 m. Tyto vrstevnice byly vytvořeny v SW ATLAS DMT na podkladě dat DMR 5G. Dále byla do kresby vložena katastrální mapa získaná ze serveru ČÚZK. Katastrální mapa je aktuální k datu 4/2020 a obsahuje k.ú. Liblín [682993] a k.ú. Kozojedy u Kralovic [671932].

10.3 Přehledné náčrty bodů sítě, směrů měření a orientací a registrace mračen bodů metodou cloud to cloud

Další přílohou této práce jsou výkresy znázorňující strukturu měřických sítí a rozmístění měřických bodů. Vzhledem ke složitosti sítě a velkému množství jednotlivých záměr na různé body z různých stanovisek a pozic, bylo nutné toto znázornění rozdělit do pěti výkresů pro větší přehlednost.

Kresba byla vytvořena také v SW AutoCAD 2018. Jako podklad byla použita kresba polohopisu z výkresu situace 1 : 200. Tato kresba byla potlačena do šedivé barvy, aby výsledný výkres byl lépe čitelný. Do kresby jednotlivých výkresů byly doplněny pozice stanovisek, hlavních a pomocných bodů sítě, skenovací pozice, pozice referenčních terčů a sfér.

V prvním výkresu 8.1.1. byly modrou barvou vyznačeny směry měřené totální stanicí Leica MS60 ze stanovisek 4101, 4102 a 4103. Z těchto naměřených směrů byl následně proveden výpočet vyrovnání sítě.

Druhý výkres 8.1.2. vyobrazuje směry měřené v rámci volných stanovisek 5001 – 5005, ze kterých byly měřeny podrobné body mostní konstrukce. Kresba těchto směrů je ve výkresu vyobrazena oranžovou přerušovanou čarou.

Výkres 8.1.3. vyobrazuje propojení jednotlivých skenovacích pozic v rámci metody registrace cloud to cloud. Jedná se pouze o jednoduchou demonstraci toho, jakým způsobem byla provedena jedna z částí celkové registrace mračen bodů. Propojení skenovacích pozic je vyobrazeno zelenou barvou.

Čtvrtý výkres 8.1.4. znázorňuje směry na použité terče v registraci na jednotlivých skenovacích pozicích. Tyto směry jsou vyobrazeny fialovou přerušovanou čarou. Terče propojené se skenovací pozicí byly z této pozice viditelné nebo při skenování byl proveden výřez naskenovaný v lepší kvalitě, aby bylo možné identifikovat i ty nejvzdálenější cíle.

Poslední výkres 8.1.5. stejně jako předchozí vyobrazuje směry ze skenovacích pozic, tentokrát ale na referenční sféry a propojení je znázorněno červenou barvou.

10.4 Půdorys 1 : 50

Jedním z výstupů, který lze na základě získaných dat z laserového skenování vyhotovit, je 2D dokumentace skutečného stavu. Součástí takové dokumentace jsou půdorysy, řezy a pohledy. V současné době se v oblasti dokumentace mostů využívá především 3D drátěných modelů a 2D dokumentace má spíše doplňkovou funkci. I přes tento fakt je to jedna z možností, jak zachytit skutečný stav nějakého objektu.

První a hlavní část 2D dokumentace tvoří půdorysný pohled na most. Pro tvorbu tohoto půdorysu bylo použito mračno bodů z předchozího zpracování, které bylo nahráno do SW AutoCAD 2018. Zde byly mračnem bodů proloženy linie znázorňující kraje mostovky, obrubníky, inženýrské sítě, zábradlí a další prvky. Dále byla kresba doplněna o kóty a znázornění řezových rovin. Půdorysný výkres mostu byl vyhotoven v měřítku 1 : 50. Půdorys je uveden v přílohách pod č. 9.1.

10.5 Řez podélný 1 : 50

Podélný řez (příloha č. 9.2.1.) byl veden podélnou osou mostu a pohled řezu je od západu na východ. Podélný řez byl vyhotoven nad ořezaným mračnem bodů. Mračnem bodů byly proloženy linie znázorňující veškeré viditelné konstrukční prvky. Kresba byla rozdělena, dle normy [11], na tlustou čáru znázorňující konstrukce v řezu, na tenkou čáru znázorňující konstrukce v pohledu a čáru přerušovanou označující skryté hrany konstrukcí. Kresba byla dále v elektronické podobě rozdělena do vrstev podle materiálů a typů konstrukce. Do výkresu byla zvolena srovnávací rovina na nadmořskou výšku 270.000 m. K této rovině byly vztaženy kóty. Výkres podélného řezu byl vyhotoven v měřítku 1 : 50.

Dále byl tento řez doplněn o uložení mostních pilířů do terénu včetně přibližného znázornění úrovně skalního podloží. Tato data byla získána z původní projektové dokumentace z roku 1927 [12].

10.6 Příčné řezy 1 : 50

Celkem 5 příčných řezů (přílohy č. 9.2.2., 9.2.3., 9.2.4., 9.2.5. a 9.2.6.) bylo stejně jako předchozí podélný řez vyhotoveno nad rozřezaným mračnem na jednotlivé příčné řezy. Tato mračna byla také nahrána do SW AutoCAD 2018, kde byly mračnem bodů proloženy linie znázorňující hrany konstrukcí. Struktura výkresů a kresby je stejná jako u podélného řezu. Příčné řezy byly voleny kolmo na podélnou osu mostu. Příčné řezy B, E a F znázorňují průřez třemi hlavními pilíři a řezy C a D znázorňují průřez ve vrcholech oblouků. Všechny výkresy příčných řezů byly také doplněny o srovnávací rovinu o nadmořských výškách 270.000 m a 271.000 m. Veškeré výkresy příčných řezů byly vyhotoveny v měřítku 1 : 50.

10.7 Pohledy 1 : 100

V rámci 2D dokumentace byl vyhotoven pohled západní a pohled východní na Liblínský most. Pohledy na most byly vyhotoveny podobným způsobem jako kresba řezů. Patříčně ořezané mračno bodů bylo importováno do SW AutoCAD 2018. Nad tímto mračnem byla vyhotovena kresba. Výkresy byly doplněny o kóty nadmořských výšek a byly vyhotoveny v měřítku 1 : 100. Tyto pohledy se nacházejí v přílohách pod čísly 9.3.1. a 9.3.2..

10.8 3D drátěný model mostu – 3D polární metoda měření

Zaměřené body 3D polární metodou byly nahrány do SW AutoCAD 2018. V tomto programu byla provedena kresba 3D drátěného modelu mostu. Nejprve byly spojeny přímo zaměřené body a byly tak vytvořena základní konstrukce mostu. Jelikož nebylo možné fyzicky zaměřit veškeré lomové body konstrukcí z důvodu špatné viditelnosti, tak byly tyto body graficky vymodelovány s předpokladem, že leží na kolmicích, rovnoběžkách nebo svislicích od již vymodelovaných linií a naměřených bodů. Tímto způsobem byla vytvořena převážná část nosníků pod mostovkou. Nosníky pod mostovkou nebylo možné z velké části důkladně proměřit, protože konstrukce mostu neumožňovala dostatečný výhled na potřebné body. I přes tuto skutečnost byl naměřen dostatečný počet bodů pro modelování.

Opakující se prvky, například sloupky zábradlí nebo rozměry nosníků byly proměřeny důkladně pásmem nebo totální stanicí na jednom prvku. Na základě naměřených dat byla vytvořena kresba takového prvku. Ostatní prvky byly zaměřeny jen jedním bodem. Na tento bod byl vymodelovaný prvek rozkopírován.

Kresba byla roztříděna do devíti vrstev dle typů materiálů a konstrukcí. Tyto vrstvy byly rozlišeny barvami pro snadnější orientaci v drátěném modelu. Dále stejně jako drátěný

model mostu vyhotovený na podkladě laserového skenování byl model doplněn o vrstevnice získané z DMR 5G vygenerované v SW ATLAS DMT v intervalu 0,5 m. Tento model je součástí přílohy č. 12.

10.9 3D drátěný model mostu – Metoda laserového skenování

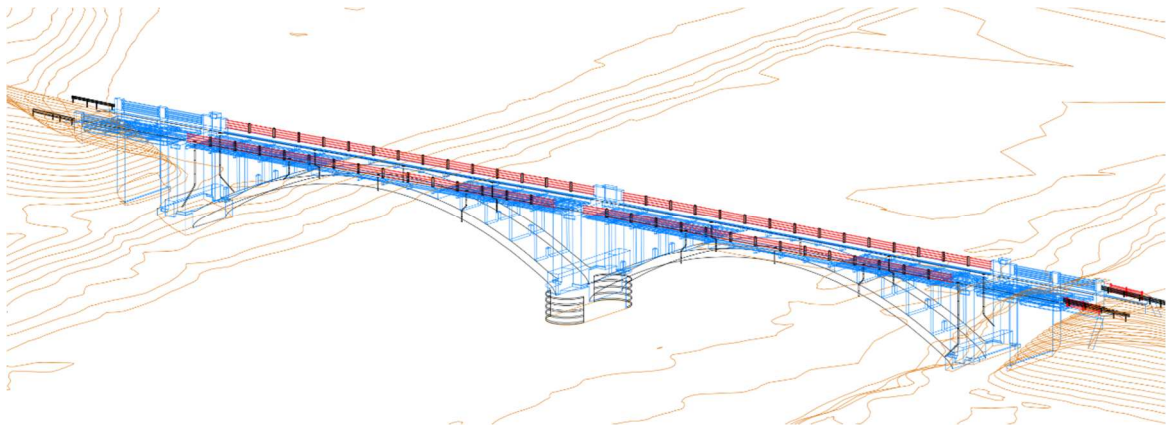
3D drátěný model mostu kreslený na podkladě mračna bodů ze statického laserového skenování byl vyhotoven v SW AutoCAD 2018. Do tohoto programu bylo nahráno mračno bodů, které bylo nejprve rozřezáno na půdorysné roviny a poté na roviny podélných a příčných řezů. Půdorysné řezy byly zdigitalizovány a následně tato kresba byla doplněna o souřadnici Z na základě příčných a podélných řezů. Tento postup byl několikrát opakován pro různé vrstvy a prvky mostu.

Kresba mostu byla rozdělena do devíti vrstev, které byly odlišeny barvami. Tyto prvky byly rozděleny na základě jejich materiálu nebo funkci. Dále byly do kresby doplněny vrstevnice v intervalu 0,5 m. Vrstevnice byly vygenerovány v SW ATLAS DMT nad daty DMR 5G. Drátěný model mostu je uveden v příloze č. 13.

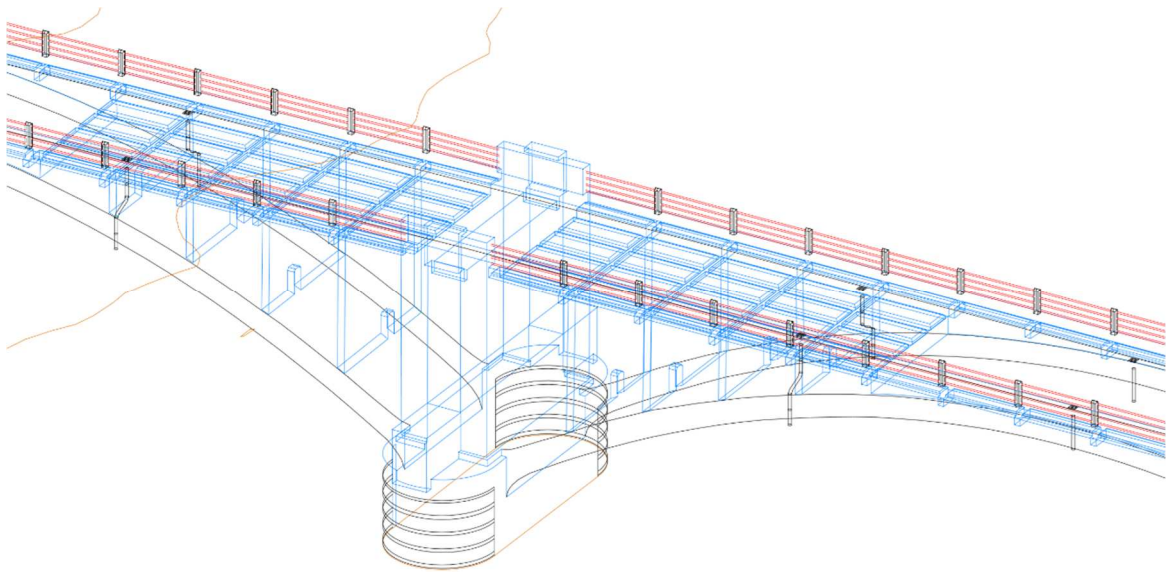
Vzhledem k povaze celé konstrukce, její členitosti, zakřivení a nepravidelnosti byla pro tento model zvolena přesnost kresby do 2 cm. Veškeré nerovnosti materiálů, které byly menší, než tato hodnota byly zanedbány. Zakřivenými konstrukcemi byly prokládány úsečky tak, aby maximálně vystihovaly jejich průběh a aby byla dodržena maximální odchylka 2 cm.



Obr. 10.2 Pohled na drátěný model mostu a údolí řeky Berounky



Obr. 10.3 Pohled na drátěný model mostu



Obr. 10.4 Pohled na prostřední pilíř mostu drátěného modelu

10.10 Model mostu BIM

Informační modelování Liblínského mostu bylo provedeno v programu REVIT 2018. Podkladem pro tvorbu samotného 3D modelu bylo mračno bodů a původní projektová dokumentace z roku 1927 zapůjčená od Odboru dopravy v Rokycanech u Plzně.

Přesnost vytvořeného 3D modelu v programu Revit byla značně zhoršena oproti vytvořenému drátěnému modelu. Drátěný model kopíruje téměř všechny nedokonalosti a nerovnosti zachycené laserovým skenerem na mostě. Oproti tomu BIM model pracuje o poznání jiným způsobem a nedává velký prostor pro zachycení veškerých nerovností. Z tohoto důvodu byly některé části mostu modelovány podle rozměrů původní dokumentace. U těchto objektů byla provedena pouze kontrola, zde na těchto místech existuje podobnost mezi původní dokumentací a vytvořeným mračnem bodů. Příkladem

takto vytvořených částí mostu bylo zábradlí nebo rastr nosné konstrukce pod vozovkou. Tyto prvky se na mostě v hojné míře opakují a nebyl tak důvod je modelovat zvlášť, když odchylky mezi zdánlivě stejnými objekty dosahují řádu několika milimetrů. V rámci modelování celého mostu byla snaha o dodržení odchylky mezi mračnem bodů a modelem do 5 cm.

Vzhledem ke skutečnosti, že BIM model mostu nebyl hlavním tématem této práce, tak v rámci modelování došlo k určité generalizaci geometrie některých prvků. Tato generalizace se týká například prostupů v pilířích a ozdobných prvků zábradlí. Stejně tak detailnost vytvořených databází a tabulek prvků není propracovaná do nejmenších detailů. Důvodem je především to, že nebyla dochovaná textová část původní dokumentace z roku 1927 a nebylo tak možné doplnit například detailní parametry použitého betonu, omítky nebo nátěrů, výrobce, původní ceny a další. Souhrn těchto generalizací a neúplnosti informací dává za výsledek úroveň rozpracovanosti LOD300 vytvořeného BIM modelu. Model má přesné rozměry, plochy i objemy, je zde uveden přesný počet všech prvků, avšak stále nejsou v modelu uvedeny veškeré detailní informace o materiálech a prvcích a v malé míře je model generalizován.

3D modelování Liblínského mostu bylo provedeno v místní souřadnicové soustavě. Samotná tvorba mostu byla provedena především za využití funkce „stěna“. Zde bylo v průběhu modelování vytvořeno několik desítek typů stěn. Rozdíl mezi těmito stěnami byl především v jejich tloušťce, skladbě nebo dodatečných informací. U drtivé většiny prvků byla složena skladba stěn z nátěru (1 mm), omítky (5 mm) a nosného prvku – betonu. Poloha takto předdefinované stěny o zadané tloušťce byla kreslena v půdorysném zobrazení a v zobrazení řezů nebo pohledů byla upravena výška stěny. V pohledových rozhraních bylo nutné vytvořit půdorysné roviny, do kterých byly kresleny jednotlivé, výškově odsazené, stěny. Tímto způsobem byly vytvořeny pravoúhlé bloky, které tvoří pilíře mostu a nosnou část mostovky. V případě založení pilířů a dvou nosných oblouků byly vytvořeny také typy stěn doplněné o příčné údaje. Tvar těchto stěn byl však v rozhraní řezu upraven na požadovaný tvar. Dále pak nenosná část mostovky (chodník, asfalt) byla vytvořena s využitím funkce „podlaha“, kde stejným způsobem jako u stěny byla nadefinována její skladba.

Pro definování skladby jednotlivých prvků existují knihovny, ve kterých jsou k nalezení typy betonů, omítek, nátěrů a dalších materiálů, včetně jejich vlastností a dalších informací. Protože ale o typech použitých materiálů nejsou dochovány podrobné informace,

byly tyto materiály nahrazeny obecnými materiály, ve kterých jsou uvedeny jen nejzákladnější informace. Dále při nastavování parametrů jednotlivých materiálů bylo možné volit výslednou texturu vyobrazenou ve vizualizacích. Tyto textury bylo možné do programu nahrát i vlastní. 3D model vyhotovený v programu Revit 2018 se nachází v příloze číslo 14.1 a model terénu v příloze č. 14.2.

V poslední fázi modelování byl vytvořen model terénu nad daty DMR 5G a do tohoto modelu byl most umístěn. Dále byl terén jednoduše otexturován pro lepší výsledky vizualizací. Na závěr byly vyexportovány databáze související s modelem do tabulek a bylo provedeno renderování obrázků (vizualizací). Vizualizace se nacházejí v příloze číslo 15 a v příloze číslo 16 jsou uvedeny tabulky výkazu materiálů.

V rámci modelování mostu bylo naráženo na mnoho problémů. Tyto problémy vznikaly především z důvodu určité nezkušenosti v oblasti BIM modelování, ale především díky nezkušenosti modelování v programu Revit. Tento program, ačkoliv pracuje s 3D modelem, nefunguje stejně a ani podobně jako jiné 3D programy. Je zde velice obtížné modelovat přímo ve 3D. Program je primárně stavěn na modelování nejprve v půdorysné rovině s následným vytažením do 3D. Tento fakt by nebyl zas takovou překážkou při modelování jednoduchých objektů. V případě tohoto mostu to ovšem způsobovalo značné problémy. Dalším problémem bylo automatické propojování prvků, které někdy fungovalo a někdy ne. V případě propojení a následné snaze o změnu polohy nebo rozměru prvku docházelo ke změnám jiných prvků, které měly zůstat zachovány. Obecně dle mého názoru bylo modelování poněkud těžkopádné a v určitých případech zdlouhavé oproti jiným 3D programům. Díky těmto problémům pak vznikaly v modelu topologické nečistoty v podobě kolizí stěn nebo naopak jejich neprovázání, v některých případech muselo dojít k určitým kompromisům mezi vyobrazením reality a zachováním parametrů prvku. Jak již bylo řečeno, všechny tyto problémy jsou kombinací nezkušenosti v dané problematice, zacílením programu především na projekční sféru a složitostí samotné problematiky BIM. V každém případě asi není zcela možné vytvořit stoprocentně věrný model BIM takto složitěho objektu, vždy bude muset být volen kompromis mezi geometrickou správností nebo informační úplností.



Obr. 10.5 Vizualizace mostu



Obr. 10.6 Vizualizace mostu - detail



Obr. 10.7 Vizualizace mostu – pohled na založení mostu

11. ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit 3D model Liblínského silničního mostu a navazující geodetickou dokumentaci v souladu s normou pro Výkresy pozemních staveb. Pro měření byla zvolena metoda laserového skenování jako hlavní a metoda prostorové polární metody jako srovnávací. Pro možnost vzájemného porovnání dvou modelů z obou metod byla vytvořena vztažná síť bodů, která byla připojena do S-JTSK a Bpv. Přesnost vztažné sítě je charakterizována polohovými směrodatnými odchylkami menšími než 3 mm. Navazující metody měření a jejich výsledky jsou pak charakterizovány směrodatnými odchylkami menšími než 10 mm. Z metody laserového skenování byl vytvořen detailní 3D model a z prostorové polární metody byl vytvořen 3D model s hlavními prvky konstrukce. Oba modely byly vzájemně porovnány pomocí 100 přímo měřených bodů a 100 dokonstruovaných bodů. Z výsledků porovnání vyplývá, že výběrová směrodatná odchylka reprezentující ztotožnění je menší než 3 mm, samotné rozdíly mezi porovnávanými body na modelech jsou menší než 85 mm a dosahují průměrně 20 mm pro přímo měřené body a 30 mm pro dokonstruované body. Z těchto výsledků vyplývá, že jak laserové skenování, tak prostorová polární metoda, dávají srovnatelné výsledky, ale polární metoda má více limitů oproti skenování.

Z porovnání detailnosti výstupů, časové náročnosti, pracnosti a ekonomického hlediska při porovnání metody laserového skenování a polární metody vyplývá, že při použití metody laserového skenování jsme schopni za kratší čas získat komplexnější a detailnější data než z metody polární. Detailnost samotných výstupů se pak odvíjí od požadavků na výsledné produkty, avšak vyhodnocení dat z laserového skenování je časově náročnější než z dat polární metody. Z ekonomického hlediska, pomineme-li pořizovací náklady, které jsou většinou u laserového skenování násobně vyšší než u polární metody, je výhodnější použít metodu laserového skenování, a to především u složitých objektů.

Jako další výstup této práce byl vytvořen BIM model mostu na podkladech laserového skenování. Tato technologie zpracování dat byla zvolena jako další alternativa k drátěným modelům a 2D dokumentaci. BIM modelování skutečného stavu na podkladech laserového skenování má jisté výhody a perspektivu k dalšímu zpracování, avšak z hlediska náročnosti zpracování je tato metoda diametrálně náročnější, a to jak časově, tak s ohledem na znalosti pracovníka, který model vytváří. Dalším úskalím je řešení problémů v rámci členitosti a zakřivenosti materiálů a konstrukcí na sledovaném objektu. V BIM v podstatě nelze vytvořit

3D model, který by reprezentoval realitu včetně jejích nedokonalostí a zakřivení. Z tohoto důvodu zde dochází do značné míry ke generalizaci.

Výsledným produktem této práce je tedy 2D dokumentace, situace, 3D drátěné modely, 3D BIM model, vizualizace a databáze výkazu materiálů a typů konstrukcí na Liblínském mostě.

Závěrem lze říci, že pro takto složitý a rozsáhlý objekt je nejvhodnější využití metody laserového skenování. V případě dodržení všech zásad laserového skenování je možné dosáhnout vysokých přesností a velké míry detailu. V rámci zpracování však většinou záleží na požadavcích objednatele či investora, jaké typy výstupů bude vyžadovat a k čemu takto zpracovaná dokumentace bude sloužit. Pokud ale porovnáme veškeré výstupy, které jsou z této práce k dispozici, tak 2D dokumentace je určitě kvalitní a využitelná v širokém spektru navazujících prací. 2D dokumentace má ještě další přidanou hodnotu, že její zpracování je méně náročné, a tedy i levnější. 3D drátěný model dokáže ze všech výstupů nejlépe vystihnout prostorové rozvržení mostu a je potřeba zakreslit zde veškeré prvky objektu, přičemž ve 2D dokumentaci není ani zdaleka obsaženo vše, spousta důležitých prvků a konstrukcí zůstane skrytá a nezakreslená. BIM model je určitou alternativou pro drátěný model, ale zde je důležité vědět, k čemu výsledný model má sloužit. V případě BIM modelu je značně generalizována nedokonalost konstrukcí a materiálů, ale na druhou stranu si tento model s sebou nese velké množství informací, které v drátěném modelu chybí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] Publikace dat ISKN. Online dostupné z <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarExtent=-990320.44597457629%20-1239836%20-346646.55402542371%20-923033&MarWindowName=nahlizenidokn>
- [2] Historie – Oficiální stránky městyse Liblín. Online dostupné z <https://www.liblin.cz/informace-o-mestysi/historie/>
- [3] Poin of beginning: Sokkia Introduced The Series 030R Reflectorless Total Station Models. Online dostupné z <https://www.pobonline.com/articles/88715-sokkia-introduced-the-series-030r-reflectorless-total-station-models>
- [4] Leica Nova MS60 1“ Multistation. Online dostupné z <https://echosurveying.com/robotic-total-station/leica-nova-ms60-1-multistation>
- [5] ZF-Lasers Z+F IMAGER 5016 3D Laserscanner. Online dostupné z <https://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5016.184.0.html?&L=1>
- [6] BIM příručka 2013 by Czech BIM. Online dostupné z <https://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1>
- [7] BIMfo – BIM – informační model budov. Online dostupné z <https://www.bimfo.cz/Home.aspx>
- [8] Informační model budov – Wikipedie. Online dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Informa%C4%8Dn%C3%AD_model_budovy
- [9] Zoller + Frohlich GmbH: Reaching new levels, Z+F IMAGER 5016 User manual
- [10] Libštejn (hrad) – Wikipedie. Dostupné online z [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lib%C5%A1tejtn_\(hrad\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lib%C5%A1tejtn_(hrad))
- [11] ČSN 01 3420 (013420), Výkresy pozemních staveb - Kreslení výkresů stavební části
- [12] Projektová dokumentace – Most Liblín, 1927, Stavební úřad – odbor dopravy Rokycany
- [13] Úřad pro civilní letectví, Ministerstvo dopravy České Republiky: Letecký předpis pravidla létání L 2, doplněk X.
- [14] Kovář, P. : Družicová navigace – od teorie k aplikacím v softwarovém přijímači. České vysoké učení technické v Praze, 1.vyd, Praha, 2016. ISBN 978-80-01-05989-0
- [15] Ratiborský, J. : Geodézie 10. České vysoké učení technické v Praze, 2.vyd, 2005, ISBN 978-80-01-03332-6.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 2.1 Poloha Městysse Liblín a mostu přes řeku Berounku.....str. 10
- Obr. 2.2 Zřícenina hradu Libštejn.....str. 11
- Obr. 2.3 Zámek Liblín.....str. 11
- Obr. 2.4 Liblínský most – pohled západní.....str. 12
- Obr. 2.5 Liblínský most – pohled východní.....str. 12
- Obr. 2.6 Liblínský most – pohled na mostovku.....str. 12
- Obr. 6.1 SOKKIA SET 2030R3.....str. 25
- Obr. 6.2 LEICA MS60.....str. 25
- Obr. 6.3 Z+F 5016 IMAGER.....str. 26
- Obr. 7.1 Z+F 5016 IMAGER a referenční koule při skenování z druhé pozice...str. 32
- Obr. 7.2 Z+F 5016 IMAGER při skenování z pozice č. 16.....str. 32
- Obr. 7.3 Referenční terč t4010.....str. 32
- Obr. 7.4 Referenční sféra sf4005.....str. 32
- Obr. 8.1 Schéma skenovacích pozic a cílů.....str. 41
- Obr. 9.1 Schematické znázornění porovnávaných bodů.....str. 51
- Obr. 9.2 Schematické znázornění porovnávaných bodů.....str. 51
- Obr. 9.3 Schematické znázornění porovnávaných bodů.....str. 51
- Obr. 10.1 Mračno bodů.....str. 52
- Obr. 10.2 Pohled na drátěný model mostu a údolí řeky Berounky.....str. 56
- Obr. 10.3 Pohled na drátěný model mostu.....str. 57
- Obr. 10.4 Pohled na prostřední pilíř mostu drátěného modelu.....str. 57
- Obr. 10.5 Vizualizace mostu.....str. 60
- Obr. 10.6 Vizualizace mostu – detail.....str. 60
- Obr. 10.7 Vizualizace mostu – pohled na založení mostu.....str. 60

SEZNAM TABULEK

Tab 6.1	Technické parametry udávány výrobcem.....	str. 26
Tab 7.1	Rozlišení skenování.....	str. 30
Tab 7.1	Tabulka doby trvání skenování v závislosti na zvolených parametrech...	str. 31
Tab 8.1	Tabulka prvního a druhého měření GNSS-RTK.....	str. 34
Tab 8.2	Tabulka průměrných souřadnic GNSS-RTK.....	str. 34
Tab 8.3	Rozdíly souřadnic.....	str. 35
Tab.9.1	Tabulka orientací volných stanovisek a dosažených přesností.....	str. 43
Tab.9.2	Tabulka dosažených přesností registrace mračen bodů.....	str. 45
Tab.9.3	Tabulka dosažených přesností z porovnání drátěných modelů mostu....	str. 49

SEZNAM PŘÍLOH

1. Protokol - GNSS (pouze v elektronické podobě)
2. Protokol - vyrovnání sítě (pouze v elektronické podobě)
3. Protokol - polární metoda (pouze v elektronické podobě)
4. Protokol - registrace mračen bodů (pouze v elektronické podobě)
5. Seznam souřadnic (pouze v elektronické podobě)
6. Mračno bodů (pouze v elektronické podobě)
7. Situace 1 : 200
8. Přehledné náčrty bodů sítě a směrů měření
 - 8.1.1. Přehledný náčrt bodů sítě - měření pro vyrovnání sítě
 - 8.1.2. Přehledný náčrt bodů sítě - měření polární metody
 - 8.1.3. Přehledný náčrt bodů sítě - registrace cloud to cloud
 - 8.1.4. Přehledný náčrt bodů sítě – směry na ref. terče
 - 8.1.5. Přehledný náčrt bodů sítě – směry na ref. sféry
9. 2D dokumentace
 - 9.1. Půdorys mostu
 - 9.2.1. Podélný řez A
 - 9.2.2. Příčný řez B ve staničení 0,0136 km
 - 9.2.3. Příčný řez C ve staničení 0,0406 km
 - 9.2.4. Příčný řez D ve staničení 0,0679 km
 - 9.2.5. Příčný řez E ve staničení 0,0952 km
 - 9.2.6. Příčný řez F ve staničení 0,1222 km
 - 9.3.1. Pohled východní
 - 9.3.2. Pohled západní
10. Tabulka porovnání souřadnic – přímo měřené body
11. Tabulka porovnání souřadnic – konstrukční body
12. 3D drátěný model mostu – 3D polární metoda měření (pouze v elektronické podobě)
13. 3D drátěný model mostu – Metoda laserového skenování (pouze v elektronické podobě)
14. BIM Model
 - 14.1. Model mostu BIM (pouze v elektronické podobě)
 - 14.2. Model terénu BIM (pouze v elektronické podobě)
15. Vizualizace mostu a jeho okolí
16. Výkaz materiálů (pouze v elektronické podobě)