

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra speciální geodézie



Dokumentace skutečného stavu
primárního ostění tunelu PAD4
trasy metra D

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: **Lucie Antošová**
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.**
Rok: **2023**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Antošová Jméno: Lucie Osobní číslo: 501758
Zadávající katedra: speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor/specializace: -

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dokumentace skutečného stavu primárního ostění tunelu PAD4 trasy metra D
Název bakalářské práce anglicky: As-Built Documentation of the Primary Lining of the PAD4 Tunnel of Metro Line D

Pokyny pro vypracování:

Zaměření vybraného tunelového úseku metodou laserového skenování.

Zpracování naměřených dat.

Vyhodnocení tvaru tunelového úseku a jeho porovnání s projektem.

Seznam doporučené literatury:

Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.

Vyhláška č. 435/1992 Sb. Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem ve znění vyhlášky Českého báňského úřadu č. 158/1997 Sb. "úplné komentované znění, 1997. Ostrava: Montanex. ISBN 80-85780-88-7.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 24. 2. 2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22. 5. 2023

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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.



Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací s výjimkou odborných konzultací s vedoucím bakalářské práce.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne:

.....

Lucie Antošová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomášovi Křemenovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, konzultace a výpomoc při samotném skenování. Dále bych ráda poděkovala firmě Metrostav a.s. za možnost využití podkladů k tomuto tématu a konkrétně kolegovi Tomášovi Kárníkovi za domluvení zprostředkování skenování patní štoly a odbornou konzultaci. Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za podporu nejen při psaní této práce, ale i po celou dobu studia.

.....

Lucie Antošová

Název práce: Dokumentace skutečného stavu primárního ostění tunelu PAD4 trasy metra D

Autor: Lucie Antošová

Obor: Geodézie a kartografie

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.
Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze

Konzultant: —

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá geodetickými pracemi při výstavbě tunelu a zpracováním dokumentace skutečného stavu primárního ostění pomocí statického skenování. Výstupem práce je rozvinutá plocha primárního ostění a jednotlivé profily s odchylkami od projektovaného profilu primárního ostění patní štol, která tvoří dno stanice Pankrác na nové lince metra D.

Klíčová slova: Tunel, ražba, Metro D, zaměření, vyhodnocení, dokumentace, NRTM

Title: As-Built Documentation of the Primary Lining of the PAD4 Tunnel of Metro Line D

Author: Lucie Antošová

Abstract: The Bachelor's thesis deals with surveying works during tunnel construction and processing of as-built documentation of the primary lining using static scanning. The output of the thesis is an unfolded surface of the primary lining and individual profiles with deviations from the designed profile of the primary lining of the foot tunnel, which forms the bottom of Pankrác Station on the new metro line D.

Key words: Tunnel, tunnelling, Metro D, surveying, evaluation, Documentation, NATM

Obsah

Obsah	6
Úvod.....	8
1 Popis stavby	9
1.1 Projekt linky metra D	9
1.2 Patní štola stanice Pankrác (PAD4).....	10
1.2.1 Popis profilu rámu a primárního ostění.....	12
2 Přístrojové a softwarové vybavení.....	13
2.1 Přístrojové vybavení.....	13
2.1.1 Skener Leica ScanStation P40	13
2.1.2 Leica TS 16	14
2.1.3 Skenovací černobílý terč	15
2.2 Softwarové vybavení.....	15
2.2.1 Cyclone	15
2.2.2 Atlas DMT	16
2.2.3 Amberg Tunnel 2.0	16
2.2.4 CloudCompare v2.12.2	16
3 Ražba tunelu.....	17
3.1 Postup ražby	18
3.2 Geodetické práce při ražbě tunelu	19
3.2.1 Zaměření a zpracování výrubu a nadvýrubu.....	19
3.2.2 Vytyčení a zaměření rámu	19
3.2.3 Zaměření a zpracování primárního ostění.....	20
3.2.4 Vytyčení lutny a médií.....	20
3.2.5 Vytyčení injektážních vrtů	21
4 Laserové skenování.....	22
4.1 Dělení.....	22
4.1.1 Stanovisko.....	22
4.1.2 Zorné pole	22

4.1.3	Způsob měření bodů.....	22
4.1.4	Měření vzdálenosti.....	23
4.2	Přesnost skenování.....	23
5	Kontrolní zaměření primárního ostění.....	24
5.1	Sběr dat.....	24
5.2	Zpracování mračna bodů.....	24
5.2.1	Zpracování v sw. Leica Cyclone.....	24
5.2.2	Zpracování v sw. CloudCompare.....	27
5.2.3	Zpracování v sw. Atlas.....	28
5.2.4	Porovnání výsledků skenování s výsledky ze zaměření profilů totální stanicí.....	31
5.3	Vyhodnocení a porovnání s projektem.....	35
	Závěr.....	37
	Citovaná literatura.....	38
	Seznam obrázků.....	40
	Seznam tabulek.....	41
	Seznam příloh.....	42
	Seznam elektronických příloh.....	43

Úvod

Metro je významná pražská dopravní stavba, která slouží pro hromadnou dopravu cestujících. V současné době se skládá ze 3 provozovaných linek a jedné linky ve výstavbě. Nově budovaná linka trasy D povede z Náměstí Míru do Písnice a kříží linku trasy C ve stanici Pankrác. Linka je plánována jako plně automatická bez strojvedoucích. Výstavba této linky je rozdělena do několika etap. První etapa se skládá ze dvou stanic Pankrác – Olbrachtova. Úsek je ražen Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM).

Během samotné ražby a výstavby trasy je potřeba celé řady geodetických prací. Mimo jiné se v průběhu ražby a výstavby primárního ostění geodet podílí na vytyčení směru ražby, měření podvýrubů a nadvýrubů, stavbě rámu, vytyčování injektážních vrtů a měření skutečného provedení primárního ostění. Na všech těchto výše uvedených činnostech se autorka práce aktivně podílela jako geodetka stavby.

Cílem bakalářské práce je zaměření a vyhodnocení skutečného provedení primárního ostění patní štoly PAD4, která tvoří dno stanice Pankrác.

V prvních kapitolách je popsána linka trasy metra D, stanice Pankrác a patní štola. Dále je popsán profil rámu a primárního ostění na patní štole. Následuje metoda a postup ražby tunelu, ke kterým patří zmiňované geodetické práce. V této bakalářské práci je popsán zisk dat, zpracování a vyhodnocení dat pro kontrolní zaměření profilu primárního ostění. Výstupem této práce bude profil rozložený do roviny a jednotlivé profily tunelu s odchylkami od projektu.

1 Popis stavby

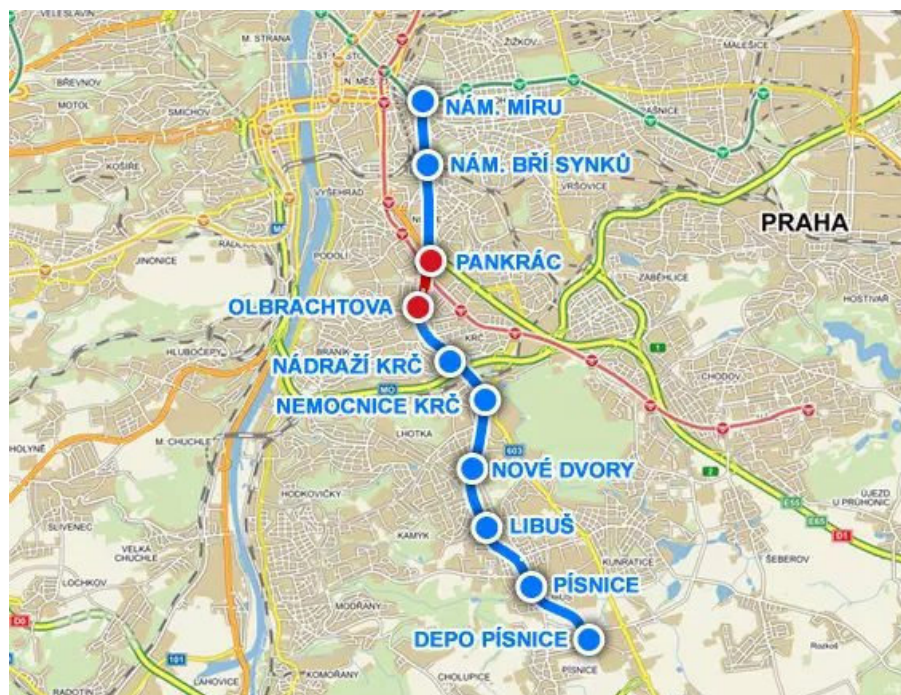
1.1 Projekt linky metra D

Trasa metra D se plánovala již od 60. let minulého století, kdy průběžně procházela plánováním trasy. Původně měla linka metra D vést podél pravého břehu Vltavy k Palackého náměstí.

Zahájení prací na nové lince metra začalo geologickým průzkumem v roce 2019 a oficiální stavba začala 21. 4. 2022. Celková délka linky D bude 10,6 km a bude zahrnovat 10 stanic. Metro na této lince by mělo být již plně automatizované. Linka bude navazovat na stávající linku A ze stanice Náměstí Míru a na linku C ve stanici Pankrác. Linka bude vést do Písnice (obr. 1).

Celá linka je rozplánována do 4 etap. První úsek bude vést ze stanice Pankrác do stanice Olbrachtova. Druhý úsek povede ze stanice Olbrachtova do stanice Nové Dvory. Třetí úsek je plánován ze stanice Pankrác do stanice Náměstí míru a poslední úsek má vést ze stanice Nové Dvory do stanice Depo Písnice. Uvedení do provozu je plánováno na rok 2029.

Na výstavbě se podílí pět společností: Subterra, Hochtief CZ, Hochtief Infrastructure, Strabag a Ed. Züblin [1], [2], [3].

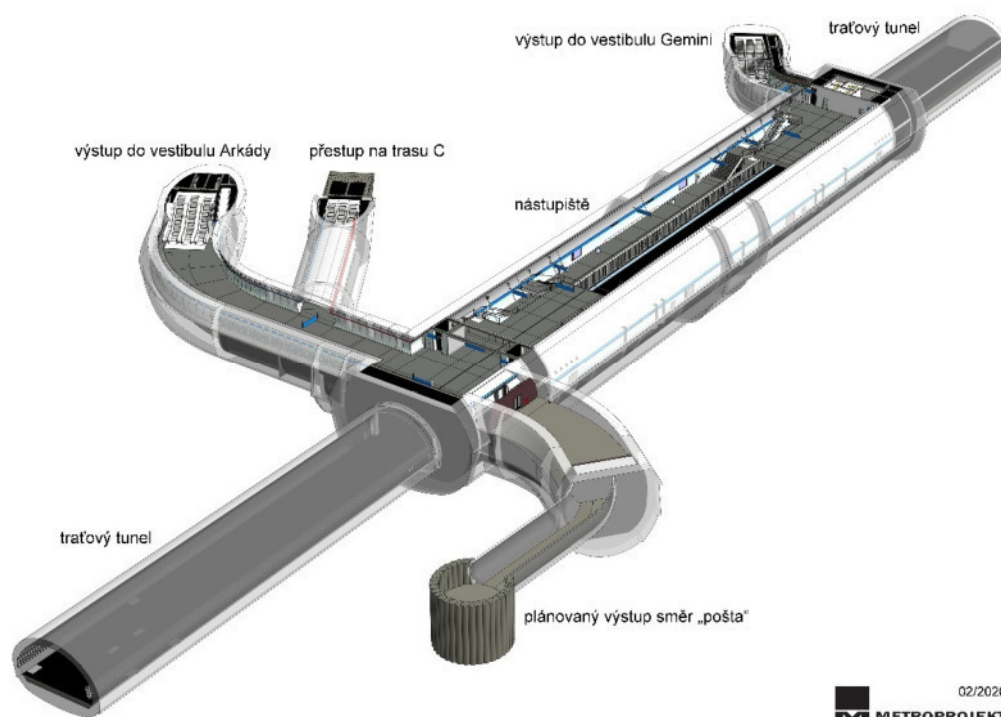


Obrázek 1: Trasa linky metra D [2]

1.2 Patní štola stanice Pankrác (PAD4)

Stanice Pankrác na nové lince metra D je navržena jako jednodlní stanice s bočními nástupišti.

Celá stanice bude mít 21 m na výšku a 22 m na šířku. Stanice se nachází v hloubce cca 33 m pod úrovní terénu a je níže než stanice Pankrác na stávající lince C, která je 14 m pod úrovní terénu. Z nové stanice budou 3 výstupy. Jeden z výstupů ústí do vestibulu Arkády a součástí tohoto výstupu je přestup na linku C. Druhý výstup je směr „pošta“ a poslední výstup vede do vestibulu Gemini. (obr. 2)



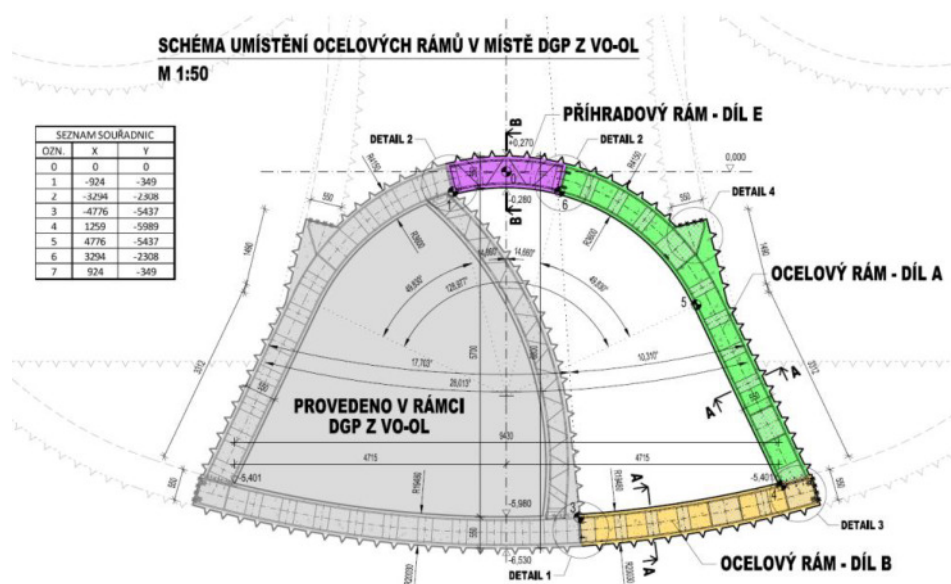
Obrázek 2: 3D model stanice Pankrác na lince D [4]

Nová stanice Pankrác na lince metra D bude ražena v profilu rozčleněném na 7 částí. První raženou částí je patní štola (PAD4) (obr. 3), která tvoří dno nové stanice. Vstup k patní štole je zajištěn pomocí stavební jámy, která se nachází na Praze 4 – Pankrác mezi ulicemi Jankovcová a Na Strži. Tato jáma byla vyhloubena při geologickém průzkumu, během kterého byla vyražena levá část patní štoly o délce 43.7 m. Ražba pro geologický průzkum byla provedena firmou Hochtief CZ a.s., pro kterou zaměřovala geodetická firma Angermeier Engineers, s.r.o. [4].



Obrázek 3: Patní štola (PAD4)

Patní štola je dlouhá 130.610 m a stoupá se sklonem ve směru ražby 0.3 %. Při ražbě firmou Subterra a.s. byla nejdříve rozšířena štola z geologického průzkumu na celý profil, až poté se začaly stavět celé rámy (obr. 4) [5].



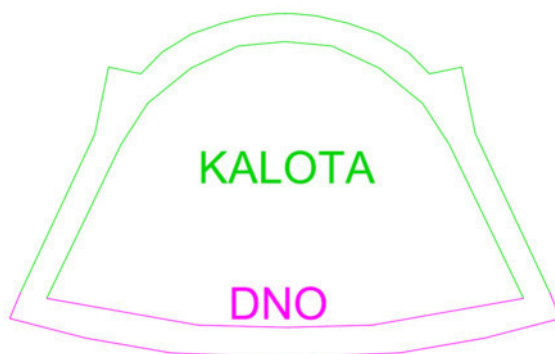
Obrázek 4: Schéma rámců [5]

Na obr. 4 je zobrazen rám, kde šedá část zobrazuje profil, který se stavěl během geologického průzkumu v délce 43.7 m, pak se rám rozšířil na celý profil. (elektronická příloha č. 12) [5].

1.2.1 Popis profilu rámu a primárního ostění

Primární ostění patní štoly je tvořeno tuhými ocelovými rámy nebo pomocnými příhradovými rámy z betonářské výztuže, výstužnými sítěmi (kari sítěmi) a svorníky [5].

Rámy jsou rozděleny na dno a kalotu (obr. 5). Ocelová výztuž je přestříkána betonem.



Obrázek 5: Rozdělení rámu

Profil se skládá z 5 částí, které byly postupně smontovány. Dno se skládá ze 2 částí a kalota ze 3. Osa tunelu se nachází 22 cm nad profilem rámu a rozděluje rám svislou osou na 2 totožné poloviny. Proto budu dále popisovat pouze jednu polovinu rámu. Noha rámu je tvořena přímkou, na kterou navazuje oblouk s poloměrem 3.660 m. Dno je tvořeno dvěma obloukovými částmi o stejném poloměru 19.530 m (obr. 4).

Rám má hloubku 45 cm. Celková výška rámu je 6.8 m. Výška profilu rámu je 5.7 m. Šířka rámu je v kalotě 35 cm a ve dně 55 cm. Rám má v kalotě 2 rohové výstupky, které budou sloužit při další ražbě nové stanice Pankrác pro namontování rámu, ze kterých se bude stanice skládat.

Profil primárního ostění je o 5 cm menší než profil rámu a od osy tunelu se nachází o 27 cm níže. Všechny poloměry oblouků jsou oproti rámu o 5 cm menší.

2 Přístrojové a softwarové vybavení

2.1 Přístrojové vybavení

2.1.1 Skener Leica ScanStation P40

Ke sběru dat během skenování pro dokumentaci skutečného stavu primárního ostění patní štoly byl použit skener Leica ScanStation P40 (obr. 6). Tento skener patří do skupiny statických pozemních skenerů a pracuje na principu prostorové polární metody.

Jedná se o skener velikosti 238x358x395 mm s váhou 12.25 kg.

K měření vzdálenosti skener využívá pulsní dálkoměr s dosahem až 270 m. Nejmenší měřitelná vzdálenost je 0.6 m. Délková přesnost tohoto dálkoměru je $1.2 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \cdot d$. Úhlová přesnost je $8''$ (0.0025 gon). Skener má horizontální zorné pole 360° a vertikální zorné pole 270° . Rychlost skenování je až 1 mil. bodů za sekundu.

Dále je přístroj vybaven geodetickým dvouosým kompenzátorem, který má rozlišení $1''$ s přesností $1.5''$.

Ovládání přístroje je zajištěno pomocí dotykové obrazovky, pro lepší ovládání je přiložen stylus. Přístroj lze ovládat také na dálku přes kontroler nebo tablet pomocí integrované WLAN sítě.

Softwarové prostředí je typické pro přístroje značky Leica. Před začátkem skenování je nutné založení zakázky, do které se naskenovaná data budou ukládat. Dále se nastavují parametry skenování jako např. rozlišení skenu, oblast skenování atd. Pro nastavené parametry přístroj vypočte dobu skenování. Po dokončení skenování na jednotlivých stanoviscích lze najít, označit a očíslovat ve skenu identické body, které jsou signalizovány černobílými terči [6], [7].



Obrázek 6: Leica ScanStation P40 [6]

2.1.2 Leica TS 16

Totální stanice Leica TS16 (obr. 7) byla využívána během většiny geodetických činností při stavbě patní štoly.

Jedná se o robotickou totální stanici s úhlovou přesností 5" (1.5 mgon). Přesnost měření vzdálenosti záleží na typu cíle. Měřit na odrazný hranol lze s přesností 1 mm + 1.5 ppm při standartním měření délek a 2 mm + 1,5 ppm při rychlém měření.

Rozměry TS jsou 226 mm x 223 mm x 336 mm + 5.1 kg.

Velikost laserové stopy záleží na vzdálenosti, kdy při délce záměry 30 m je laserová stopa velká 7x10 mm, při vzdálenosti 50 m je 8x20 mm a na vzdálenost 100 m je stopa velká 16x25 mm.

Totální stanice má kompenzátor s přesností 1" a rozsahem 4' (0,07 mgon). Citlivost krabicové libely je 6' / 2mm a elektronické libely 2".

Dále je totální stanice vybavena ATRplus neboli automatickým docilováním na hranol. Při měření na odrazný štítek (60 mm x 60 mm) je dosah 55 m při využití ATRplus. Úhlová přesnost při ATRplus je 1" (0.3 mgon).

Maximální rychlost automatické rotace je 50 gon/s. Pracovní teplota pro TS je -20 až +50 °C.

Přístroj umí počítat s automatickými korekcemi osových chyb totální stanice jako jsou: kolimační chyba, chyba točné osy dalekohledu a indexová chyba nebo opravu ze zakřivení Země.

Totální stanice, která byly využívána během ražby tunelu, má rozšířený software Leica Captive o Amberg Tunnel 2.0 [8], [9].



Obrázek 7: Leica TS16

2.1.3 Skenovací černobílý terč

Jedná se o terč (obr. 8) s průměrem 4.5 palce a slouží pro signalizaci bodů na kratší vzdálenosti od skeneru [10].



Obrázek 8: Černobílý skenovací terč [10]

2.2 Softwarové vybavení

Níže popsané softwary byly využity při sběru a zpracování dat.

2.2.1 Cyclone

Jedná se o software od výrobce Leica, který se používá ke zpracování a vyhodnocení výsledků z 3D skenování.

V tomto softwaru lze spojovat mračna bodů, vložit mračna bodů do souřadnicového systému pomocí identických bodů, které se označily během skenování. Dále je možné jednotlivá mračna bodů čistit, odstraňovat šum a modelovat geometrické objekty.

Leica Cyclone má na výběr různé moduly. Nejzákladnějším modulem je Leica Cyclone BASIC, který slouží pro efektivní správu skenovacích projektů. Obsahuje základní nástroje, které jsou i v ostatních modulech např. prohlížení mračen, měření mezi body a povrchy, zpracování dat ze skenování apod.

Dalším modulem tohoto softwaru je modul REGISTER., který je primárně využíván k georeferencování dat z laserového skenování do jednotného souřadnicového systému. Pro georeferencování se využívá buď identických bodů, které jsou označeny černobílými terči, překryty jednotlivých mračen nebo pomocí geodetických metod.

Modul MODEL slouží ke zpracování mračen bodů a tvorbě 3D modelů [11].

2.2.2 Atlas DMT

Jedná se o grafický software, který vznikl v České republice. Využívá se k modelování a zobrazování prostorových dat, kdy umožňuje řešit například vizualizaci terénu pomocí vrstevnic, řezů nebo profilů, dále umožňuje výpočty kubatur a profilů, projektování a speciální analýzy ploch. Obsahuje polohopisnou a výškovou část. Modely terénu lze v tomto softwaru vytvořit pomocí trojúhelníkového modelu terénu (TIN) nebo pomocí bodového modelu terénu. Základ pro jednotlivé modely terénů tvoří nepravidelná trojúhelníková síť. Atlas obsahuje různé analýzy a výpočty. Software má různé nadstavby, mezi které patří například Řezy, Objem, Laser scanning, Těžba, Odstřel nebo Tunely.

Nadstavba Tunel se využívá k vyhodnocení měření a ražbě tunelů. Kde se při vyhodnocení počítají odchylky od projektu a vyhodnocují se jednotlivé řezy [12].

2.2.3 Amberg Tunnel 2.0

Jedná se o software, ve kterém jsou vedeny veškeré geodetické práce při ražbě patní štoly.

Amberg Tunnel je software, který se využívá při výstavbě tunelů a podzemních staveb. Dále se tento software dá využít při výstavbě a sledování budov, či silnic. Jedná se o kancelářský software a terénní software Amberg Navigator a Amberg Applications.

Amberg Applications je aplikace pro totální stanice Leica Viva a Captivate. Kdy může být v totální stanici nahrán celý projekt daného tunelu s jednotlivými profily například pro rám, výrub a profil primárního ostění. Po připojení totální stanice pomocí volného stanoviska ukazuje totální stanice po zaměření jakéhokoliv bodu v tunelu aktuální staničení a hodnotu vůči vybranému profilu.

Amberg Profile je software, který se využívá v kanceláři při zpracování měření z tunelu. Kdy se při nahrání naměřených profilů vypočítávají hodnoty vůči daným profilům a u výrubů a nadvýrubů vypočítává obsah nad profilem [13].

2.2.4 CloudCompare v2.12.2

Jedná se o free software, který se využívá na práci s bodovými mračky. Slouží pro úpravu, porovnání a redukci bodových mraček, pro analýzu a statistické výpočty [14].

3 Ražba tunelu

Patní štola byla ražena pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM), která se v České republice používá od 90. let minulého století. Touto metodou se v České republice poprvé razily silniční tunely Hřebeč a Pisárecký, které byly uvedeny do provozu v roce 1997. Úplně poprvé byla tato metoda použita při výstavbě silničního tunelu Massenberga, který se nachází v jihovýchodním Rakousku ve městě Štýrsko a byl dokončen v roce 1963.

V současné době je NRTM nejrozšířenější tunelovací metoda, která se používá v Evropě. Pomocí této metody byla ražena většina tunelů v České republice, které byly stavěny po roce 1990. Jedná se o silniční, železniční a dálniční tunely. Dále touto metodou byly raženy traťové tunely metra.

Jedna z velkých výhod této metody je, že se dá upravovat návrh konstrukce dle aktuálních vybraných veličin. Tudiž se jedná o observační metodu, kde se sleduje aktuální chování horniny. Prvotně se určí základní návrh konstrukce, u které se určí její pravděpodobné chování. Pokud hodnoty překročí stanovené meze, návrh se upraví.

NRTM splňuje evropské normy ČSN EN 1997-1:2004, které se nazývají EUROKÓD 7 a báňské předpisy [15].

Další výhodou této metody je, že se dá během ražby upravovat průběh ražby a vyztužování výrubu. Během ražby probíhá průběžný monitoring deformací primárního ostění pomocí měření konvergencí, kdy jsou v pravidelném staničení umístěny před zastríkááním betonem konvergenční zrcátka, která jsou na patní štole umístěna po 10 m. Na jednom profilu je umístěno 5 zrcátek. Konvergence se měří v pravidelných časových intervalech. Pokud dojde k nepříznivému průběhu deformací primárního ostění, je více možností, jak deformace vrátit do daných mezí. Mezi tyto možnosti patří: zkrácení délky záběru nebo např. zesílení vrstvy primárního ostění.

Výztuž primárního ostění patní štoly se skládá z jednotlivých ocelových rámu a stříkaného betonu. Může být doplněna pomocnými příhradovými rámy z betonářské výztuže, vyztuženými sítěmi a svorníky. Pokud bylo potřeba, byly použity chemické tlakové injektáže nebo jehlování. [5] Je několik druhů injektáží krom chemických jako např. nízkotlaké (výplňové), vysokotlaké nebo jílocementové. K jehlování se využívají ocelové jehly, které jsou aplikovány přes příhradové rámy do vrtů před čelbu. [15]

Délka staničení mezi jednotlivými rámy závisela na současných geotechnických podmínkách, které určují technologickou třídu výrubu. U patní štoly byla určena délka jednotlivých záběrů 1 m ve všech technologických třídách. Z výsledků geologického průzkumu byly určeny 3 technologické třídy výrubu 4, 5a a 5b1, které se liší v způsobu rozpojování hornin trhavinami i při mechanickém rozpojování a dále v počtu ukotvení postavených rámu [15], [16], [17], [18].

3.1 Postup ražby

Ražba nového záběru začíná navrtáním čelby, do které se vloží trhavina (obr. 9) a dojde k odstřelu. Hornina se odtěží. Geodet nebo mistr, který má k totální stanici připojený tablet, přes který totální stanici ovládá, zaměří vzniklý výrub. Během měření totální stanice ukazuje aktuální naměřené hodnoty výrubu vůči projektovanému výrubu. Podle nich geodet vyhodnotí, zda se do výrubu rám vejde či nikoliv. To prakticky znamená, že výrub musí být o 15 cm větší než daný profil výrubu. Tato hodnota se vždy liší podle typu rámu. Pokud se rám do výrubu nevejde, výrub se zvětší dle potřeby buď odstřelem nebo vyhrabáním. Postup stavění rámu záleží na jeho typu. Na patní štole se nejdříve vytyčilo a urovnalo dno rámu. Celé dno se zalilo betonem. Zaměřilo se primární ostění dna, protože zpětně zaměřit lze dno až po vyčištění celého tunelu. Dále se vytyčila a zaměřila kalota rámu. Pod rám a na rám byly přivázány kari sítě. Celý takto vystrojený profil kaloty se zastříkal betonem. Celý proces se opakuje opět od navrtání čelby.

Na PAD4 se v průměru postavil 1 rám za 24 hodin. Čas ražby závisel na ostatních podmínkách jako byla například pevnost horniny nebo funkčnost strojů potřebných pro ražbu.



Obrázek 9: PAD1 - Naládovaná čelba před odstřelem [autor: Jaroslav Vlasák]

3.2 Geodetické práce při ražbě tunelu

3.2.1 Zaměření a zpracování výrubu a nadvýrubu

Výrub vzniká po odstřelu nebo vyhrabání po novém záběru v hornině. Výrub má projektovanou velikost. Pokud je profil skutečného výrubu menší než projektovaný, jedná se o podvýrub a daný výrub se musí zvětšit. Velikost výrubu má toleranci 20 cm. Pokud tuto toleranci překročí a bude větší než projektovaný výrub + 20 cm, jedná se o nadvýrub.

Výrub se zaměřuje před každým stavěním rámu a podle výsledků geodet určí, zda se do výrubu vejde rám či ne. Profil výrubu je ražen o 50 cm větší oproti profilu rámu. Při kontrole realizace výrubu nesmí naměřený profil výrubu zasahovat do projektovaného profilu výrubu, který je zvětšený o 15 cm. V totální stanici je nahrán sw. Amberg Tunnel 2.0, který ukazuje aktuální staničení a hodnoty vůči danému profilu. Pokud vznikne nadvýrub je rozdělen na technologický nebo geologický.

Technologický nadvýrub

Technologický nadvýrub je profil výrubu, který je zvětšený. Profil nadvýrubu je profil výrubu + 200 mm.

Geologický nadvýrub

Geologický nadvýrub určuje geolog. Tento nadvýrub vznikl lokální změnou geologických podmínek, která byla neočekávaná. Geolog určí, zda se jedná o geologický nadvýrub či nikoliv. Pokud se o geologický nadvýrub jedná, tak geodet nahraje měření výrubu do profilu nadvýrubu a spočítá jeho objem [5], [18].

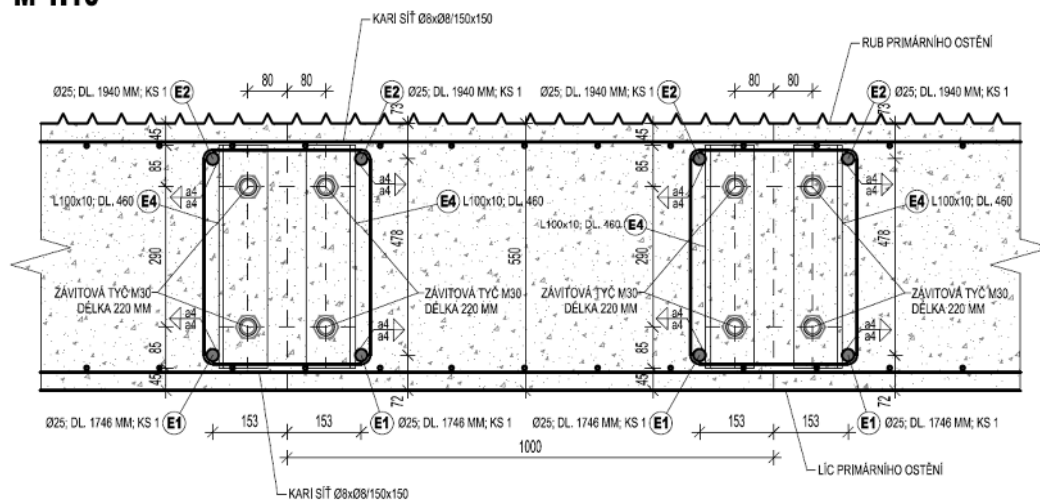
3.2.2 Vytyčení a zaměření rámu

Rám se vytyčuje přímo s jeho výstavbou. Dno bylo rovnáno pomocí krajní hrany rámu, která se rovnala ve staničení, ose X (kolmici) a ose Y (výšce) v lokální souřadnicové soustavě tunelového profilu. Staničení na rámech se při výstavbě měřilo na hraně rámu, která se nachází na menší hodnotě staničení. Hodnota staničení vycházela vždy na celý metr a 10 cm, kolmice se stavěla na hodnotu ± 5.287 m a výška -5.301 m. Hodnoty jsou počítány od osy tunelu, která se nachází 27 cm nad profilem rámu. Po usazení rámu dna, který byl usazován v rozsahu 0 až +2 cm v profilu rámu (viz. elektronická příloha č. 12), bylo dno zalito betonem. Poté se postavila celá kalota, která se postupně rovnala v profilu a ve staničení na stejné hodnoty jako dno rámu. Celý rám byl potom zaměřen na přibližně 26 bodů pro potřeby dokumentace. Počet a poloha zaměřených bodů se liší podle geodeta, který rám zaměřuje, protože nikde není dáno, kde se postavený rám musí přesně měřit. Po postavení rámu byl celý profil zastříkán betonem [5], [18].

3.2.3 Zaměření a zpracování primárního ostění

Primární ostění (primer) je tvořeno stříkaným betonem, první vrstvou sítí, příhradovými rámy, druhou vrstvou sítí a dostříkáním betonu do projektované tloušťky primárního ostění. Profil primeru je zmenšen o 4,5 cm oproti profilu rámu. Primer byl u dna profilu zaměřován během stavby kaloty, protože jinak by se k této části nedalo díky postupnému ražení vrátit. Kalota primeru je měřena až po finálním zastříkání, které probíhalo většinou 3 rámy zpětně. Jednotlivé profily primeru byly měřeny po 1 m přibližně ve středu rámu. Profil primeru je zvětšen o 20 cm oproti projektu [5], [18].

PŘÍČNÝ ŘEZ OSTĚNÍM - B-B M 1:10



Obrázek 10: Příčný řez ostěním [5]

Na obr. 10 je vidět příčný řez primárním ostěním, kde jsou 2 obdélníky znázorňující rámy, které jsou od sebe vzdálené 1 m. Horní část, znázorňuje výrub a spodní část obrázku představuje vnitřní stranu tunelu.

3.2.4 Vytyčení lutny a médií

Zajištění výměny vzduchu v tunelu je realizováno pomocí lutny, která slouží k nahánění vzduchu až k čelbě a tím dochází k výměně vzduchu v celém tunelu. Média jsou kovové háky, které podpírají kabely nebo hadice na vodu. Vytyčení lutny a médií se provádí pouze přibližně, aby byly v přibližné výšce a u lutny i v přibližné vzdálenosti od osy. Vytyčení médií a lutny bylo prováděno pomocí hodnot X a Y lokální souřadnicové soustavy profilu. Hodnoty X a Y byly naměřeny na přechodím uchycení lutny a médií a přeneseny dále do tunelu.

3.2.5 Vytyčení injektážních vrtů

Injektážní vrty (obr. 11) jsou vytyčovány, aby nezasahovaly do příhradových rámu, které jsou zastříkány a není poznat, kde se nachází. Injektážní vrty byly vytyčeny pomocí obloukové vzdálenosti od osy tunelu vždy po půl metru až do vzdálenosti ± 6 m od osy po povrchu profilu a pomocí staničení. Pro vytyčení těchto vrtů byl použit software TMS, který je nahaný v totální stanici. Byl použit jiný software než se využíval během celé ražby patní štol, protože sw. Amberg Tunnel neobsahuje funkci na měření obloukové vzdálenosti od osy tunelu. Vytyčování injektážních vrtů probíhalo pouze přibližně, protože nebyla potřeba vysoká přesnost. Důležité pouze bylo, aby jednotlivé vrty nezasáhly jednotlivé rámy [5].



Obrázek 11: Vytyčení injektážních vrtů

Na obr. 11 jsou vytyčené polohy vrtu označeny oranžovými kříži.

4 Laserové skenování

Laserové skenování se využívá ke sběru 3D dat různých objektů. Výsledkem skenování je mračno bodů, která lze dále zpracovávat do 2D nebo 3D výstupů jako jsou různé 3D modely objektů, modely terénů, půdorys budov apod. I samotné mračno může sloužit jako samostatný výstup. Mračno bodů je velký soubor naměřených bodů a každý z těchto bodů má své prostorové souřadnice. Velikost a hustota mračna záleží na velikosti skenovaného objektu a hustotě skenování. Laserové skenování se využívá od začátku 21. století.

Laserové skenování se dnes využívá v různých oblastech například během výstavby jako je porovnání skutečného stavu s projektem nebo třeba při předprojektové přípravě. Dále se využívá například v archeologii nebo v průmyslu.

Výhody skenování jsou vysoká rychlost a přesnost, kdy se může dle typu skeneru skenovat s rychlostí 10 000 až miliony bodů za sekundu. Nevýhoda skenování je vznik velkého množství dat, která jsou náročná na zpracování a specializovaný software [19].

4.1 Dělení

Skenery se dělí podle různých hledisek:

4.1.1 Stanovisko

Stanovisko při skenování může být buď statické, které se v geodézii používá častěji nebo kinetické, které se dále dělí na pozemní a letecké.

4.1.2 Zorné pole

Podle velikosti zorného pole se skenery rozlišují na panoramatické a kamerové. Panoramatické mají velké zorné pole a mohou naskenovat celé okolí skeneru kromě okruhu jeho stanoviska. Kamerové skenery mají omezené zorné pole podobně jako kamery nebo fotoaparáty.

4.1.3 Způsob měření bodů

Statické skenery měří body vždy v lokální souřadnicové soustavě, kdy je počátek soustavy ve středu skeneru. Do potřebné souřadnicové soustavy se mračno bodů transformuje při zpracování. Skenery mají dva způsoby měření: polární a triangulační. Při polárním měření se využívá prostorová polární metoda a měří se vodorovné a svislé úhly a délka průvodiče. Triangulační metody využívají prostorové protínání z délek, kdy je známá délka základy a podle typu skeneru jsou přilehlé úhly známy nebo se

počítají. Tato metoda se používá primárně na krátké vzdálenosti, kdy dosahují vysoké přesnosti.

4.1.4 Měření vzdálenosti

Vzdálenost skenery měří buď pomocí elektronických dálkoměrů nebo elektrooptických dálkoměrů.

Mezi elektronické dálkoměry patří impulsní a fázové dálkoměry. Oba způsoby využívají stejný princip. Vysílač vyšle elektromagnetický signál, který se odrazí od skenovaného povrchu a odražený paprsek se vrací do přijímače. Přijímač se nachází na počátku měřené vzdálenosti.

Impulsní dálkoměry fungují na principu tranzitního času neboli času, který se počítá od doby vyslání signálu do doby přijetí odraženého signálu. Tranzitní čas je tedy doba, za kterou paprsek urazí dvojnásobek měřené vzdálenosti.

Fázové dálkoměry fungují pomocí fázového doměrku neboli rozdílu fáze od vyslaného a přijatého signálu. Dálkoměr vyšle modulovaný paprsek, který se odrazí a při odrazu se změní fáze paprsku. Modulovaný paprsek musí být delší než měřená vzdálenost, protože dálkoměr neumí určit počet přijatých vln.

Elektrooptické dálkoměry využívají k měření vzdálenosti obecný trojúhelník, který má známou základnu.

4.2 Přesnost skenování

Statické pozemní skenery jsou při svém měření stejně jako totální stanice zatíženy chybami, které ovlivňují přesnost měření a vznikají při měření délek i směrů. Přesnost měření závisí na vnitřních a vnějších vlivech.

Vnitřní vlivy jsou náhodné a systematické chyby. Mezi systematické chyby patří osová chyby, které jsou stejné jako u totální stanice nebo třeba chyby z excentricity. Tyto chyby jdou eliminovat pouze pomocí kalibrace, protože měřit ve dvou polohách a ve více skupinách nelze.

Vnější vlivy jsou z okolního prostředí během měření. Protože se při pozemní statické metodě skenování skenuje primárně na krátké vzdálenosti, tak se může zanedbat chyba ze zakřivení Země. Na měření působí atmosférické podmínky, které také na krátkou vzdálenost lze zanedbat.

Mezi další vliv ovlivňující přesnost skenování patří barva, materiál a struktura skenovaného povrchu. Pokud je povrch tmavý, většina paprsku se neodrazí. Lépe se odráží signál od hrubého povrchu než od úplně hladkého. Tedy nejlepší povrch na skenování je difúzní povrch světlé barvy.

5 Kontrolní zaměření primárního ostění

Kontrola zaměření primárního ostění se provádí po ustálení přetváření stavby. Kontrolní zaměření tvaru primárního ostění je porovnáváno s projektovaným tvarem.

5.1 Sběr dat

Skenování probíhalo v patní štole dne 11. 3. 2023 během injektážních vrtů. V tuto dobu byla ražba patní štoly dokončena.

Skenování proběhlo pomocí pozemního skeneru Leica SkenStation P40 (v.č. 1851583), kde byly nastaveny tyto parametry skenování: hustota 6.3 mm/10 m a doba měření na jednotlivém stanovisku byla 1 min 49 s.

Celý tunel se skenoval ze 7 stanovisek. Stanoviska byla pokaždé na jiné straně tunelu ve směru kolmém na osu, aby skener zabíral většinu kaloty i za lutnou, která je po levé straně ve směru ražby. Během skenování v tunelu pracovali dělníci na injektážích, proto nebyla stanoviska přímo za sebou. Nejprve se skenovalo 1. – 4. stanovisko ve směru staničení od začátku tunelu. Poté se skenovalo od čelby proti směru staničení a nakonec se naskenovala část tunelu, kde se injektovalo.

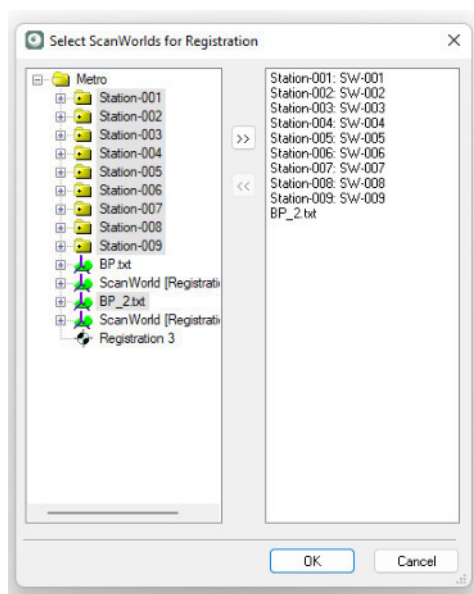
Protože stavba není dokončená, v tunelu byla spousta věcí např. lutna, média, kabely, stroje a věci nutné pro injektáže, které se nemohly odstranit kvůli probíhajícím pracím v tunelu. Dále byla dost často na dně voda, proto jsou ve skenu mezery.

Jako identické body byly použity konvergenční body, které byly zaměřeny a používány jako bodové pole pro ražbu patní štoly. Pro každé stanovisko byly určeny 3 až 4 identické body, které byly označeny černobílými skenovacími terči na otočné vidlici. Tyto body byly po dokončení skenování na jednotlivých stanoviscích ve skenu nalezeny, očíslovány a doskenovány.

5.2 Zpracování mračna bodů

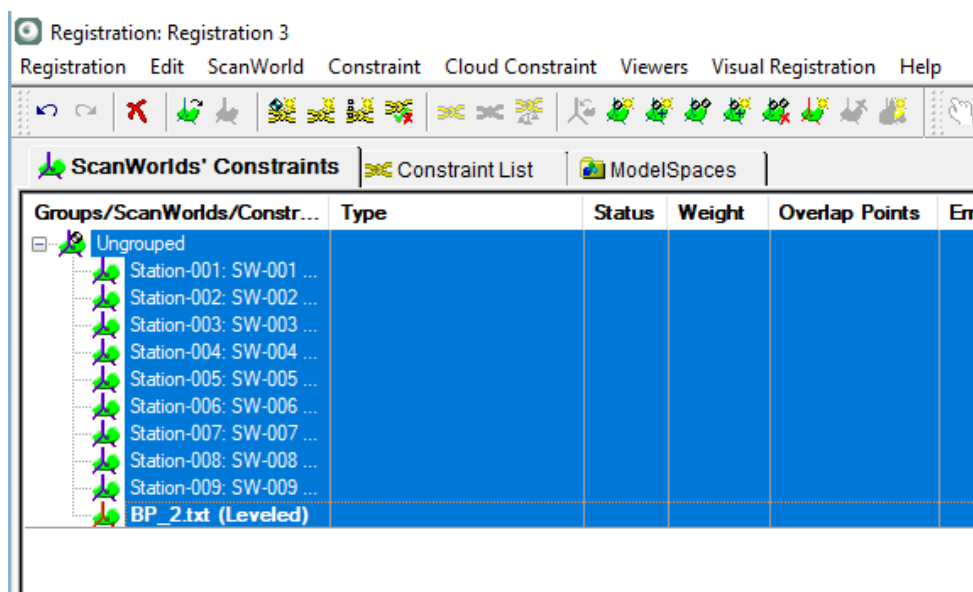
5.2.1 Zpracování v sw. Leica Cyclone

Mračno bylo nejdříve zpracováno v sw. Leica Cyclone. Do nově založené databáze byla nahrána naměřená data projektu. Poté se jednotlivá stanoviska registrovala. Do registrace vstupovala mračna bodů z jednotlivých stanovisek a soubor se souřadnicemi identických bodů v upravené souřadnicové soustavě S-JTSK (zaměnění os X a Y se zápornými znaménky) a Bpv. Pro nahrání těchto dat byla použita funkce Select ScanWorlds for Registration (obr. 12), kde se označily skeny z jednotlivých stanovisek a bodové pole identických bodů.



Obrázek 12: Select ScanWorlds for Registration

Dále bylo nastaveno bodové pole identických bodů pomocí funkce Set home ScanWorlds (obr. 13) jako cílová souřadnicová soustava, do které se transformovaly skeny z jednotlivých stanovišek.



Obrázek 13: ScanWorlds'Constraints

Pro vytvoření transformačních klíčů byla použita funkce Auto-add Constraints, která vytváří automatické vazby pro všechny možné kombinace identických bodů. Dále byla spuštěna funkce registrace.

V záložce Constraint List (obr. 14) se poté zobrazí odchylky pro jednotlivé identické body z různých stanovišek. Zde je možné jednotlivé vazby vylučovat z výpočtu, pokud mají velkou odchylku.

Registration: Registration 3
 Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Visual Registration Help

ScanWorlds' Constraints Constraint List ModelSpaces

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
70285	Station-001.S...	Station-003.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70285	Station-001.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70275	Station-001.S...	Station-002.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70275	Station-001.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70272	Station-001.S...	Station-002.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70272	Station-001.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70285	Station-001.S...	Station-002.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70272	Station-002.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70285	Station-002.S...	Station-003.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70285	Station-002.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70275	Station-002.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70282	Station-002.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70302	Station-003.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70305	Station-003.S...	Station-004.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70305	Station-003.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70285	Station-003.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70305	Station-004.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70342	Station-004.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70375	Station-005.S...	Station-006.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70375	Station-005.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70372	Station-005.S...	Station-006.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70372	Station-005.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-005.S...	Station-006.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-005.S...	Station-007.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-005.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-006.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70375	Station-006.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70372	Station-006.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-006.S...	Station-007.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70365	Station-007.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70355	Station-007.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70352	Station-007.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70219	Station-008.S...	Station-009.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70219	Station-008.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70210	Station-008.S...	Station-009.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70210	Station-008.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70246	Station-008.S...	Station-009.S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70246	Station-008.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70219	Station-009.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70210	Station-009.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped
70246	Station-009.S...	BP_2.txt (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Ungrouped

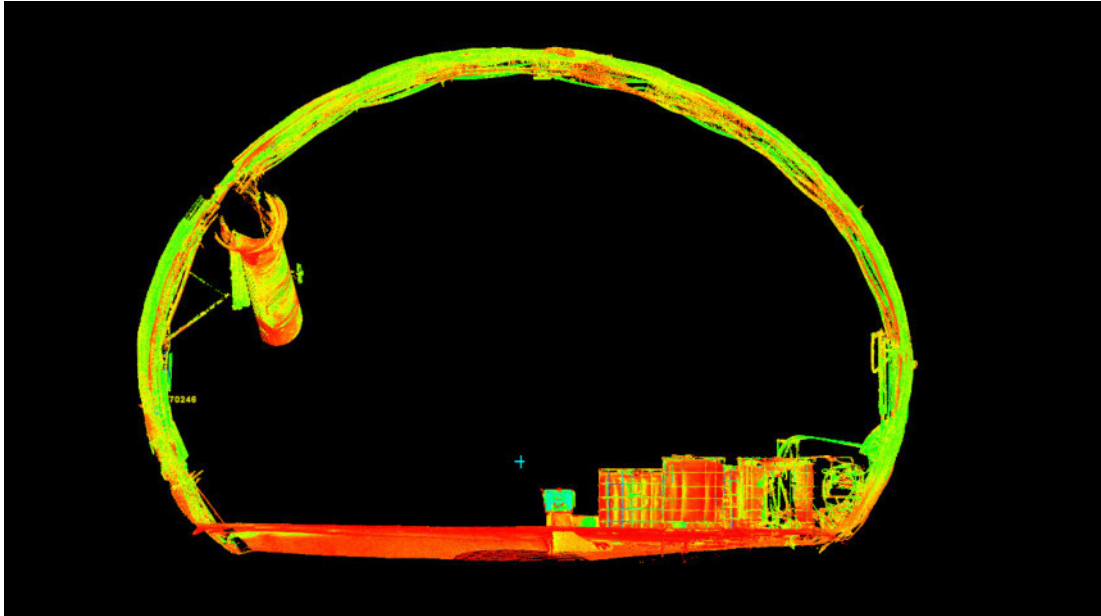
Obrázek 14:Constraint list s odchylkami pro identické body z různých stanovisek

Na stanovisku č. 3 byly vypnuty body č. 70305 a 70302 a na stanovisku č. 4 byl vypnut bod č. 70305 z důvodu velkých odchylek. Po vypnutí těchto bodů byla znovu vypočtena transformace.

Následně byla použita funkce Auto-add Cloud Constraints, kdy byly mezi jednotlivými mračny nalezeny transformační vztahy pomocí překrytových oblastí.

Po kontrole odchylek mezi jednotlivými vazbami této závěrečné registrace byla provedena vizuální kontrola spojení mračen. Pomocí funkce View Interim Results byl zobrazen náhled na nové mračno bodů. V něm byla pomocí tenkých řezů ve všech osách tunelu zkontrolována správnost registrace mračen.

Následně byla registrace potvrzena pomocí funkce Freeze Registration a pomocí funkce Create Model Space byl vytvořen výsledný model. V tomto modelu bylo mračno postupně čištěno od šumu způsobeného vodou a věcmi, které se nemohly během skenování odstranit. Během čištění byla používána funkce Limit Box, pomocí které byl vybrán vždy jen malý úsek z celého tunelu, takže bylo vše přehlednější a lépe se mračno čistilo (obr. 15). K čištění mračna byla použita funkce ohrady, která mazala všechny body uvnitř ní.



Obrázek 15: Ukázka mračna před vyčištěním

Po dočištění mračna bodů bylo mračno zředěno. Pro redukci bodů byla v záložce Tools použita funkce Unify Clouds, kde bylo mračno zředěno na 1 cm. Takto se zredukovalo mračno na cca 102 mil. bodů.

Výsledné mračno bylo vyexportováno ve formátu .txt se zápornými souřadnicemi, kdy $X = -Y$, $Y = -X$ a $Z=Z$ (obr. 16).

```

-741991.147 -1047344.088 228.993
-741991.090 -1047344.058 228.885
-741990.911 -1047344.126 228.059
-741990.844 -1047344.054 228.090
-741990.884 -1047344.136 228.171
-741990.830 -1047344.049 228.216
-741990.898 -1047344.133 228.366
-741990.840 -1047344.023 228.328
-741990.901 -1047344.053 228.438
-741990.957 -1047344.058 228.563

```

Obrázek 16: Ukázka vyexportovaných dat

5.2.2 Zpracování v sw. CloudCompare

V tomto softwaru bylo z vyčištěného mračna bodů odstraněno čelo a čelba tunelu. Dále proběhla druhá redukce mračna na hustotu 10x10 cm pomocí funkce Subsample point cloud. Výsledný počet bodů po redukci byl 220 tisíc.

5.2.3 Zpracování v sw. Atlas

Postup zpracování byl čerpán z diplomové práce Jana Baláše [20].

Kontrola provedení primárního ostění byla zpracována v sw. Atlas v nadstavbě Tunely.

Nejprve byl založen nový list dle vzoru tunely. Následně byla použita funkce generace rozvinuté plochy (obr. 17). Při generaci rozvinuté plochy je potřeba načíst zdrojové mračno bodů, definici osy tunelu (obr. 18) a příčného profilu (obr. 19).

Generace rozvinuté plochy

Soubor s bodovým polem: C:\Data\2023\Metro\export_red - Cloud 10cm.txt

Soubor osy: C:\Data\2023\Metro\Atlas1\osa1.txt

Projektový profil: C:\Data\2023\Metro\Atlas\profil2.pfl

Dmežit staničení na ose
Staničení min. [m] -10.000
Staničení max. [m] 160.800

Dmežit šířku plochy
Od [m] -15
Do [m] 15

Dmežit odchylku od plochy
Min. odchylka [m] -0.250
Max. odchylka [m] 0.250

Úplný 3D výpočet (průměty v rovinách kolmých k ose, jinak ve svislých)

Model odchylek Model tunel

Storno OK

Obrázek 17: Nastavení generace rozvinuté plochy

```
; osa
.FMT St X Y Z cmt(;)
-50.000 -1047392.533 -742007.108 233.378
180.610 -1047216.922 -741964.907 232.686
```

Obrázek 18: Souřadnice osy tunelu

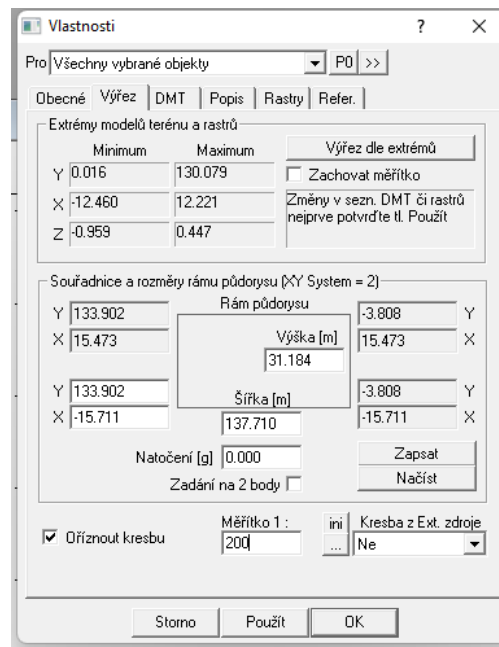
```
;profil 2
.FMT X Y cmt
0.000 -0.270
3.249 -2.330 r=-3.610
4.715 -5.400
-0.000 -5.980 r=-19.480
-4.715 -5.400 r=-19.480
-3.249 -2.325
0.000 -0.270 r=-3.610
```

Obrázek 19: Parametry profilu primárního ostění

Pro generaci rozvinuté plochy bylo nastaveno omezení staničení na ose v intervalu od -10 m do 160,800 m. Tyto hodnoty byly použity, aby byl zajištěn přesah.

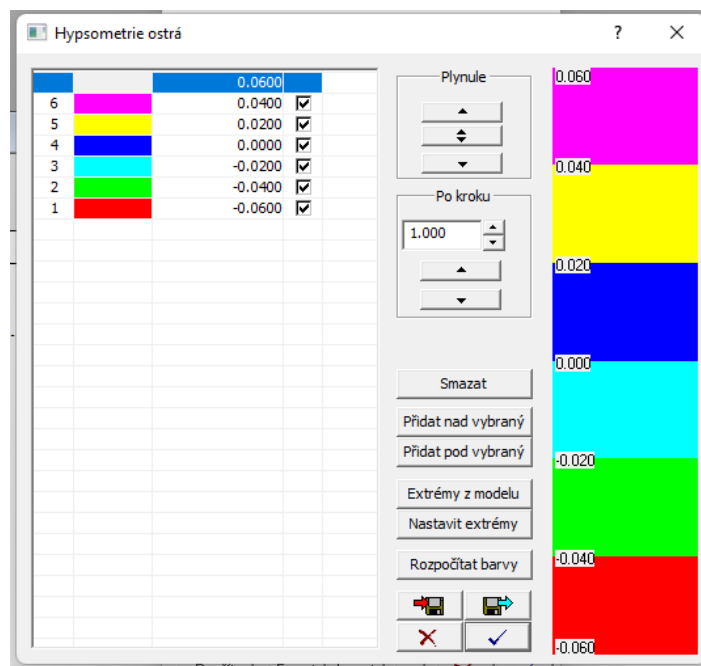
Dále byla omezena i šířka plochy v intervalu od -15 m do 15 m a odchylky od -25 cm do 25 cm.

Použitý soubor Cloud_10cm.txt bylo výsledné mračno bodů z CloudCompare. Soubor osa1.txt (obr. 18) je definice osy a soubor profil2.pfl (obr. 19) je nadefinovaný profil prumeru.



Obrázek 20: Nastavení při vložení rozvinuté plochy

Po vygenerování rozvinuté plochy byla vložena rozvinutá plocha do výkresu, kdy bylo použito nastavení „Výřez dle extrémů“ a měřítko 1:200 (obr. 20).

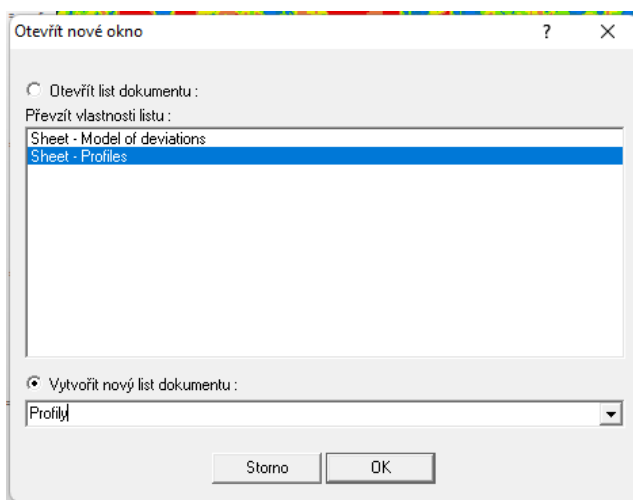


Obrázek 21: Nastavení odchylek rozvinuté plochy

Ve vlastnostech modelu byly nastaveny odchylky (obr. 21) stejné jako při generaci jednotlivých profilů, kde může být nastaveno pouze 7 intervalů odchylek. Rozvinutá plocha odchylek může obsahovat více intervalů.

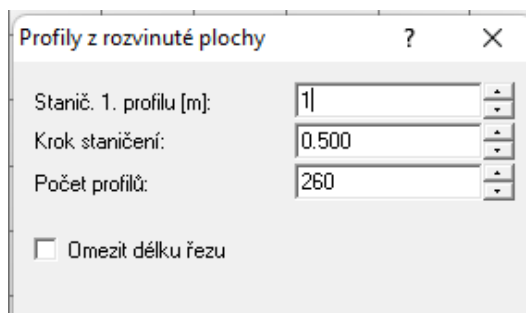
Protože je v primárním ostění velký rozsah odchylek v minusových hodnotách, byla vytvořena 2. rozvinutá plocha, která má rozdělené intervaly hlavně v záporných hodnotách pro lepší představu o jejich rozložení.

Před generací jednotlivých profilů s odchylkami bylo otevřeno nové okno s nastavením Sheet-Profiles (obr. 22).



Obrázek 22: Nastavení nového okna

Dále byly vygenerovány jednotlivé profily pomocí funkce Profily z rozvinuté plochy (obr. 23).



Obrázek 23: Definice profilů z rozvinuté plochy

Kde jsem zvolila staničení 1. profilu na 1. m, krok staničení byl nastaven na 0.5 m a počet profilů 260, aby byly profily vyhodnoceny na celém úseku tunelu.

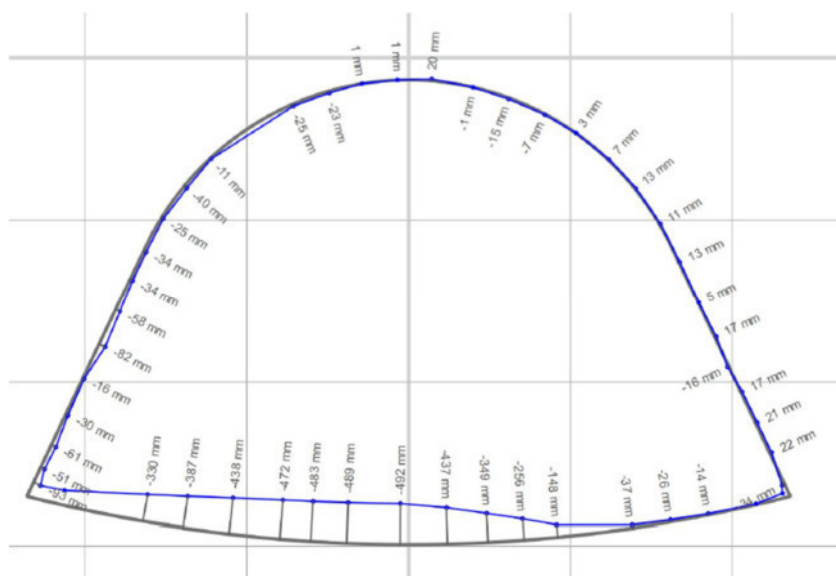


Obrázek 24: Vlastnosti listu

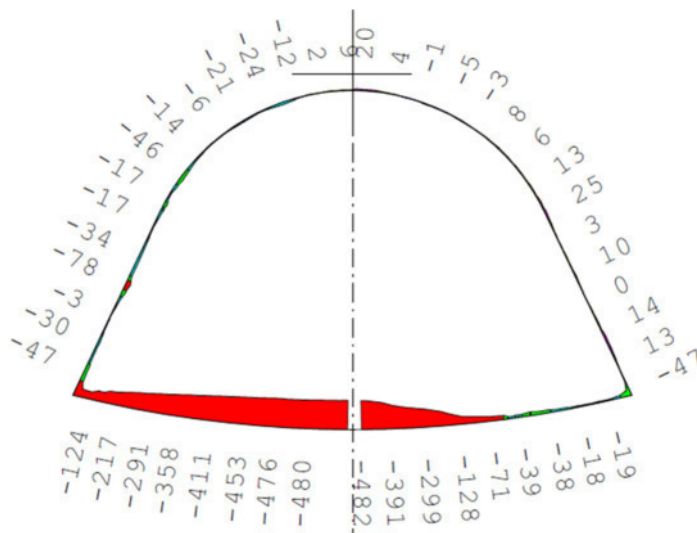
Ve vlastnostech listu (obr. 24) bylo nadefinováno rozložení listů podle automatického rozložení jednotlivých vygenerovaných profilů.

5.2.4 Porovnání výsledků skenování s výsledky ze zaměření profilů totální stanicí

Dne 28. 4. 2023 byly kontrolně zaměřeny totální stanicí Leica TS16 profily primárního ostění na staničení 30, 75, 80, 90 a 110 m ze 3 stanovisek. Totální stanice byla připojena pomocí metody volného stanoviska se zaměřením na 3 body. Vyhodnocení kontrolního zaměření bylo provedeno v sw. Amberg Tunnel (obr. 25).



Obrázek 25: Profil na staničení 30 m zaměřené totální stanicí Leica TS16



Obrázek 26: Profil ve staničení 30 m zaměřené skenerem Leica ScanStation P40

Oba ukázkové profily (obr. 25 a 26) se mezi sebou drobně liší. Není ani možné, aby bylo výsledné zaměření těmito metodami stejné. Totální stanice zaměří pouze určité množství bodů na přibližném staničení. Proto jsou výsledky zaměřené totální stanicí pouze přibližné a orientační.

Mezitím skener skenuje velice husté mračno bodů, které se při zpracování redukuje. Během redukce dochází k průměrování bodů na 10x10 cm. Proto může být daný bod na skutečném profilu primárního ostění polohově a výškově jinde než bod, který byl měřen totální stanicí.

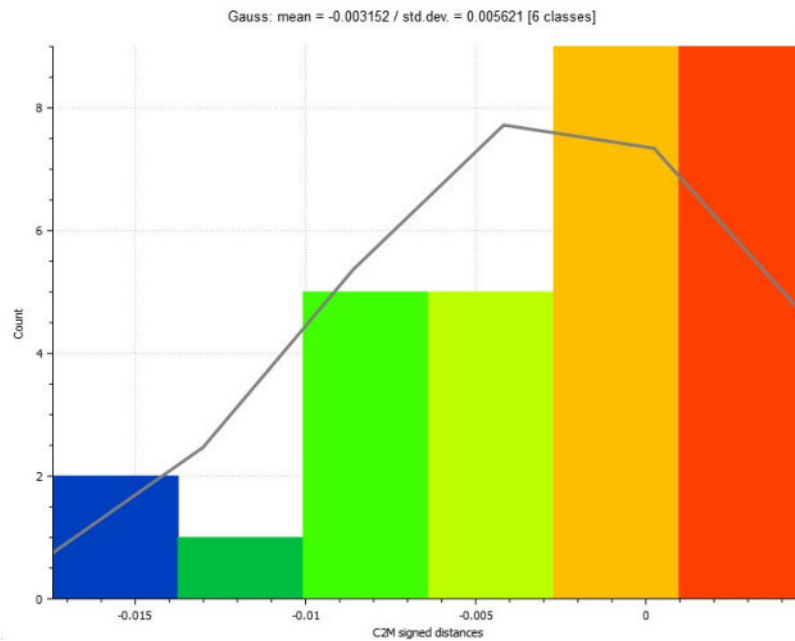
Porovnání skenu a naměřených bodů v sw. CloudCompare

Z výše uvedených důvodů bylo provedeno ještě přímé porovnání mezi body zaměřenými totální stanicí a vstupním mračnem bodů v sw. Atlas. Porovnání bylo provedeno v sw. CloudCompare. Při porovnání se pracovalo s profilem ve staničení 30 m. Do CloudCompare bylo nahráno zredukované mračno bodů a souřadnice bodů zaměřeného profilu. V CloudCompare není možné provést porovnání na celém profilu naráz, proto jej bylo nutné rozdělit na dvě části: dno a kalotu.

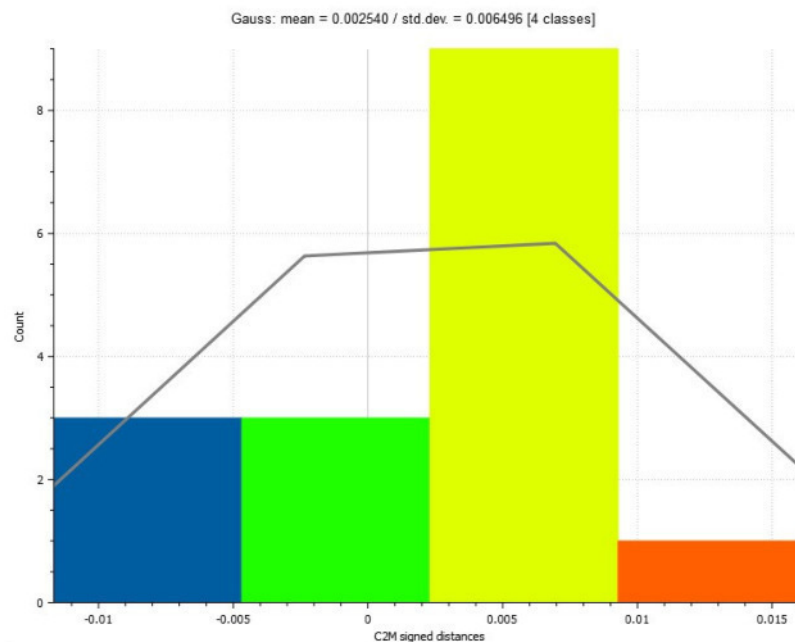
Z mračna bodů se vygenerovala trojúhelníková síť pomocí funkce Mesh, kde maximální délka strany trojúhelníku byla nastavena na 30 cm. Tato trojúhelníková síť byla porovnána se souřadnicemi naměřenými totální stanicí. Naměřený profil totální stanice představuje mračno bodů. Porovnání proběhlo pomocí funkce Compute cloud mesh distance a byly vypočteny vzdálenosti mezi trojúhelníkovou sítí a naměřenými body v profilu. Následně byly vygenerovány grafy s četností odchylek pro kalotu (obr. 27) a dno (obr. 28) a výsledné odchylky pro jednotlivé zaměřené body na profilu viz. tabulky č. 1 a 2.

Dle výsledných hodnot vychází průměrná odchylka v kalotě na -0.003 m se střední chybou $0,006$ m a ve dně průměrná odchylka vychází $0,002$ m se střední chybou $0,006$ m.

V kalotě i ve dně je velká četnost odchylek v intervalu od -0.005 m do 0.005 m s čímž se počítalo a v kalotě jsou 2 body, které se svojí odchylkou výrazně liší od ostatních. Jsou to body s čísly 5 a 25, kde jsou odchylky od trojúhelníkové sítě -0.015 m a -0.012 m. Takto velké odchylky mohou vzniknout, protože rozestupy mezi body pro trojúhelníkovou síť jsou zhruba 10 cm, což může způsobit vyhlazení drobných nerovností na ostění.



Obrázek 27: Vyhodnocení pro zaměření kaloty



Obrázek 28: Vyhodnocení pro zaměření dna

Tab. 1: Odchylyky měřených bodů na kalotě od zredukovaného skenu [m]

číslo bodu	Y	X	Z	odchylka od výsledného skenu
1	-741983.931	-1047315.825	227.874	0.003
2	-741984.041	-1047315.724	228.277	0.005
3	-741984.235	-1047315.784	228.641	-0.002
4	-741984.408	-1047315.712	229.018	0.003
5	-741984.576	-1047315.629	229.326	-0.015
6	-741984.723	-1047315.635	229.699	0.004
7	-741984.940	-1047315.617	230.122	-0.001
8	-741985.163	-1047315.559	230.622	-0.003
9	-741985.389	-1047315.465	231.093	-0.001
10	-741985.689	-1047315.427	231.532	0.002
11	-741986.016	-1047315.351	231.886	-0.009
12	-741986.407	-1047315.247	232.211	0.004
13	-741986.788	-1047315.179	232.438	0.001
14	-741987.218	-1047315.039	232.631	-0.002
15	-741987.645	-1047314.943	232.776	0.000
16	-741988.143	-1047314.836	232.876	-0.003
17	-741988.550	-1047314.714	232.866	-0.008
18	-741988.957	-1047314.537	232.821	0.003
19	-741989.381	-1047314.561	232.706	-0.003
20	-741989.803	-1047314.422	232.544	-0.006
21	-741990.788	-1047314.177	231.894	-0.003
22	-741991.088	-1047314.152	231.537	0.001
23	-741991.357	-1047314.023	231.160	-0.004
24	-741991.566	-1047313.980	230.747	-0.006
25	-741991.726	-1047313.920	230.393	-0.012
26	-741991.864	-1047313.831	230.008	-0.010
27	-741992.068	-1047313.897	229.571	-0.009
28	-741992.319	-1047313.834	229.180	-0.001
29	-741992.508	-1047313.772	228.731	-0.009
30	-741992.668	-1047313.793	228.344	-0.017
31	-741992.795	-1047313.723	228.074	0.002

Tab. 2: Odchytky měřených bodů ve dně od zredukovaného skenu [m]

číslo bodu	Y	X	Z	odchylka od výsledného skenu
1	-741992.533	-1047313.690	227.812	0.004
2	-741991.549	-1047313.982	227.762	0.006
3	-741991.052	-1047314.037	227.741	0.003
4	-741990.529	-1047314.257	227.720	0.005
5	-741989.932	-1047314.408	227.694	0.004
6	-741989.568	-1047314.493	227.678	0.000
7	-741989.139	-1047314.562	227.662	0.007
8	-741988.519	-1047314.740	227.650	0.005
9	-741987.944	-1047314.788	227.600	0.000
10	-741987.473	-1047314.950	227.531	0.008
11	-741987.027	-1047314.997	227.465	0.005
12	-741986.651	-1047315.230	227.393	0.016
13	-741985.736	-1047315.415	227.393	0.002
14	-741985.279	-1047315.539	227.455	-0.012
15	-741984.830	-1047315.663	227.527	-0.006
16	-741984.247	-1047315.760	227.646	-0.007

V tabulkách č. 1 a 2 kladné hodnoty jsou odchylky nad profilem a záporné hodnoty jsou odchylky, které zasahují do profilu.

5.3 Vyhodnocení a porovnání s projektem

Výsledná data z dokumentace primárního ostění jsou ve dvou variantách (viz. přílohy 1 - 3). Nejprve byla výsledná data zobrazena v rozvinuté ploše. Osa Y zobrazuje staničení a osa X kolmici. Rozvinutý plášť je v měřítku 1:200. Intervaly odchylek jsou rozděleny po 2 cm v intervalu od ± 6 cm. Tyto intervaly byly vybrány, protože v sw. Atlas lze při vyhodnocení jednotlivých profilů zvolit pouze rozdělení do 7 intervalů. Vybrané intervaly obsahují většinu odchylek ve výsledných datech. Mínusové hodnoty odchylek zobrazují přesah do profilu a plusové hodnoty přesah nad profilem vůči projektovanému profilu. Následně byla vygenerována rozvinutá plocha tunelu, která má oproti 1. rozvinuté ploše jinak rozdělené intervaly odchylek, kdy jeden interval je od +6 do -5 cm a dalších 6 intervalů je rozdělených po 3 cm v rozmezí od -5 cm do -20 cm, protože odchylky dle 1. rozvinuté plochy jsou hlavně v záporných hodnotách.

Druhá varianta zobrazení výsledné dokumentace je zobrazení jednotlivých profilů dle staničení. Jednotlivé profily jsou vyhotoveny ve staničení po půl metru. Výsledných profilů je celkem 260, protože je 130 rámců. Interval půl metru ve staničení byl zvolen, aby bylo vidět primární ostění i mimo jednotlivé rámy.

Z obou variant výsledků je patrné, že hodnoty primárního ostění spíše zasahují do profilu než aby byly nad profilem. Výsledné dno, které na rozvinutém plášti je

v intervalech X-ové souřadnice od cca -12 do -7 m a od 7 m do 12 m (dno), nelze moc brát v úvahu při vyhodnocování primárního ostění, protože tunel nebyl při skenování zcela vyčištěn, byla tam technika, potřebné vybavení k injektážím a odpadní voda z injektáží. Dále ve staničení v intervalu od 0 do 45 m na levé straně tunelu je na dně nalitý beton pro účel příjezdové cesty.

Kalota je dle výsledných hodnot většinou v intervalu od -10 cm do 10 cm. Při vyhodnocení dno nebylo bráno v úvahu, protože nebylo zcela vyčištěno a tudíž odchylky od profilu mají pouze orientační hodnotu. Pokud jsou hodnoty kaloty v plusových hodnotách, nečiní to žádný problém. Na tato místa se dostříká beton. Pokud primární ostění zasahuje do profilu, musí se profil brousit. Stavební tolerance je 20 cm, které mohou zasahovat do profilu a o tuto hodnotu byl profil vnitřní části tunelu zvětšen. Hodnoty, které přesahují toleranci jsou ve staničení 4 m a 5 m s odchylkami -24.2 cm a -22.7 cm. Tyto odchylky jsou na styku kaloty se dnem. Je velice pravděpodobné, že v těchto místech mohl být zaměřen materiál, který do primárního ostění nepatří. Dále jsou odchylky od projektu pod toleranci stavby -20 cm, kdy nejvyšší hodnota byla 19.5 cm ve staničení 19.5 m. Dle výsledů jsou odchylky s rostoucím staničením blíže k nule a nezasahují tolik do zadaného profilu.

Závěr

Kontrolní měření primárního ostění proběhlo dne 11. 3. 2023 pomocí pozemního statického skeneru. Naskenované mračno bodů bylo transformováno pomocí identických bodů, vyčištěno a zředěno na 10x10 cm. Takto upravené mračno bodů bylo v sw. Atlas DMT porovnáno s projektem.

Dále dne 28. 4. 2023 bylo provedeno kontrolní zaměření 5 profilů ve staničení 30, 75, 80, 90 a 110 m, které byly porovnány s výslednými vyhodnocenými profily ze sw. Atlas DMT ve stejných staničeních. Podrobněji byly porovnán naskenovaný profil a profil zaměřený totální stanicí ve staničení 30 m v sw. CloudCompare, kdy mezi naměřenými body totální stanicí a trojúhelníkovou sítí vytvořenou z redukovaného mračna byly skoro všechny výsledné odchylky v očekávaných hodnotách (podrobněji v kapitole 4.2.6).

Výstupem této práce jsou dva rozvinuté profily tunelu do roviny s odchylkami od profilu projektovaného primárního ostění, kdy první rozvinutý profil tunelu je s odchylkami v intervalu ± 6 cm po 2 cm a druhý rozvinutý profil má intervaly od 6 do -5 cm a dále jsou intervaly v rozmezí -5 cm až -20 cm, kdy jsou intervaly rozdělené po 3 cm. Druhým výstupem jsou jednotlivé profily po půl metru ve staničení s odchylkami od profilu ve stejných intervalech jako první rozvinutá plocha.

Dle výsledných výstupů nebyly v kalotě zjištěny odchylky, které přesahují toleranci stavby mezi naměřenými hodnotami skutečného stavu primárního ostění a projektovaného primárního ostění.

Citovaná literatura

[1] Metro D: Trasa, mapa, stanice a kdy bude dokončena výstavba | e15.cz. e15.cz - Byznys, politika, ekonomika, finance, události [online]. Copyright © 2001 [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: https://www.e15.cz/metro-d-mapa-trasa-stanice-dokonceni#stanice_mapa

[2] Metro D: Mapa [Praha] Trasa metra D (Stanice, stavba). Mapy a plány metra měst z celého světa • [online]. Copyright © 2013 [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://mapa-metra.cz/praha/trasy-metra/d/>

[3] Úvodní informace | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost. Cestující | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost [online]. Copyright © 2023 Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/metro-d/uvod#vyznamna-stavba>

[4] Stanice - Pankrác | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost. Cestující | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost [online]. Copyright © 2023 Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/metro-d/stanice/stanice-pankrac>

[5] Technická zpráva 11 – Stanice Pankrác D, 06/2022, IČD 22-8202-001 51112002010100

[6] Leica ScanStation P40 / P30 - High-Definition 3D Laser Scanning Solution | Leica Geosystems. Google Translate [online]. Copyright ©2023 Leica Geosystems AG [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: https://leica--geosystems-com.translate.goog/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc

[7] ŠVEJDA, Jan. Testování vlastností 3D skenerů Leica ScanStation P40 a BLK360. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie.

[8] GEFOS Leica | Oficiální zastoupení [online]. Copyright ©cobia [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni-stanice/leica-ts16-ds-939072-1120-cs-lr.pdf>

[9] Leica TS16. Uživatelská příručka. Verze 1.0 Česky - PDF Free Download. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/46450798-Leica-ts16-uzivatelska-prirucka-verze-1-0-cesky.html>

- [10] GEFOS Leica | GZT21 4,5" černobílý skenovací terč v otočné vidlici. GEFOS Leica | Oficiální zastoupení [online]. Copyright © 2011 [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/e-shop/3d-skenovani/prislusenstvi-pro-3d-skenovani/gzt21-4-5-cernobily-skenovaci-terc-v-otocne-vidlici___822694
- [11] GEFOS Leica | Leica Cyclone. GEFOS Leica | Oficiální zastoupení [online]. Copyright © 2011 [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/leica-cyclone>
- [12] Atlas DMT - Atlas DMT. Rozdělovník - DMT a SENTINEL - AtlasLTD [online]. Copyright ©2023 Copyright [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://www.atlasltd.cz/dmt/produkty/atlas-dmt/>
- [13] Software & Manuals. Amberg Technologies. Global market leader in the area of railway and tunnel applications [online]. Copyright ©2023 Amberg Technologies. All rights reserved. [cit. 11.05.2023]. Dostupné z: <https://ambergtechnologies.com/private-area/amberg-tunnel/software-manuals>
- [14] CloudCompare - Open Source project. CloudCompare - Open Source project [online]. Dostupné z: <http://cloudcompare.org/>
- [15] MOSLER, Jiří, Václav PAVLOVSKÝ, Libor MAŘÍK, et al. Uživatelská příručka pro konvenční tunelování. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro konvenční tunelování, 2019. Dokumenty České tunelářské asociace ITA-AITES. ISBN 978-80-906452-4-0
- [16] PŘIBYL, Pavel a Jiří BARTÁK. Tunely na pozemních komunikacích. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04723-1.
- [17] BARTÁK, Jiří a Jan PRUŠKA. Podzemní stavby. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04789-7.
- [18] Vyhláška č. 435/1992 Sb. Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem ve znění vyhlášky Českého báňského úřadu č. 158/1997 Sb. úplné komentované znění, 1997. Ostrava: Montanex. ISBN 80-85780-88-7.
- [19] ŠTRONER, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.
- [20] BALÁŠ, Jan. Zaměření skutečného stavu chladicí věže TE Ledvice. Praha, 2010. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie

Seznam obrázků

Obrázek 1: Trasa linky metra D [2]	9
Obrázek 2: 3D model stanice Pankrác na lince D [4]	10
Obrázek 3: Patní štola (PAD4).....	11
Obrázek 4: Schéma rámu [5]	11
Obrázek 5: Rozdělení rámu.....	12
Obrázek 6: Leica ScanStation P40 [6]	13
Obrázek 7: Leica TS16.....	14
Obrázek 8: Černobílý skenovací terč [10]	15
Obrázek 9: PAD1 - Naládovaná čelba před odstřelem [autor: Jaroslav Vlasák]	18
Obrázek 10: Příčný řez ostěním [5]	20
Obrázek 11: Vytyčení injeztážních vrtů	21
Obrázek 12: Select ScanWorlds for Registration.....	25
Obrázek 13: ScanWorlds' Constraints	25
Obrázek 14: Constraint list s odchylkami pro identické body z různých stanovisek..	26
Obrázek 15: Ukázka mračna před vyčištěním	27
Obrázek 16: Ukázka vyexportovaných dat	27
Obrázek 17: Nastavení generace rozvinuté plochy	28
Obrázek 18: Souřadnice osy tunelu.....	28
Obrázek 19: Parametry profilu primárního ostění	28
Obrázek 20: Nastavení při vložení rozvinuté plochy	29
Obrázek 21: Nastavení odchylek rozvinuté plochy	29
Obrázek 22: Nastavení nového okna.....	30
Obrázek 23: Definice profilů z rozvinuté plochy.....	30
Obrázek 24: Vlastnosti listu	31
Obrázek 25: Profil na staničení 30 m zaměřené totální stanicí Leica TS16	31
Obrázek 26: Profil ve staničení 30 m zaměřené skenerem Leica ScanStation P40...	32
Obrázek 27: Vyhodnocení pro zaměření kaloty	33
Obrázek 28: Vyhodnocení pro zaměření dna.....	33

Seznam tabulek

Tab. 1: Odchyly měřených bodů na kalotě od zredukovaného skenu [m]34

Tab. 2: Odchyly měřených bodů ve dně od zredukovaného skenu [m]35

Seznam příloh

Příloha 1:

Rozvinutá plocha profilu primárního ostění s odchylkami od projektovaného profilu

Příloha 2:

Rozvinutá plocha profilu primárního ostění s odchylkami v minusových hodnotách od projektovaného profilu

Příloha 3:

Profily primárního ostění ve staničení 30, 75, 80, 90 a 110 m s odchylkami od projektovaného profilu získané naskenováním

Příloha 4:

Profily primárního ostění ve staničení 30, 75, 80, 90 a 110 m s odchylkami od projektovaného profilu naměřené totální stanicí

Příloha 5:

Zaměřený profil rámu č. 51 ve staničení 50.10 m

Příloha 6:

Zaměřený profil výrubu pro rám č. 51 ve staničení 50.22 m

Příloha 7:

Zaměřený profil nadvýrubu pro rám č. 51 ve staničení 50.22 m

Seznam elektronických příloh

- Příloha 1:
Zápisník kontrolního zaměření profilů prumerů ve staničení 30, 75, 80, 90 a 110 m
- Příloha 2:
Protokol o registraci
- Příloha 3:
Profily primárního ostění po celém staničení s odchylkami od projektovaného profilu získané naskenováním
- Příloha 4:
Redukované mračno bodů pomocí sw. Leica Cyclone
- Příloha 5:
Redukované mračno bodů pomocí sw. CloudCompare, vstupující do výpočtu v sw. Atlas DMT
- Příloha 6:
Definice osy tunelu vstupující do výpočtu v sw. Atlas DMT
- Příloha 7:
Definice profilu primárního ostění vstupující do výpočtu v sw. Atlas DMT
- Příloha 8:
Souřadnice identických bodů
- Příloha 9:
Rozvinutá plocha tunelu (.a4d)
- Příloha 10:
Rozvinutá plocha tunelu se zápornými intervaly (.a4d)
- Příloha 11:
Jednotlivé profily s odchylkami (.a4d)
- Příloha 12:
Ocelový rám
- Příloha 13:
Geometrické schéma
- Příloha 14:
Výňatek z technické zprávy