



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

VIZUALIZACE INFORMAČNÍHO MODELU LINIOVÉ STAVBY V HERNÍM PROSTŘEDÍ UNREAL ENGINE

VISUALIZATION OF INFORMATION MODEL OF INFRASTRUCTURE PROJECT IN GAME
ENVIRONMENT UNREAL ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Paruza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Filip Paruza
Název	Vizualizace informačního modelu liniové stavby v herním prostředí Unreal Engine
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Vyhláška 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb.

Zákon č. 416/2009 Sb. Zákon o urychlení výstavby dopravní, vodní a energetické infrastruktury a infrastruktury elektronických komunikací (liniový zákon).

Novotná, H.: Základy BIM I. – Revit Architecture, seznámení s programem, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014

NOVOTNÁ, H.: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015

Tuhá, S.: Využití mračna bodů v informačním modelování budov. Brno, 2020. 63 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Haltmar, J.: Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 65 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Šuba, Š.: Tvorba prvků tříd pro informační model budovy. Brno, 2020. 62 s., 23 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Maňas, J.: Informační modelování budov vodárenských objektů. Brno, 2020. 79 s., 9 příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Manuály a tutoriály programu Autodesk Revit.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Proveďte rešerši literatury a online zdrojů v oblasti prezentace projektů liniových staveb v herních prostředích (Unreal Engine, Unity, apod.).

Na vybrané části liniové stavby navrhnete postup zpracování geodetické části dokumentace do herního prostředí Unreal Engine, tento postup zhodnotíte a popíšete v závěru práce. Zaměřte se na poskytnutí informací inženýrského charakteru uživatelům výsledné aplikace.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá sběrem dat pro tvorbu Účelové železniční mapy a pro zpracování vizualizace informačního modelu liniové stavby. Bakalářská práce pojednává o BIMu, lokalitě, přípravných a měřických pracích, výpočtech a o následné tvorbě 3D modelu pomocí různých softwarů, z nichž bude nejpoužívanější program Revit, až po závěrečné úpravy v Unreal Engine.

KLÍČOVÁ SLOVA

SŽDC, UŽM, BIM, Revit, Unreal Engine, most, železnice

ABSTRACT

This bachelors thesis task is data collection as a foundation for creating a thematic railway map and for creating a visualization of information model of infrastructure project. This thesis is about BIM technology, locality, preparatory and measuring works, calculations and subsequent creation of a 3D model using different software, from which the most used will be software Revit, until the final adjustments in Unreal Engine.

KEYWORDS

SŽDC, UŽM, BIM, Revit, Unreal Engine, bridge, railway

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Filip Paruza *Vizualizace informačního modelu liniové stavby v herním prostředí Unreal Engine*. Brno, 2022. 52 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vizualizace informačního modelu liniové stavby v herním prostředí Unreal Engine* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2022

Filip Paruza
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vizualizace informačního modelu liniové stavby v herním prostředí Unreal Engine* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2022

Filip Paruza
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Volaříkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady s problematikou vyhotovování vizuálního informačního modelu. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu a Ing. Mgr. Žanetě Šmídové za zaslání do procesu vyhotovování UŽM. Taktéž bych chtěl poděkovat kolegům z firmy GEOS SILESIA s.r.o. Adamovi Pchálkovi, za odborné vysvětlení metody měření v terénu a také Lence Kubenové.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	BIM	11
2.1	Co je to BIM	11
2.2	Společné datové prostředí	12
2.3	BIM v legislativě	13
3	LOKALITA	14
4	PŘÍPRAVNÉ PRÁCE	15
4.1	Podmínky pro práci na ŽDC	15
4.2	Rekognoskace v terénu	17
4.3	Měřické pomůcky	17
4.3.1	Totální stanice Trimble S5 5" DR plus	17
4.3.2	GNSS aparatura Trimble R6	19
4.3.3	Rozchodka	20
5	METODY MĚŘENÍ	21
5.1	Tachymetrie	21
5.2	Technologie GNSS – metoda RTK	22
6	MĚŘICKÉ PRÁCE	23
6.1	Budování pomocné měřické sítě	23
6.2	Podrobné měření	23
6.3	Podrobné měření kolejí	25
6.4	Měření technologií GNSS	26
6.5	Kódování	27
7	UŽITÉ SOFTWARE PRO ZPRACOVÁNÍ	29
7.1	Groma 12.2	29
7.2	Microstaion V8i	29
7.3	Revit 2020	30
7.4	Unreal Engine	30
8	VÝPOČETNÍ PRÁCE	31
8.1	Výpočet podrobných bodů	31
8.2	Převod nepřevýšené výšky kolejnice na osu	32
9	TVORBA MODELU V SOFTWARE MICROSTATION V8I	33

9.1	Založení výkresu a import bodů.....	33
9.2	Tvorba modelu	34
10	TVORBA MODELU V SOFTWARE REVIT 2020	35
10.1	Založení projektu	35
10.1.1	Nastavení souřadnicového systému	35
10.1.2	Import výkresu	36
10.2	Tvorba polohopisných prvků	36
10.2.1	Tvorba mostu	37
10.2.2	Tvorba kolejí	38
10.3	Tvorba terénu	39
10.4	Tvorba technických zařízení	39
10.5	Export do software Unreal Engine	40
10.6	Export do formátu IFC	41
11	TVORBA MODELU V SOFTWARE UNREAL ENGINE.....	42
11.1	Import modelu do softwaru	42
11.2	Tvorba materiálu	43
11.3	Vytvoření animace	44
12	ZÁVĚR.....	46
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	47
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	48
15	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK	50
15.1	Seznam použitých obrázků	50
15.2	Seznam použitých tabulek	50
16	SEZNAM PŘÍLOH.....	51

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá tvorbou BIM modelu zhlaví a záhlaví železniční stanice Záboří nad Labem. Při terénních pracích bylo dbáno předpisů SŽDC M20/MP005 – Metodický pokyn pro tvorbu prostorových dat pro mapy velkého měřítka, M20/MP006 – Opatření k zaměřování objektů železniční dopravní cesty, M20/MP0010 – MP010 Účelová železniční mapa velkého měřítka, Zam1 - Předpis o odborné způsobilosti a znalosti osob při provozování dráhy a drážní dopravy ve znění opravy č. 1 a změny č. 1 (účinnost od 4. března 2020; účinnost od 1. 1. 2021) a Bp1- Pokyny provozovatele dráhy k zajištění bezpečnosti a k ochraně zdraví osob při činnostech a pohybu v jeho prostorách a v prostorách železniční dráhy provozované Správou železnic, státní organizací. Bylo využito převážně terestrické měření pomocí robotické totální stanice doplněné o GNSS měření. Výsledkem práce je informační 3D model v softwaru Revit 2020 a vizualizace modelu v softwaru Unreal Engine. BIM model je vyhotoven v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

Práce ukazuje možný postup při vyhotovování BIM modelu na Liniových stavbách v majetku Správy železnic. Jednalo by se o úplně nový přístup k dokumentaci skutečného provedení liniových staveb. Zlepšilo by to celkovou koordinaci a zlevnilo náklady na výstavbu, údržbu a provoz.

2 BIM

V této kapitole je popsáno informační modelování staveb, dále společné datové prostředí a legislativní zakotvení v České republice.

2.1 Co je to BIM

BIM (Building information modelling/Managment) - česky Informační modelování budov, dnes již spíše chápáno jako informační modelování staveb. Principy informačního modelování jsou známy již od roku 1974. Avšak až v poslední dekádě nastal v tomto odvětví velký pokrok, zejména díky rozvoji výpočetní technologie.

Z počátku byl BIM uplatňován v pozemním stavitelství v souvislosti se stavbou budov, aktuálně ovšem BIM vstupuje do celého stavebnictví.

Komise Spojených států amerických pro standardizaci BIM užívá definici: *Informační model stavby (BIM) je digitální reprezentací fyzických a funkčních charakteristik prostoru stavby a vybavení. BIM je sdílený zdroj informací o stavbě vytvářející spolehlivý základ pro rozhodování během životního cyklu stavby, je definován od raného počátku, záměru, až po její odstranění.*[1] BIM nemůžeme vnímat jen jako model, ale jedná se o celý proces, který vede ke tvorbě a správě projektů. Jedná se o digitální prostor, jenž nám umožňuje výměnu informací v celém životním cyklu stavby. Tedy od jejího návrhu, výstavby, uvedení do provozu, samotného provozu a údržby až po její demolici nebo rekonstrukci. Tento proces nám umožňuje lepší a rychlejší rozhodování a redukuje, ba i dokonce zamezuje kolizím v průběhu výstavby. BIM je tedy nějaká forma databáze, do které mají přístup všichni účastníci podílející se na výstavbě. Hlavní výhodou BIMu je aktuálnost informací, tzn., že všichni mají k dispozici aktuální verze souborů a nemusí tak docházet k nedorozuměním.

Metoda BIM sníží tak v konečném důsledku náklady na pořizování, údržbu, rekonstrukci, demolici a provoz staveb.



Obr. 1: Životní cyklus stavby [zdroj podkladu: www.tzb-info.cz]

Samotný BIM model představuje zobrazení reality pomocí prostorových dat a dalších negrafických atributů dílčích částí. Kromě toho obsahuje například i časové, cenové a energetické údaje. BIM model je také definován jako *digitální reprezentace fyzické anebo funkční části projektované stavby ve strukturované formě (podobné struktuře podle ČSN ISO 16739). Může obsahovat geometrické a technické či další negeometrické údaje potřebné pro přípustné účely použití. Model je součástí projektové dokumentace BIM.* [2,3,4]

Pro každý BIM model je třeba definovat předem datový standard, který uvádí jednotný systém pro tvorbu modelu. Vymezuje základní pravidla tak, aby byl zachován jednotný formát. Všeobecným formátem, ke kterému by mělo tohle vše vést, je formát IFC. Tento formát není vázán na žádný konkrétní software a zajišťuje přesnost informací mezi softwary anebo je taky možné ho otevřít a pracovat s daty i bez jakéhokoliv speciálního programu.

2.2 Společné datové prostředí

Jádrem metody BIM je společné datové prostředí. Společné datové prostředí (CDE, Common Data Environment) - digitální úložiště pro ukládání a sdílení všech společných informací o stavbě. Může obsahovat všechny potřebné informace a dokumenty, které jsou vytvářeny a sdíleny nejen během procesu navrhování a výstavby, ale také během následujících etap životního cyklu stavby. [5]

Jedná se tedy o digitální prostor, který je zdrojem všech informací o stavbě. Obsahuje jak 3D model, ale i další data od naskenovaných dokumentů po tabulkové dokumenty. CDE zajišťuje veškerou komunikaci a procesy mezi účastníky podílejících se na výstavbě.

2.3 BIM v legislativě

V České republice vzniklo několik předpisů, které upravují zavádění BIM v ČR. Usnesením vlády České republiky ze dne 25. 9. 2017 schválila vláda koncepci zavádění BIM v České republice. Klíčovým termínem uváděným v materiálu byl rok 2022, odkdy bylo plánováno uložení povinnosti použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce financované z veřejných rozpočtů. Z důvodů obtížností zavedení BIM byl termín odložen na srpen 2023.[6]

Zákonem č.135/2016 Sb. se stal BIM přípustný pro zadávání staveb. V tomto zákoně o metodice BIM pojednávají dva odstavce § 103:

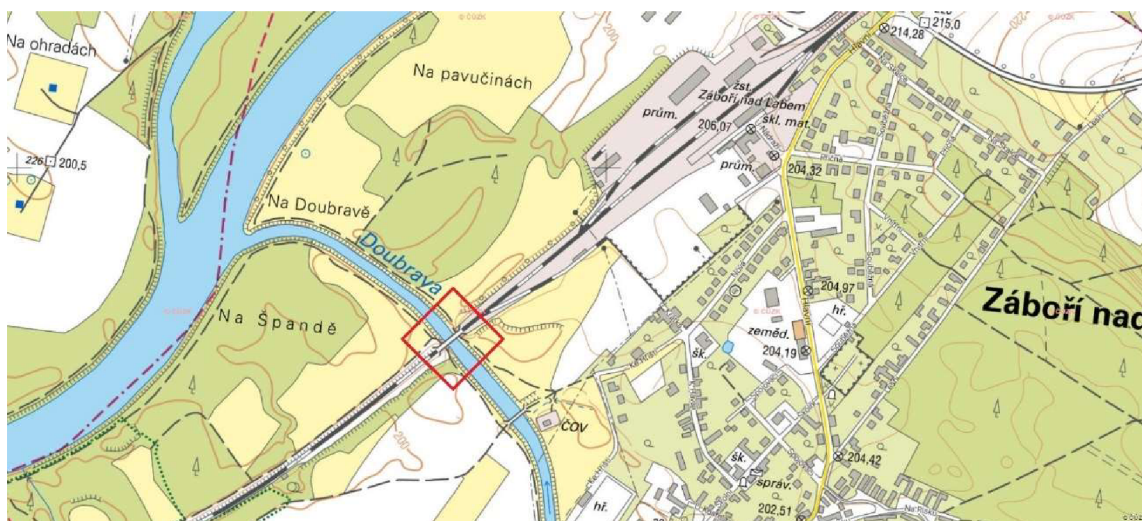
(2) Zadavatel může uvést doporučený způsob zpracování nabídky.

(3) V případě veřejných zakázek na stavební práce, projektové činnosti nebo v soutěžích o návrh může zadavatel v zadávací dokumentaci uvést závazný požadavek na použití zvláštních elektronických formátů včetně nástrojů informačního modelování staveb a uvést požadavky na obsah, strukturu nebo formát dat. Pokud tyto formáty nejsou běžně dostupné, zajistí k nim zadavatel dodavatelům přístup.

3 LOKALITA

Měřená lokalita se nachází v katastrálním území Zábोří nad Labem [789348], nacházející se přibližně 10 km od Kutné Hory přesněji se jedná o zhlaví a záhlaví železniční stanice Zábоří nad Labem ve směru na Starý Kolín. Hlavním předmětem měření byl železniční most přes řeku Doubravu. Železniční stanice Zábоří nad Labem vznikla v letech 1843-1845. První vlak projel stanicí 20. srpna roku 1845. Tento vlak řídil osobně Jan Perner, který trať sám navrhl. Od roku 1957 je stanice elektronizována. V letech 2003-2005 byla stanice rekonstruována a expresní spoje mohou přes stanicí projíždět rychlostí až 160 km/hod. [7]

Mapování probíhalo v rámci pravidelné obnovy účelové železniční mapy (UŽM). Předmětem měření zde bylo zaměření skutečného stavu, přesněji železniční svršek, spodek, terén, komunikace a pevná zařízení dle předpisu SŽDC M20/MP010-Účelová železniční mapa velkého měřítka.



Obr. 2: Mapa lokality [zdroj podkladu: www.cuzk.cz]

4 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Tato kapitola se věnuje podmínkám pro práci na ŽDC, rekognoskaci v terénu a použitým měřickými přístroji.

4.1 Podmínky pro práci na ŽDC

Vstup do provozované železniční dopravní cesty jsem získal jako zaměstnanec firmy GEOS SILESIA, s.r.o. v rámci zakázky měření účelové železniční mapy. Na železnicích tato firma působí přes tři roky jako CPS.

Pro vstup a práci v prostorách provozované ŽDC je potřeba splnit podmínky plynoucí z předpisu správy železnic Zam1 – Předpis o odborné způsobilosti a znalosti osob při provozování dráhy a drážní dopravy ve znění opravy č. 1 a změny č. 1 (účinnost od 4. března 2020; účinnost od 1. 1. 2021) a Bp1 – Pokyny provozovatele dráhy k zajištění bezpečnosti a k ochraně zdraví osob při činnostech a pohybu v jeho prostorách a v prostorách železniční dráhy provozované Správou železnic, státní organizací. CPS smějí vykonávat činnosti v prostorách SŽ jen pouze na základě písemně sjednané smlouvy. Pro vstup na železnici musí všichni zaměstnanci absolvovat vstupní školení VŠ-01. Pro splnění podmínek tohoto školení je třeba zvládnout test, kde musí zaměstnanec dokázat základní znalost především předpisu Bp1. Nezbytná je minimální znalost bezpečnostních, dopravních a návěstních předpisů.

Při práci zaměstnanci tvoří pracovní skupinu, přičemž jedna z osob musí být vedoucí prací. Vedoucí prací zodpovídá nejen za jakost vykonaných prací, ale zejména za bezpečnost ostatních zaměstnanců. Také je povinen být znalý poměrů v pracovním místě, vydávat pokyn k zahájení práce i po jakémkoliv přerušení a další povinnosti uvedené v článku 13 předpisu Bp1.

Zaměstnanec se stává vedoucím získáním osvědčení o odborné způsobilosti. Pro pracovní činnosti v železniční geodézii jsou předepsány zkoušky číslo: G-01, G-02, G-03. Pro pozici vedoucího prací postačuje zkouška G-01, která se skládá z částí písemné a ústní. V každé z těchto částí se prověřují znalosti v oblasti dopravních předpisů, bezpečnostních předpisů a železniční geodézie. [8, 9]



Obr. 3: Průkaz pro vstup do provozované ŽDC

SPRÁVA ŽELEZNIC

OSVĚDČENÍ O ODBORNÉ ZPŮSOBILOSTI

Evidenční číslo:	1032 / 2021 - CPS
Titul, jméno, příjmení:	Filip Paruza
Datum narození:	24. 1. 1999
Vykonal dne:	3. 9. 2021
ZKOUŠKU	odbornou (zkoušky odborné)
	č : G - 01
S výsledkem:	PROSPĚL
Platnost zkoušky/přezkoušení ^{*)} :	2. 9. 2026
Za Správu železnic ředitel:	Předseda komise nebo zkoušející:
 Ing. Bohuslav Stečínřký, MSc. <small>..... Správa železnic (titul, jméno, příjmení, podpis) Dílčďdň 1003/7 110 00 Praha 1 IČO: 70994234 DIČ: CZ70994234 B76</small>	 Ing. Libor Vavrečka <small>..... Správa železnic (titul, jméno, příjmení, podpis) Dílčďdň 1003/7 110 00 Praha 1 IČO: 70994234 DIČ: CZ70994234 B76</small>
Poznámka:	----

^{*)} Za předpokladu splnění podmínek předpisu SŽDC Zam1
^{**)} Titul, jméno, příjmení vypsát hůlkovým písmem

Obr. 4: Ukázka osvědčení o odborné způsobilosti G-01

4.2 Rekognoskace v terénu

Po příjezdu na lokalitu bylo třeba nejprve vyhledat body železničního bodového pole, a to body primárního systému (PS) a také body sekundárního systému (SS). Nalezené body primárního systému a polygonového pořadu (SS) jsme signalizovali barvou na sloupech trakčního vedení. Zajišťovací body (SS) byly stabilizovány čepovou značkou s jednoznačně identifikovatelným bodem zaměření.

Zejména u zajišťovacích značek jsme museli posoudit jejich využitelnost vzhledem k možnému poškození. V měřeném úseku však byly všechny zajišťovací značky nepoškozené a využitelné. [10]

Zvláštní pozornost při rekognoskaci jsme museli věnovat také obloukům a přechodnicím. Bylo třeba vyšetřit jejich průběh a poloměry.

4.3 Měřické pomůcky

4.3.1 Totální stanice Trimble S5 5" DR plus

Ve firmě pro terestrické měření používáme přístroje Trimble S5 5" DR plus s kontrolní jednotkou TSC3, která využívá software Trimble Access.

Jedná se o přesnou a spolehlivou robotickou totální stanici. K exportu dat lze využít buď flash disk, nebo je možno díky datovému připojení posílat data přes email. Při měření železniční stanice Záboří nad Labem jsme využívali dvě tyto totální stanice v. č.: 37011288 a 37120722. Kalibrační listy těchto totálních stanic se nacházejí v příloze 06_Kalibrační_listy.

Tab. 1: Vybrané technické parametry Trimble S5 5" DR plus [11]

Délková přesnost		
Cíl	mód	přesnost
Hranol	standart	1 mm + 2 ppm
Hranol	tracking	4 mm + 2 ppm
bezhranol	standart	2 mm + 2 ppm
bezhranol	tracking	4 mm + 2 ppm
Úhlová přesnost		
Přesnost (směrodatná odchylna podle DiN 18723)		5" (1.5 mgon)
Kompenzátor		
Automatický kompenzátor		
Typ	Centrovaný dvojosý	
Přesnost	0.5" (0.15 mgon)	
Rozsah	±5.4' (±100 mgon)	
Zvětšení dalekohledu	30 x	
Provozní teplota	-20 ⁰ C do +50 ⁰ C	



Obr. 5: Totální stanice Trimble S5 5" DR plus [zdroj podkladu: www.geotronics.cz]

4.3.2 GNSS aparatura Trimble R6

K doměření bodů výškopisu v okolí trati byl použit GNSS přijímač Trimble R6, v.č.: 4744140802. Přístroj má kontrolní jednotku Trimble TCU3, která stejně jako totální stanice využívá software Trimble Access. Na rozdíl od totální stanice probíhá export pouze na flash disk nebo pomocí spojovacího kabelu přes komunikační port (COMM port). Přenos dat do počítače je pak umožněn díky softwaru ActiveSync. [12]

Tab. 2: Vybrané parametry Trimble R6 [13]

Kinematické měření v reálném čase	
jedná základnice <30 km	
poloha	8 mm + 1 ppm RMS
Výška	15 mm + 1 ppm RMS
Síťové RTK ¹	
Poloha	10 mm + 1 ppm RMS
Výška	15 mm + 0,5 ppm RMS
doba inicializace	typicky < 8 sekund
Spolehlivost inicializace	typicky > 99,9 %

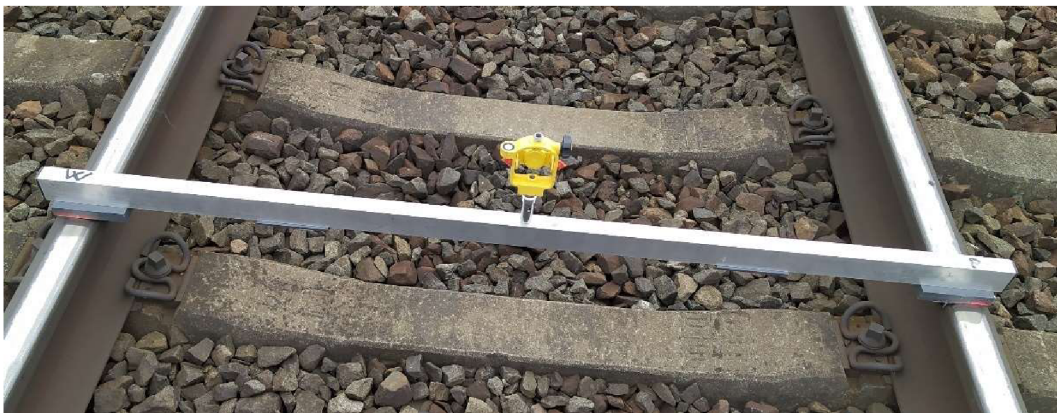


Obr. 6: GNSS přijímač Trimble R6 [zdroj podkladu: www.alibaba.com]

¹ Hodnoty sítě RTK PPM se vztahují k nejbližší fyzické základní stanici

4.3.3 Rozchodka

Při mapování pojmem rozchodka rozumíme pomůcku, která nám usnadňuje měřit osu kolejí. Jedná se o dřevěnou nebo hliníkovou lať, která umožňuje na střed upevnit odrazný hranol. Dále musí obsahovat úhelník, který je ve vzdálenosti jedné poloviny rozchodu kolejí (717,5 mm) od středu latě. Tento úhelník se potom přiráží k pojízdné hraně kolejnicového pásu. Námí používaná rozchodka byla hliníková s polyamidovou podložkou po obou stranách a neumožňovala současně měřit osu kolejí a výšku nepřevýšeného kolejnicového pásu. Proto bylo třeba měřit jak bod osy, tak poté hranol vysunout ze středu rozchodky a přiložit na nepřevýšený kolejnicový pás.



Obr. 7: Rozchodka

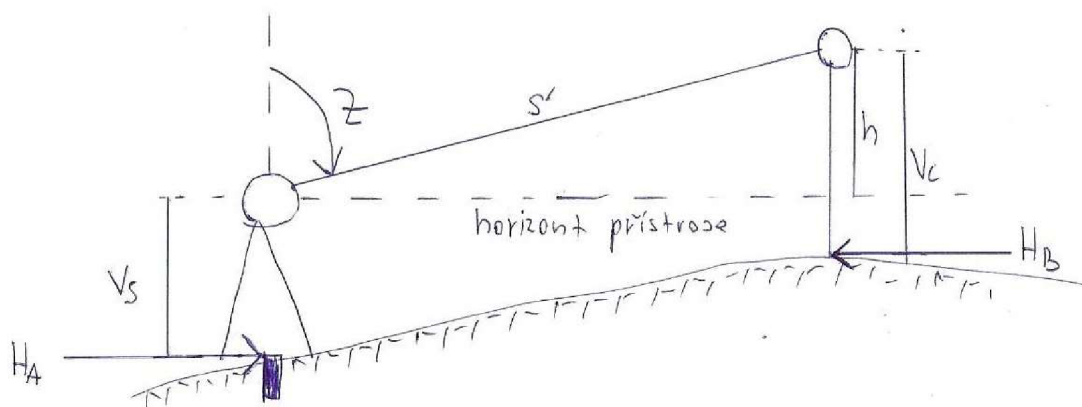
5 METODY MĚŘENÍ

5.1 Tachymetrie

Tachymetrie je metoda měření, při níž se současně získávají souřadnice polohy a výška zároveň. V dnešní době probíhá měření pomocí totálních stanic s automatickou registrací naměřených dat. Při měření se tak registrují polární souřadnice, respektive horizontální směr, zenitový směr, šikmá délka, výška hranolu a jeho konstanta.

Převýšení se vypočítá pak trigonometricky dle vzorce $h = \cos z * s'$

kde z je zenitový úhel a s' je šikmá délka. Když výška stanoviska je H_A a výška stroje/cíle jsou v_s/v_c potom je výška bodu určovaného bodu $H_B + v_s + h - v_c$.



Obr. 8: Trigonometrické určení výšky

Polohu určovaného bodu, přesněji jeho souřadnice X , Y , získáme pomocí rajonových rovnic:

$$Y = Y_S + \sin \sigma_{SU} * s,$$

$$X = X_S + \cos \sigma_{SU} * s,$$

kde σ_{SU} je směrnik vypočtený ze známých souřadnic bodů (orientací), Y_S a X_S jsou souřadnice stanoviska a s je vodorovná délka.

5.2 Technologie GNSS – metoda RTK

GNSS – globální navigační satelitní systémy umožňují prostorové určování polohy po celém světě. Tyto systémy se skládají ze třech hlavních segmentů a to kosmického, uživatelského a řídicího. Kosmický segment se skládá z družic, řídicí z monitorovacích stanic a uživatelský jsou naše vlastní přijímače. Pro geodetické měření v České republice používáme tyto GNSS: Navstar GPS, Glonass, Galileo a BeiDou.

Měření metodou GNSS můžeme rozdělit

- podle typu měření na: kódové a fázové měření,
- podle určení polohy na: absolutní a relativní,
- podle času zpracování na: zpracování v reálném čase a zpracování v post-processingu,
- a podle pohybu přijímače na: statické a kinematické.

Princip kódového měření spočívá ve výpočtu tranzitního času. Družice vysílá kód, který je jednoznačně dán, současně přijímač generuje repliku tohoto kódu. Posun těchto dvou kódů je přímo úměrný tranzitnímu času, za který urazí signál dráhu mezi přijímačem a družicí. Fázová měření spočívají v počtu měření ambiguit (celých vln) a doměrku.

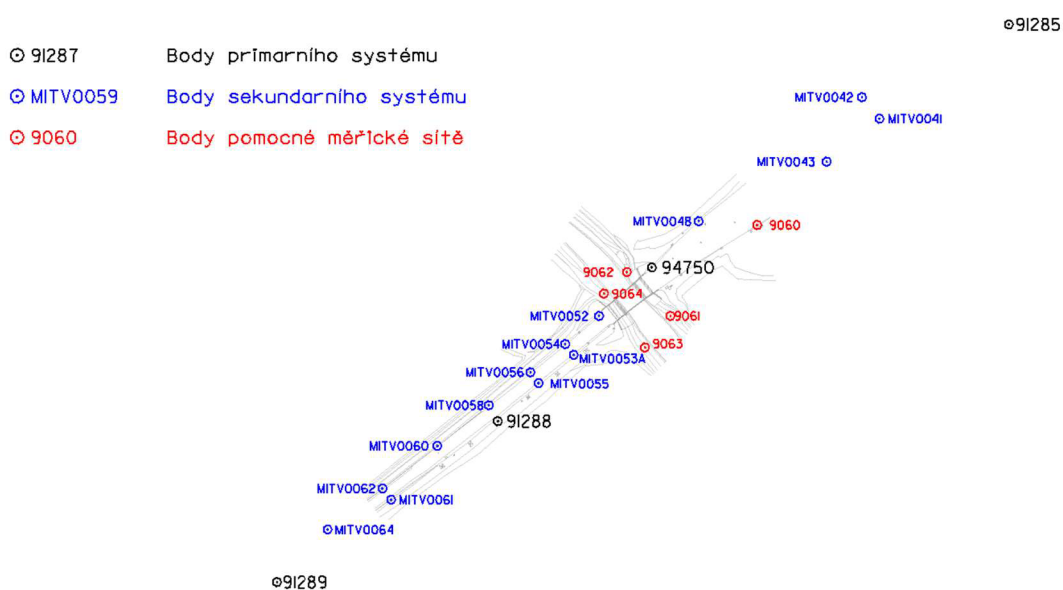
Metody měření GNSS pak v geodézii rozdělujeme na: statickou, rychlou statickou, kinematickou, metodu stop and go a metodu RTK.

Při měření metodou RTK se měří zároveň dvěma přijímači s tím, že jeden musí být umístěn na bodě se známými souřadnicemi. Tento přijímač označujeme jako základnu, kterou může použít buď vlastní nebo referenční stanici sítě permanentních stanic. Na území České republiky je provoz permanentních stanic CZEPOS provozován Českým úřadem zeměměřických a katastrálních a firmou Trimble je provozována síť referenčních stanic Trimble VRS Now Czech. Tato síť má na našem území 29 referenčních stanic + jsou do sítě dodávána data ještě z dalších deseti stanic, které se nacházejí v sousedních zemích. [14]

6 MĚŘICKÉ PRÁCE

6.1 Budování pomocné měřické sítě

Po rekognoskaci lokality, bylo důležité správně zvolit body pomocné měřické sítě. Z důvodu špatné viditelnosti železničního svršku z bodu 91288 bylo třeba vybudovat nový bod 9060, a to mezi body 91288 a 94750. Tento bod byl stabilizován dřevěným kolíkem. Další body pomocné měřické sítě byly vybudovány z důvodu potřeby zaměřit spodní část mostu a jeho okolí. Vznikly tak body 9061-9064, které vytvořily čtvercovou síť okolo železničního mostu. Body byly taktéž stabilizovány dřevěnými kolíky.



Obr. 9: Přehledný náčrt bodového pole a pomocných měřických bodů

6.2 Podrobné měření

Podrobné body do vzdálenosti 3,5 m od osy koleje se měří ve zvýšené třídě přesnosti, kde $\Delta p = 30$ mm a $\Delta h = 30$ mm. Jedná se zejména o body průběhu osy kolejí, výhybky, hrany nástupišť, mostů a propustků. Ostatní body ve vzdálenosti větší než 3,5 m od osy koleje podléhají druhé a třetí třídě přesnosti dle ČSN 01 3410 - Mapy velkých měřítek. V druhé třídě přesnosti se měří ostatní prvky polohopisu a ve třetí třídě přesnosti se měří body terénu a terénních útvarů.

Měření na každém stanovisku probíhalo vždy ve stejných krocích, které vyplývaly jak z požadavků dodaných objednavatelem, tak dle předpisů SŽDC. Po centraci a horizontaci přístroje, byla do přístroje zadána aktuální teplota. Tlak nebylo třeba zadávat, jelikož přístroj Trimble S5 5" DR plus dokáže tlak změřit sám. Následně jsem mohl přistoupit k měření.

Prvním krokem bylo zaměření orientací a zajišťovacích značek ve dvou polohách dalekohledu tak, aby mohlo dojít k určení stanoviska. Z důvodů velké frekventovanosti trasy bylo třeba průběžně kontrolovat posuny přístroje, které mohly nastat při projíždění vlaku. Proto bylo na každém stanovisku po změření orientací změřen kontrolní bod. Tyto body byly znázorněny zejména křížky nakreslenými na sloupech trakčního vedení.

Skoro po každém projetí vlaku pak byl tento bod vytyčen a byly tak průběžně kontrolovány odchylky od prvního zaměření bodu. Pokud by byla odchylka příliš velká, přistoupilo by se k novému postavení přístroje na stanovisku.

Dalším krokem bylo zaměření dvojice identických bodů. Identické body se nacházely vždy na šroubech upevňujících kolejnicové pásy. Tyto body musely splňovat zvýšenou třídu přesnosti.

Pak nastala část měření osy kolejí a výšky nepřevýšeného a převýšeného kolejnicového pásu viz kapitola 6.3. Dále následovalo zaměření další dvojice bodů, které byly pak následovně použity jako identické na dalším stanovisku.

Měření dalších polohopisných prvků byl předposlední krok. Posledním krokem bylo kontrolní zaměření první orientace. Při celém procesu měření bylo třeba dbát, aby nedocházelo k záměrům delším než 150 m na podrobené body, maximálně však po nejbvzdálenější orientaci v daném směru.



Obr. 10: Podrobné měření

6.3 Podrobné měření kolejí

Zvláštní pozornost si zaslouží metodika měření osy kolejí rozchodkou. Před zaměřením osy koleje je nutností vyšetřit poloměry oblouků.

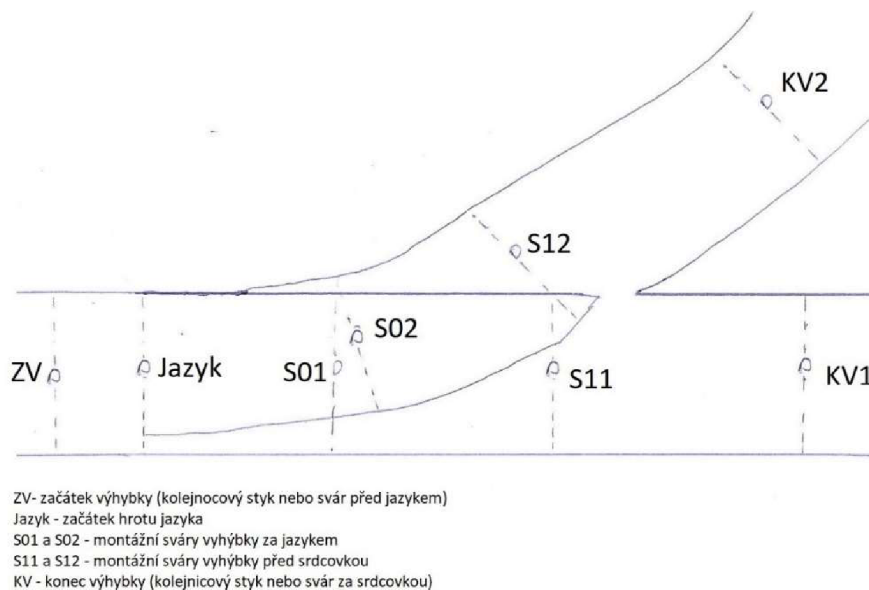
V přímých úsecích bylo postačující měřit body osy koleje po 25 m. V obloucích a přechodnicích musí být vzdálenost sousedních zaměřovaných bodů volena tak, aby směrové vzepětí nepřekročilo 8 cm.

Při měření osy koleje v přechodnici nebo oblouku se také rozchodka musí přiřázet k pojízdné hraně vnějšího kolejnicového pásu. V ose kolejí se dále měří některá technická zařízení, jako balízy, magnetické informační body (MIB), izolované styky, výkolejky, dilatační zařízení a další. [15]



Obr. 11: Měření osy kolejí

Další složitosti při měření rozchodkou nastávají v případě měření vyhybek a kolejových splýtek. Většina vyhybek je však založena na stejném principu. Důležité je vždy prohlédnout vyhybku před započítáním měření. Osu koleje vyhybky měříme v místech svárů, v oblastech koncových styků, tedy jde o začátek a konec vyhybky. Dále se měří hrot jazyku vyhybky, v místě kruhového otvoru v kolejnicích a konstrukční sváry vyhybky.



Obr. 12: Schéma měření výhybky

6.4 Měření technologií GNSS

Metoda GNSS byla využita při doměření okolí železničního svršku, tedy pro body ve vzdálenosti větší než 3,5 m od osy koleje. Pro měření byla využita aparatura GNSS Trimble R6. Předpisem SŽDC M20-MP010 – Účelová železniční mapa velkého měřítka, přílohou E je stanoveno, že ověřovací měření na rozdíl od vyhlášky č. 31/1995 Sb., není vyžadováno dvojí nezávislé ověření polohy měření pomocí technologie GNSS, ale ověřovací měření se provádí kontrolním zaměřením bodů platného ŽBP v dané lokalitě. Minimálně však je třeba změřit dva body ŽBP, a to na začátku a na konci měření.

V případě, že body ŽBP nejsou vhodné pro GNSS observaci, může se využít zaměření kolejnicových pásů, nebo lze použít jednoznačně identifikovatelné body polohopisu, které byly již však změřeny. Tyto body se zaměřují jedenkrát metodou RTK, se záznamem 5 vteřin (epoch). Mezní odchylky rozdílů souřadnic mezi danými a měřenými body jsou stanoveny: $\Delta p = 6 \text{ cm}$ a $\Delta h = 8 \text{ cm}$.

Při GNSS měření byly zaměřeny body ŽBP: 91285, 94750 a 91287 (přehledný náčrt bodového pole viz obr. 5). K připojení GNSS byla použita síť VRS Now.

Statuty stanic a ověřené souřadnice pro den 28.4.2021 (středa)

Výsledky pro síťová řešení (z finálního řešení).

Síť	Výsledek
TRIMBLE	Trimble VRS NOW : Síťové řešení ověřeno

Obr. 13: Ověření souřadnic stanic Trimble

6.5 Kódování

Z důvodů snahy o co nejrychlejší provedení měřických prací, bylo opuštěno od vyhotovování měřického náčrtu, a proto bylo velmi důležité kódování a fotodokumentace.

V softwaru Trimble Acces, jenž využívá kontrolní jednotka Trimble TSC3, byly vytvořeny tabulky s kódy. Zvláště tabulka pro měření osy kolejí, technických zařízení, polohopisu a mostu. Seznam nejpoužívanějších kódů se nachází v příloze 08_Kódy

Tab. 3: Tabulka nejpoužívanějších kódů

ok	Osa staniční a traťové koleje normální rozchod
ok_W	Výška nepřevýšeného kolejnicového pásu
ok_p	Výška převýšeného kolejnicového pásu
ok_zv	Začátek výhybky
ok_kv	Konec výhybky
ok_jazyk	Začátek hrotu jazyka
ok_is	Izolovaný styk
ok_baliza	Balíza
ok_mz	Magnetická značka, snímač čtecího zařízení
ok_citac	Snímač počítače náprav
ok_mib	Magnetické informační body (MIB)
sl	Štěrkové lože
sl_hrana	Hrana štěrkového lože
sl_pata	Pata štěrkového lože
patka_vrch	Betonová patka – vrchní bod
patka_pata	Betonová patka – bod na patě
tv	Trakční podpěra
kil	Staničník – kilometrovník a hektometrovník
se	Návěstidlo dvouřadé trpasličí
prestavnik	Přestavník, závorník
telefon	Železniční telefonní objekt, samostatný telefon
lampa, OV	Osvětlovací stožár, osvětlovací věž
rozhlas	Rozhlas, reproduktor na stožáru
nameznik	Námezník
zabradli	Zábradlí
lic	Nejbližší bod objektu ve směru k ose kolejí
bet	Beton
opz	Opěrná zeď
opera	Opěra mostu
podpera	Podpěra mostu
rimsa	Římsa
kridlo	Mostní křídlo
nk_svetlost	Světlost nosné konstrukce
dl	Dlažba
nk	Nosná konstrukce
teh	Terénní hrana
tep	Terénní pata
ter	Terén
cesta	Cesta

7 UŽITÉ SOFTWARE PRO ZPRACOVÁNÍ

Při zpracování celé práce bylo využito několik softwarů, v této kapitole jsou obecně popsány nejdůležitější z nich.

7.1 Groma 12.2

Groma 12.2 je geodetický software určený ke geodetickým výpočtům. Program je kompatibilní s operačními systémy Microsoft Windows. Umožňuje import a export široké škály formátů souřadnic a zápisníků měření. Obsahuje základní výpočetní úlohy jako ortogonální metodu, polární metodu, polární vytyčovací prvky, protínání, transformace atd. Kromě těchto jednodušších výpočtů umožňuje i složitější jako vyrovnání volných a vázaných sítí a kubatury. Software Groma obsahuje také grafický modul, který slouží zejména ke tvorbě geometrických plánů. [16]

7.2 MicrostaionV8i

MicrostationV8i je CAD (počítačem podporované projektování) software vyvíjený společností Bentley. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších geodetických programů vhodných pro tvorbu kresby. Software je uživatelsky velmi přívětivý, dokáže pracovat jak už s klasickým formátem .dgn, tak i s formáty .dwg, .dxf a spousty dalšími. Program pracuje jak s 2D výkresy, tak s 3D modely objektů a budov.

Pro tento software vyvíjí firma GISOFT nadstavby. Nejpoblárnější je nadstavba MGEO, která slouží zejména pro efektivnější tvorbu map velkých měřítek.

Obsahuje nástroje a moduly, které výrazně geodetům zjednodušují tvorbu a údržbu map. [17]

7.3 Revit 2020

Revit je počítačový program vyvíjený společností Autodesk, která se zabývá vývojem CAD aplikací. Jde o CAD a zároveň BIM software, který je primárně určen pro architektky, stavaře a další. Tento software pracuje s 3D daty. Velkou výhodou tohoto systému je, že provedená změna se projeví v ostatních částech projektu. Základním kamenem celého software jsou rodiny, které tvoří dílčí části každého objektu. Jedná se o prvky, které se nějakým způsobem opakují v projektu, ale přitom se mění některé jejich parametry.

Program pracuje se širokou škálou formátů jako jsou .dwg, .dgn, .dxf, .icf, .obj, ale standardním formátem je formát projektu .rvt.[18]

7.4 Unreal Engine

Unreal Engine je software vyvíjený společností Epic Games, která se zabývá zejména vývojem počítačových her. V posledních letech však tento software získává stále větší uplatnění ve filmovém a televizním průmyslu, při tvorbě 3D modelů, ve stavebnictví a architektuře. Uživatelsky je program velmi přívětivý, pro jeho použití není třeba znalost programování. Velkou výhodou programu je zobrazení velkého množství detailů, které jsou téměř nerozeznatelné od skutečnosti. [19]

8 VÝPOČETNÍ PRÁCE

Následující text popisuje zpracování měření, zabývá se výpočtem terestrického měření a přepočtem výšky nepřevýšeného kolejnicového pásu na osu kolejí.

8.1 Výpočet podrobných bodů

Výpočet podrobných bodů proběhl v programu Groma 12.2.

Nejdříve byl do software nahrán seznam souřadnic ŽBP, poté byl přes menu *Nástroje – Křovák* nastaven měřítkový koeficient, který zahrnoval opravu z kartografického zobrazení a opravu z nadmořské výšky.

Následně byly načteny stažené zápisníky měření ve formátu .sdr. Zápisníky bylo potřeba nejprve zeditovat. Bylo nutné odstranit zejména nadbývající měření. Následovalo zpracování zápisníků pomocí funkce *Zpracování zápisníku*. Do procesu zpracování vstupovaly hodnoty z kalibračních listů totálních stanic.

Z vybraných údajů byly nadefinovány teodolity v Gromě, díky nimž při zpracování zápisníků program automaticky kontroloval naměřené hodnoty, především překročení kolimační a indexové chyby.

Dalším krokem, ke kterému jsem přistoupil, bylo vyrovnání sítě. Síť byla určena jako vázaná. Jako pevné body byly nastaveny body ŽBP a jako volné body byly nastaveny body pomocné měřické sítě. Při vyrovnání bylo třeba zohlednit vstupní přesnost měřených veličin. Z důvodů špatné viditelnosti mezi některými body bylo nutné měřit na trasírku, která byla nastavena na výšku až 2,6 m. Tudíž přesnost měřených směrů a délek byla výrazně nižší, a proto byly nastaveny tyto hodnoty pro střední chybu směrů 70^{cc} a střední chybu délek $9 \text{ mm} + 9 \text{ ppm}$. Následoval výpočet podrobných bodů pro druhou třídu přesnosti pomocí polární metody dávkou.

8.2 Převod nepřevýšené výšky kolejnice na osu

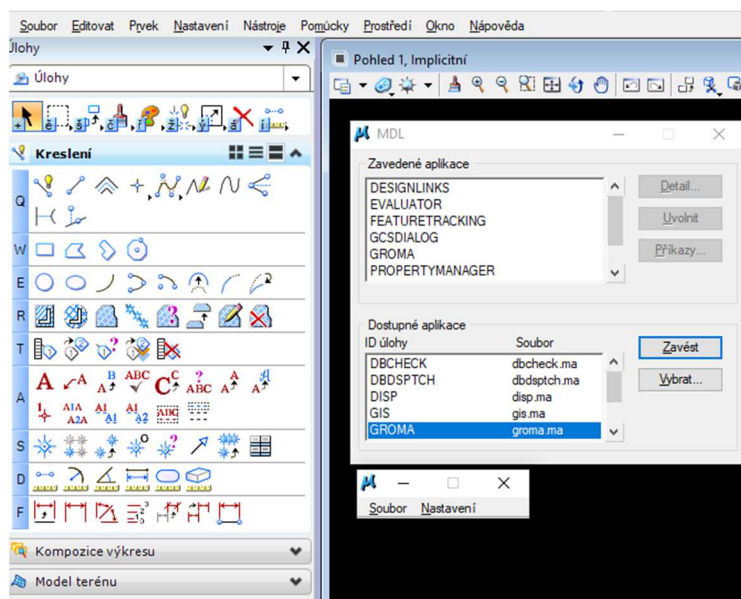
Z důvodu, že použitá rozchodka neumožňovala měření osy a nepřevýšeného kolejnicového pásu zároveň, tak musela být správná výška bodu osy přiřazena až po výpočtu podrobných bodů. Body osy kolejí s kódem osy kolejí a body, které obsahovaly výšku nepřevýšeného a převýšeného kolejnicového pásu, byly vloženy ze seznamu souřadnic do .xls tabulky, kde pomocí vzorců byla k bodu osy přiřazena výška nepřevýšeného kolejnicového pásu. Soubor přepočtu výšky osy kolejí je přílohou číslo 04.3_Přepočet_výšky_na_osu.

9 TVORBA MODELU V SOFTWARE MICROSTATION V8I

V softwaru Microstation V8i byl vyhotoven 3D výkres ve smyslu některých zásad předpisu SŽDC M20/MP005-Methodický pokyn pro tvorbu prostorových dat pro mapy velkého měřítka, který sloužil jako podklad pro další zpracování. V této kapitole je popsán postup založení výkresu, import bodů a následné zpracování.

9.1 Založení výkresu a import bodů

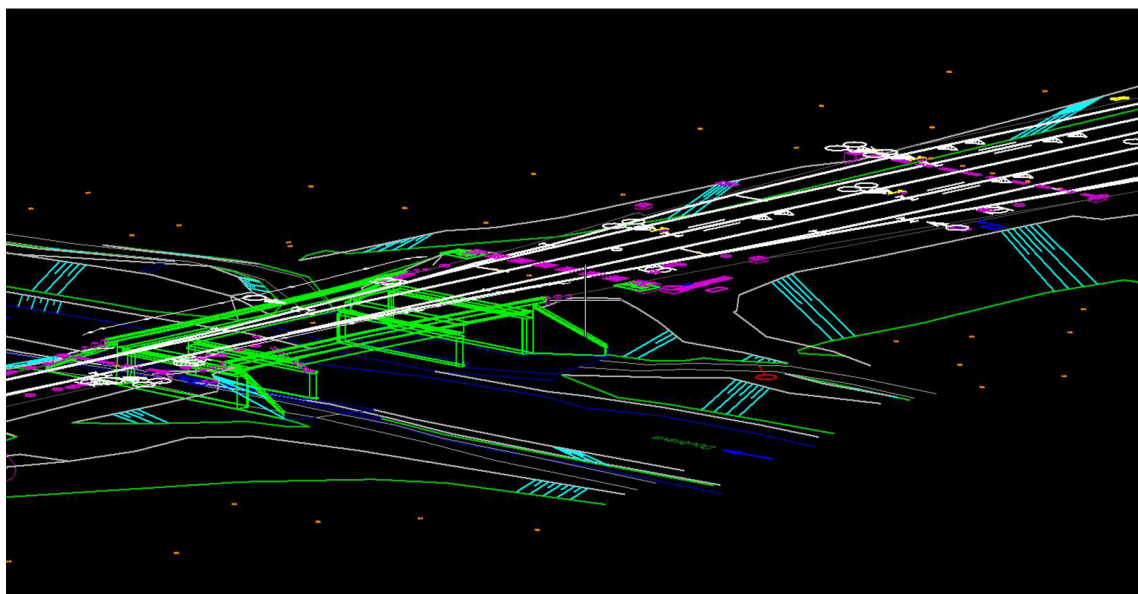
V programu Microstation V8i jsem založil výkres dle předpisu *SZDC M20 /MP005 – Metodický pokyn pro tvorbu prostorových dat pro mapy velkého měřítka*. Proto byl použit zakládající výkres *SZDCSeed2018_Z2.dgn*, dále byly použity knihovny značek *SZDCZnacky2018_Z2.cel* a knihovny čar *SZDCCary2018_Z2.rsc*. Následné nahrání podrobných bodů bylo provedeno pomocí modulu Groma přes *Pomůcky – Aplikace MDL- Groma*.



Obr. 14: Modul Groma v softwaru Microstation V8i

9.2 Tvorba modelu

Pro potřeby tvorby modelu v softwaru Revit 2020 postačovalo vytvořit dva jednoduché modely v programu Microstation V8i. Jeden pro tvorbu polohopisných prvků a druhý pro vytvoření terénu. Při tvorbě modelu pro tvorbu polohopisu byly prvky rozvrstveny podle předpisu SŽDC M20/MP005 – Metodický pokyn pro tvorbu prostorových dat pro mapy velkého měřítka. Z důvodů, že bylo potřeba vytvořit jen podklad pro Revit 2020, tak nebyla kreslena UŽM dle příslušných předpisů, ale bylo kresleno jen dle některých zásad. Při tvorbě modelu pro terén bylo přihlíženo k schopnostem softwaru Revit 2020 tvořit terén. Proto byl výkres rozvrstven do dílčích ploch tak, aby software Revit 2020 dokázal vytvořit patřičný terén.



Obr. 15: Model mostu v prostředí Microstation V8i

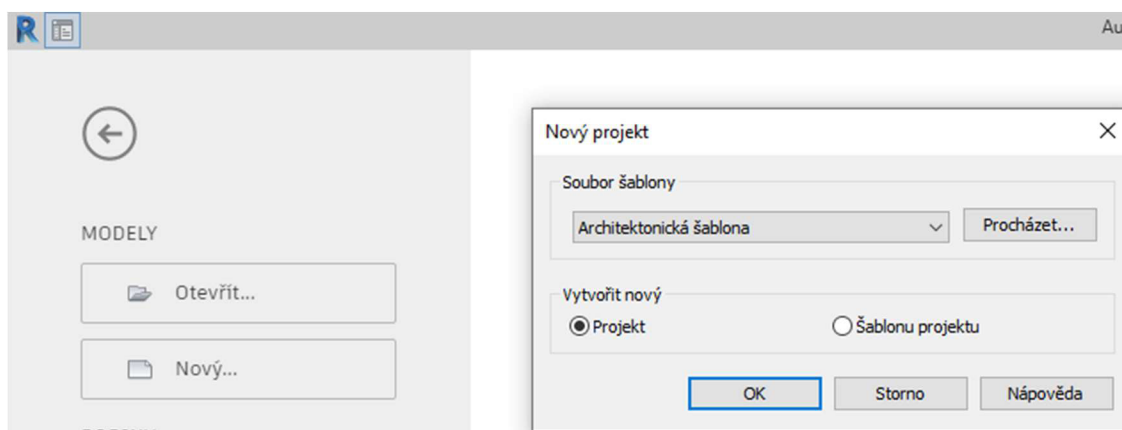
10 TVORBA MODELU V SOFTWARE REVIT 2020

V této kapitole je popsána problematika založení projektu, definování souřadnicového a výškového systému. Pro prvky, které by byly neekonomické tvořit zvlášť se tvoří v softwaru Revit 2020 rodiny, kapitola se věnuje také jim.

10.1 Založení projektu

Po zapnutí programu Revit 2020 byl založen nový model pomocí souboru šablony pro architektonický model a byl vytvořen nový projekt. Dále bylo nutné nezapomenout nastavit jednotky projektu, které jsou umístěny v záložce *Správa – Jednotky projektu*.

Délky byly nastaveny na metry na tři desetinná místa a úhly v gradech na čtyři desetinná místa.

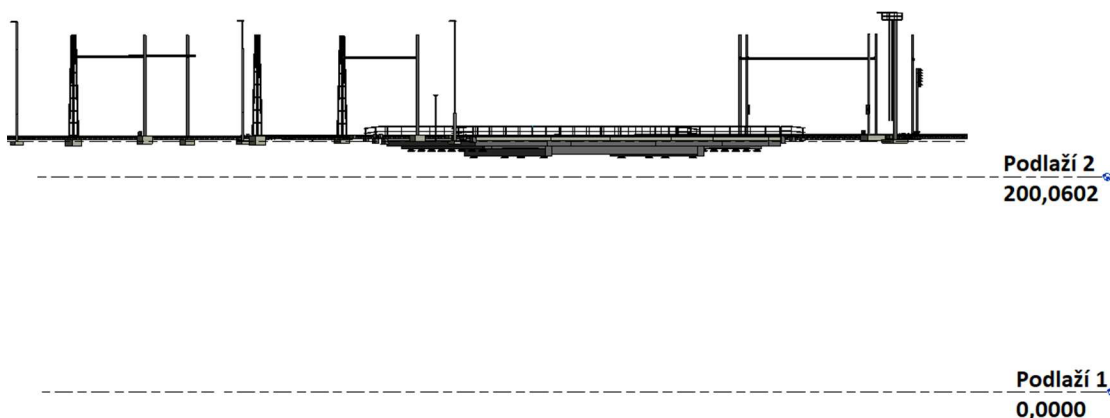


Obr. 16: Založení projektu v softwaru Revit 2020

10.1.1 Nastavení souřadnicového systému

Nejdůležitějším krokem při celé tvorbě je správné nastavení souřadnicového systému S-JTSK a výškového Bpv v softwaru Revit 2020. Pro všechny prvky, které tvoří model, používá software Revit 2020 vnitřní souřadnicový systém. Tento systém je definován dvěma body, a to základním bodem projektu, který určuje počátek souřadnicové soustavy, a zeměměřickým bodem, jenž by se měl nacházet v blízkosti objektu a známe jeho souřadnice v systému S-JTSK. [20]

Další možností je získání souřadnic ze sdílených souřadnic. Jelikož jsem měl vytvořený model v programu Microstation V8i ve formátu *.dwg*, tak byla tato možnost využita. Ke kontrole správného zavedení souřadnicového systému byl využit výřez katastrální mapy, taktéž ve formátu *.dwg*, který byl do projektu připojen. Výškový systém Bpv byl vyřešen nastavením prvního podlaží do výšky nula. K tomuto podlaží pak byly vztaženy výškové úrovně všech objektů. Další podlaží bylo využito ke tvorbě pomocných rovin.



Obr. 17: Definice podlaží v softwaru Revit 2020

10.1.2 Import výkresu

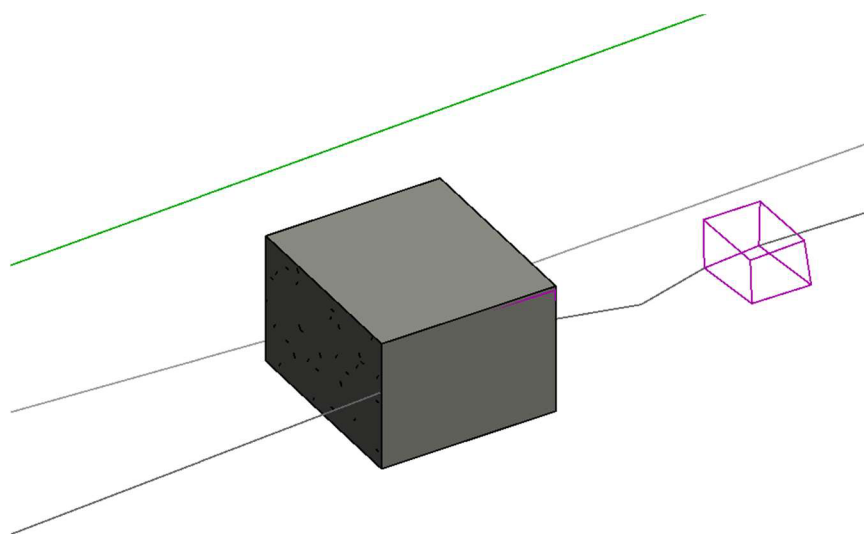
Funkce pro import výkresu nalezneme v záložce *Vložit – Připojit CAD*. Důležité bylo nastavit importované jednotky na metry a pozici výkresu podle sdílených souřadnic. Importované výkresy byly vždy ve formátu *.dwg*.

10.2 Tvorba polohopisných prvků

Skutečné geodetické zaměření obsahuje spoustu nejistot, které vznikly při měření, proto není mezi body tvořící objekty zachována pravoúhlost v takové míře, jako ve skutečnosti. Tento fakt činí problém pro tvorbu objektů v softwaru Revit 2020 a je třeba provést jistou generalizaci a aproximaci bodů.

Prvky tvořící obsah polohopisu byly zejména betonové patky sloupů trakčního vedení, patky semaforů a opěrné zdi. Všechny tyto entity byly vytvořeny pomocí *Architektura-Stěna*, nebo *Architektura-Podlaha*. Pro každý objekt byla, ať už stěna nebo podlaha, upravena. U stěn bylo třeba nastavit šířku tak, aby byla shodná s šířkou nebo délkou objektu.

Druhý rozměr byl dán tažením stěny. Spodní vazba objektů byla dána dolním odsazením od podlaží 1 a horní vazba byla nastavená jako nepřipojená, a tudíž byla zadána nepřipojená výška, jež se rovnala výšce objektu. Při použití podlahy bylo třeba upravit tloušťku, respektive její výšku.



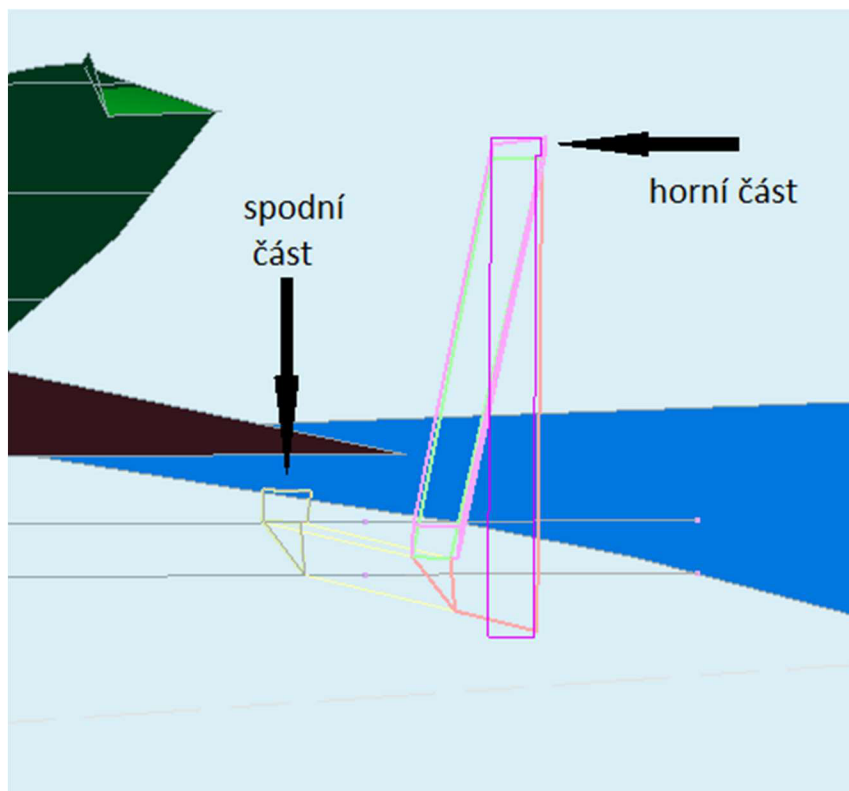
Obr. 18: Betonová patka sloupu trakčního vedení v softwaru Revit 2020

10.2.1 Tvorba mostu

Složitější částí tvorby modelu bylo vytvoření železničního mostu. Most se skládá z mnoha dílčích částí s charakteristickým tvarem. Téměř všechny části byly vytvořeny pomocí *Architektura – Komponenta – Komponenta na místě*.

Některé části mostu nebyly pro potřeby UŽM měřeny, a proto byly umístěny jen orientačně. Jednalo se o ložiska mostu a žebrování nosné konstrukce.

Kvůli náročnější tvorbě dílčích částí byly využity pomocné roviny pro křídla a část zábradlí. Při tvorbě částí mostu byly využity především komponenty na místě typu stěna, nebo podlaha s využitím tvorby pomocí vysunutí, či přechodu. Z důvodu obtížné modelace křídla s římsou byl vytvořen v programu MicrostationV8i model, kde bylo křídlo s římsou promítnuto do roviny opěry mostu. Tento model pak výrazně usnadnil následné modelování. Při modelování bylo využito komponenty na místě typu stěna, jež byla vytvořena přechodem. Při přechodu byla jako horní část použita ta část křídla, která se přimyká k samotné opěře. Spodní část tvořila promítnutá odvrácená část křídla do roviny opěry.



Obr. 19: Tvorba křídla v softwaru Revit 2020

10.2.2 Tvorba kolejí

Tvorba kolejí proběhla s využitím rodiny kategorie nosník, který zajistil umístění začátku a konce do dvou odlišných výšek. Kde rodinu tvořily dva kolejnicové pásy, u kterých byla možná měnit délku. Rozstup od pojízdných hran kolejnic byl 1435 mm, tudíž se rovnal normálnímu rozchodu kolejí. Tvar kolejnice byl přibližně tvarován dle širokopatní kolejnice 60 E1.

Pro tvorbu pražců byla využita kategorie prvků zábradlí. Zábradlí bylo použito z důvodu, že ho tvoří pravidelně opakující se sloupky a madlo zábradlí. Odstraněním madla a nahrazením sloupků modelem pražce, vytvořeným jako rodina typu sloupek zábradlí, vznikl objekt, který umožňoval rychlou a efektivní tvorbu pražců. V místech výhybek byla použita rodina univerzálního pražce, který měl schopnost měnit velikost, dle potřeby tak, aby co nejreálněji ztvárnil skutečný stav. Všechny vytvořené rodiny jsou obsaženy v příloze 05.4.4_Revit_rodiny

10.3 Tvorba terénu

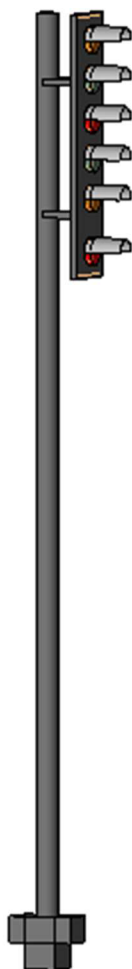
Tvorba terénu byla výrazně usnadněna existencí podkladového výkresu pro terén v programu MicrostationV8i. Nejdříve byl tento výkres připojen s postupem popsáním kapitole 10.1.3. Následně byl terén vymodelován pomocí *Objemy a pozemek – Povrch terénu – Vytvořit z importu – Vybrat instanci importu*. Kde byla jako instance vybrán importovaný výkres. Dále byla vybrána příslušná vrstva části terénu, který měl být modelován. Zvlášť byl tvořen terén šterkového lože, řeky a 4 strany terénu, které rozdělovala řeka a železniční svršek. Následně byl terén rozdělen na dílčí části pomocí *Objemy a pozemek – rozdělit pozemek*. Rozdělením byly osamotněny plochy cest, travnatých porostů a dlažeb. Posléze bylo přistoupeno k závěrečné úpravě terénu, kdy byly body tvořící terén mazány, nebo naopak přidávány tak, aby se terén co nejvíce přimyká skutečnému stavu. Úprava byla třeba především v místech terénních hran, pat, žlabů a křídel.

Z důvodu, že plocha tvořící řeku byla v některých částech propadlá po březích nebo naopak vyvýšená, byla plocha vyrovnána.

10.4 Tvorba technických zařízení

Na železničním svršku se nachází spousta technických zařízení sloužících k provozování drážní dopravy. Základní sada rodin, kterou obsahuje Revit 2020, po instalaci slouží primárně pro tvorbu modelů budov, a tak pro potřeby tvorby modelu železnice bylo potřeba tyto rodiny vytvořit. Rodiny byly tvořeny co nejvíce dle předpisu M20-MP005 přílohy B. Rodiny byly tvořeny pomocí různých šablon, přičemž záleželo na typu tvořeného objektu. V případě sloupů trakčního vedení a osvětlovacích věží bylo využito šablony pro sloup.

Semaforey a osvětlovací stožáry byly vytvořeny s pomocí šablony osvětlovací tělesa. Pomocí šablon pro elektrická tělesa byly vytvořeny rodiny pro elektrické technické zařízení, šablony pro mechanické zařízení posloužily k vytvoření např. přestavníku. Ostatní rodiny byly vytvořeny dle šablony *Obecný model* jako například námezník. Umístění do modelu proběhlo pomocí *Architektura-Komponenta-Umístit komponentu*. Následně po umístění byly doplněny popisné informace k objektu.



Obr. 20: Rodina – návěstidlo stožárové

10.5 Export do software Unreal Engine

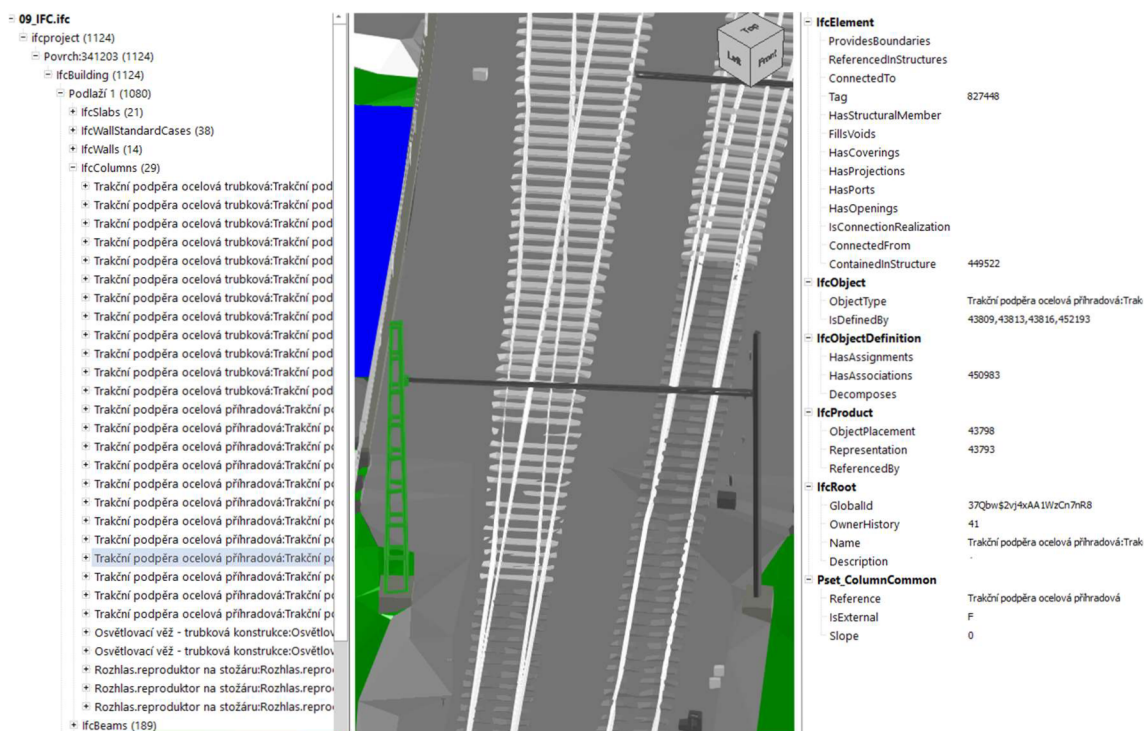
Export modelu ze softwaru Revit2020 byl proveden pomocí doinstalovaného modulu Datasmith. Tento plugin byl stažen ze stránek www.unrealengine.com.

Tento modul slouží pro export zapnutého 3D modelu. Exportovaný soubor je ve formátu *.udatasmith*, který obsahuje všechny objekty včetně materiálu.

10.6 Export do formátu IFC

V softwaru Revit 2020 byl model také exportován do výměnného formátu IFC.

Soubor byl otevřen v aplikaci Open IFC Viewer 23.4. Formát IFC obsahoval geometrické a popisné údaje o modelu. Vyexportovány byly prvky podle jejich vlastností. Zvlášť do skupin podlahy, stěny, sloupy, nosníky, elektrické zařízení, zábradlí a ostatní stavební prvky.

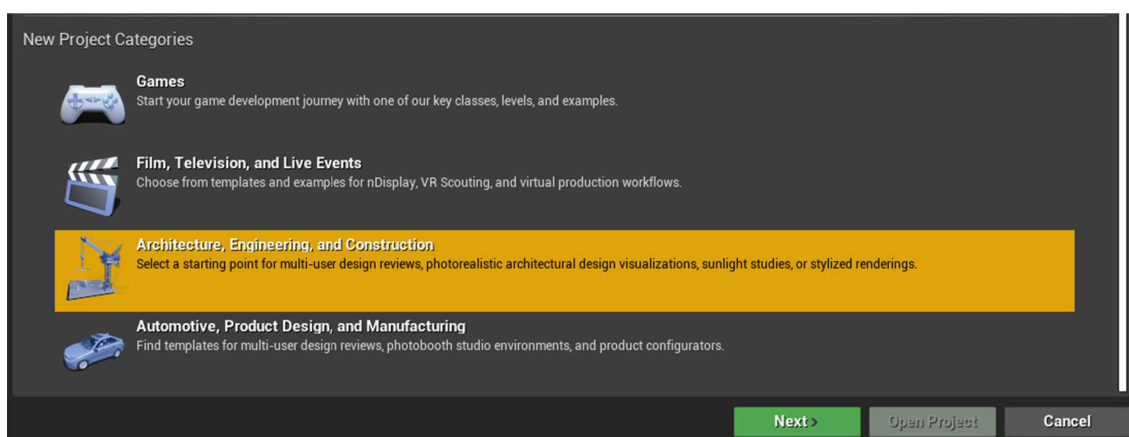


Obr. 21: Ukázka otevřeného souboru .ifc

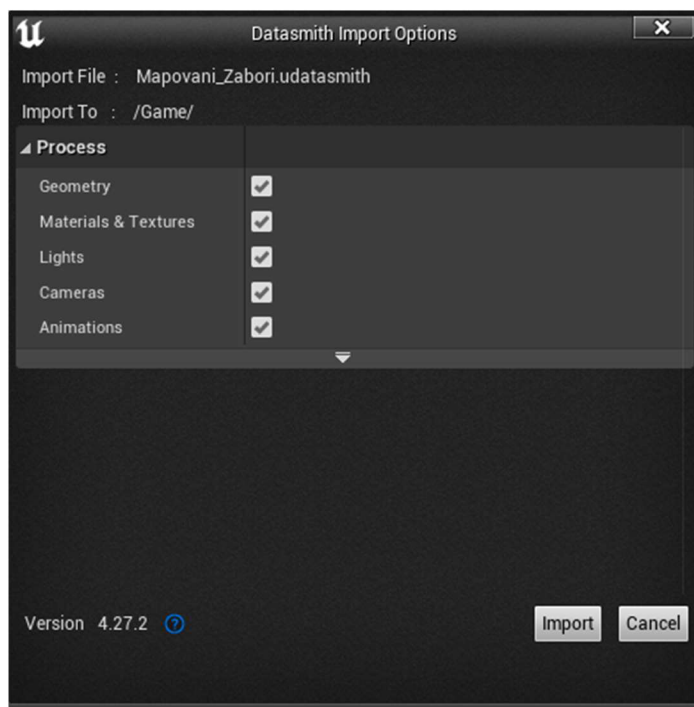
11 TVORBA MODELU V SOFTWARE UNREAL ENGINE

11.1 Import modelu do softwaru

Po spuštění Unreal Engine 4.7.2 jsem založil nový architektonický projekt s prázdnou šablonou. Následně jsem provedl import modulu ze softwaru Revit 2020, opět pomocí modulu Datasmith. Kliknutím na ikonu modulu, vybráním vyexportovaného souboru a potvrzením tlačítka import byl model naimportován do prostředí Unreal Engine



Obr. 22: Založení projektu v softwaru Unreal Engine

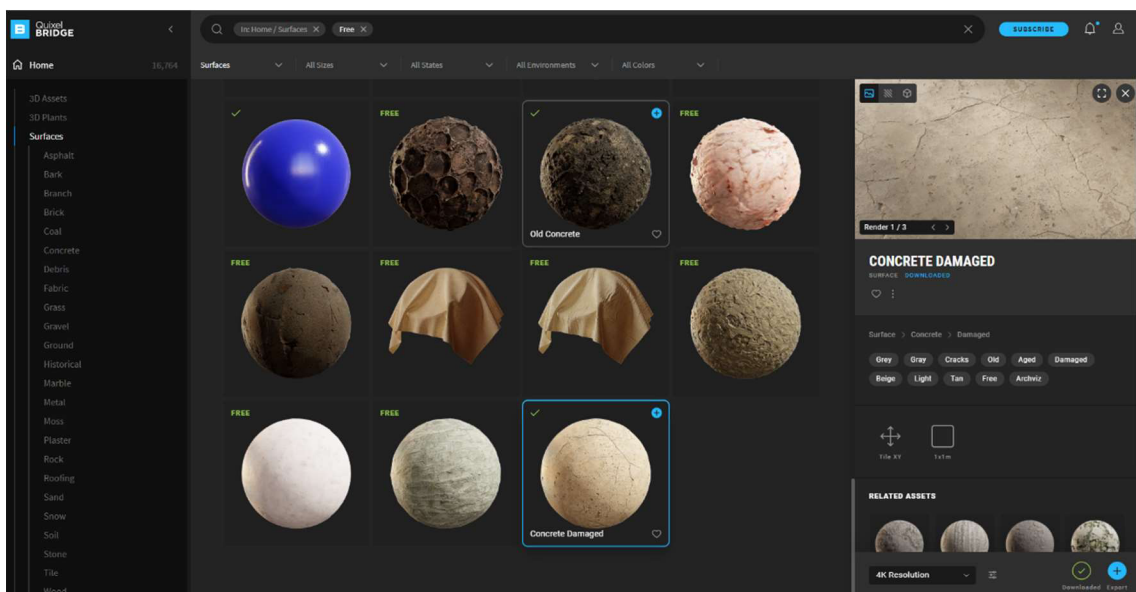


Obr. 23: Import přes Datasmith

11.2 Tvorba materiálu

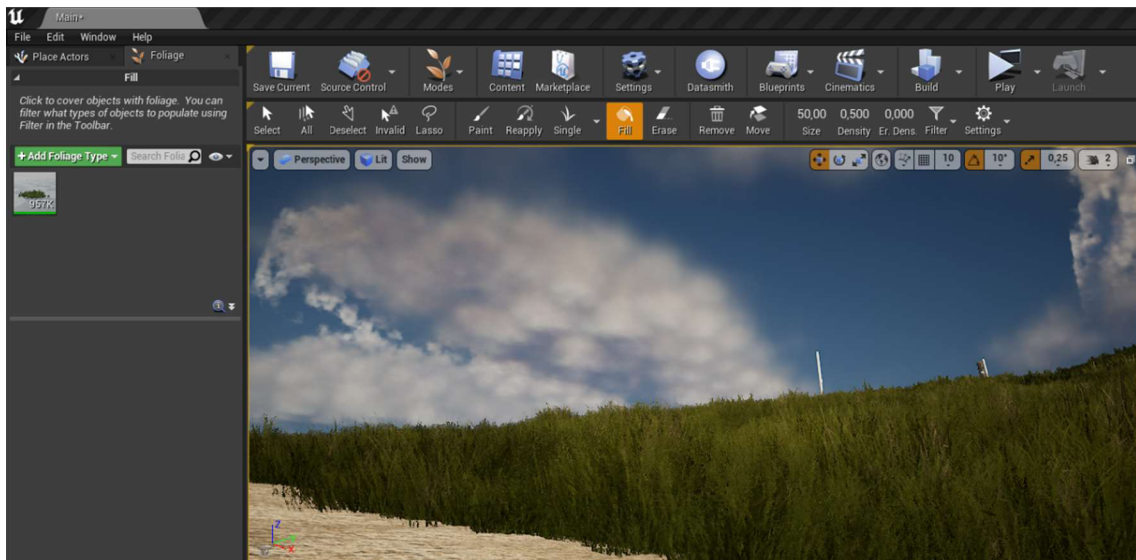
Unreal Engine po založení projektu nabízí několik základních materiálů, které ovšem pro potřeby vytvoření celého modelu nestačí. Proto byla nejvíce náročnou částí práce tvorba potřebných materiálů. Byla potřeba zajistit, aby materiály vypadaly co nejvíce realisticky a přesvědčivě. Proto byly vytvořeny další nové materiály různými způsoby. Nejčastěji stačilo upravit nějaký základní materiál nahráním jiných, realističtějších textur. Dalším způsobem je užití variace textur, která spočívá v opakování stejné textury v různém měřítku, což způsobí rozbití textury a přidá do ní náhodné skvrny.

Další možnost je stažení už vytvořených materiálů. Jedna z variant, jak stáhnout materiály je přes stránky www.quixel.com/ pomocí aplikace Bridge. Aplikaci bylo nejdříve potřeba správně nainstalovat a poté byl v této aplikaci nalezen požadovaný materiál a přes tlačítka *download* a následně *export*, byl materiál přidán do projektu v Unreal Enginu.



Obr. 24: Stažení materiálu přes aplikaci Bridge

Pro trávu byl použit již před vytvořený materiál, ale následně byl povrch doplněn přes panel *Model – Foliage – Fill* 3D modelem trávy. Technická zařízení byly tvořena materiály celé včetně textur.



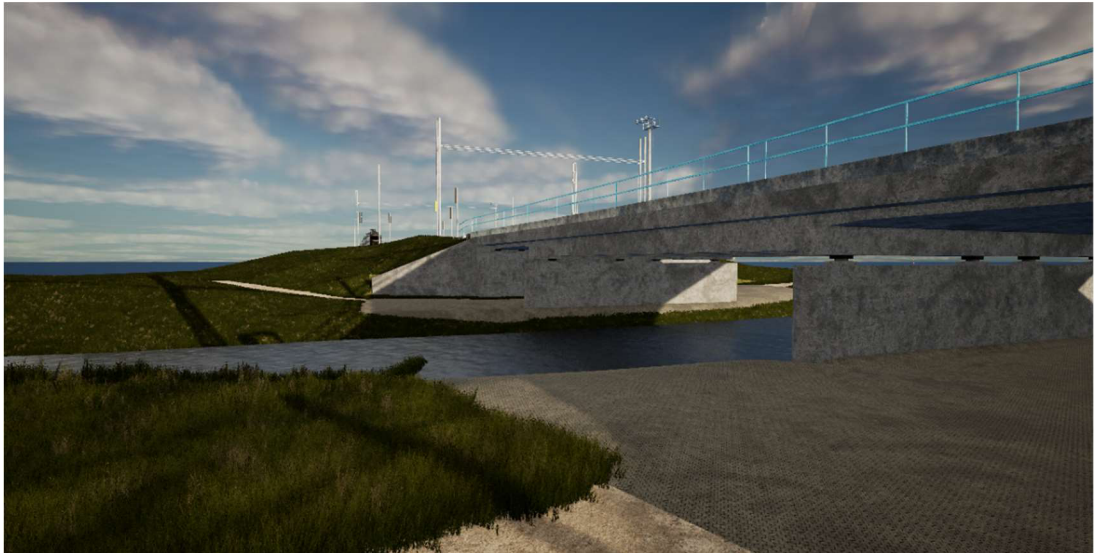
Obr. 25: Tvorba trávy v softwaru Unreal Engine

11.3 Vytvoření animace

Před započítím tvorby animace, bylo třeba nastavit osvětlení modelu. Nastavení proběhlo přes *Sunsky*, kde byla přenastavena intenzita světla a další parametry. Využito bylo také toho, že software Unreal Engine umožňuje také měnit pozici světla (slunce) na základě zadání datumu a času.

Do modelu byl doplněn také model vlaku, který byl stažen ze stránek www.cgtrader.com ve formátu .obj. Vloženému modelu bylo upraveno měřítko a byl přesunut na kolej. Materiál vlaku byl zesvětlen, protože originální textura byla příliš tmavá.

Následovalo vytvoření animace a screenshotu, které jsou součástí přílohy číslo 10. Animace byly doplněny o zvukové efekty stažené ze stránek www.freesound.org/



Obr. 26: Most v Unreal Enginu

12 ZÁVĚR

Finálním výstupem této práce je model zachycující stav zhlaví a záhlaví železniční stanice k prvnímu čtvrtletí roku 2021.

Tvorba modelu v softwaru Revit 2020 byla složitější z důvodu, že tento program není určen primárně k tvoření modelů liniových staveb, ale slouží spíše ke tvorbě modelů budov. V možnostech softwaru je vymodelovat všechny prvky podléhající předmětu měření a doplnit patřičné negeometrické informace. Důležitá byla možnost zobrazit prostorovou polohu koleje. Tento výstup by mohl být použit jako pilotní projekt pro správu železnic v zavádění BIMu. Model obsahuje také objekty, které jsou pro potřeby BIMu na železničních zbytečné. Tyto prvky slouží výhradně pro potřeby co nejvíce realistické vizualizace v programu Unreal Engine (jedná se například o železniční pražce).

Práce v Unreal Enginu v porovnání s tvorbou UŽM v prostředí softwaru MicrostationV8i s nadstavbou MGEO, byla časově delší, avšak její výstup poskytuje velmi realistický pohled na zobrazovanou lokalitu, a i pro laika, není problém se v modelu zorientovat.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BIM	Informační model stavby
Bpv	Výškový systém baltský po vyrovnání
CAD	Computer aided design
CDE	Common Data Environment
CSP	Cizí právní subjekt
CZEPOS	Síť referenčních stanic ČUZK
ČSN	Česká státní norma
ČUZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
dgn	Formát výkresů produktů firmy Bentley
dwg	Formát výkresů produktů firmy Autodesk
dxf	Formát výkresů produktů firmy Autodesk
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
Ifc	Industry Foundation Classes – univerzální formát BIM
MIB	Magnetické informační body
obj	formát souboru s definicí geometrie
PS	Primární systém
RTK	Real Time Kinematic
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SS	Sekundární systém
SŽ	Správa železnic
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
txt	Formát textového souboru
UŽM	Účelová železniční mapa
ŽBP	Železniční bodové pole
ŽDC	Železniční dopravní cesta

- [10] SPRÁVA ŽELEZNIC. *MP20/MP007 – Železniční bodové pole*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vnitni-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>
- [11] GEOTRONICS PRAHA, s.r.o. *Technický popis: Totální stanice Trimble S5 5" DR PLUS*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022516-153A_CZE_TrimbleS5_DS_0515_LR_Geotronics.pdf
- [12] TRIMBLE. *Trimble® CU Uživatelská příručka*. Leden 2005
- [13] GEOTRONICS PRAHA, s.r.o. *Technický popis: Technický popis: GNSS přijímač Trimble R6*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: https://www.geoobchod.cz/resources/products_documents/1382085131_trimble_r6gnss_cz.pdf
- [14] GEOTRONICS PRAHA, s.r.o. *O síti VRS Now*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: https://geotronics.cz/produkty/gnss-korekce/o-siti/?gclid=EAIaIQobChMIhNijvbjp9wIVEdN3Ch3doQHREAAAYASAAEgI4E_D_BwE
- [15] SPRÁVA ŽELEZNIC. *M20/MP006 – Opatření k zaměřování objektů železniční dopravní cesty*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vnitni-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>
- [16] GROMA.cz. *groma*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <http://www.groma.cz/cz/>
- [17] GISOFT.cz. *MicroStation*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/MicroStation>
- [18] WIKIPEDIE.CZ. *Revit*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Revit>
- [19] WIKIPEDIE.CZ. *Unreal Engine*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine
- [20] NA ZDI.cz. *Sdílené souřadnice v REVITU*. [online]. [cit. 20.5.2022]. Dostupné z: <https://www.nazdi.cz/2014/04/sdilene-souradnice-v-revitu.html>

15 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

15.1 Seznam použitých obrázků

Obr. 1: Životní cyklus stavby [zdroj podkladu: www.tzb-info.cz].....	12
Obr. 2: Mapa lokality [zdroj podkladu: www.cuzk.cz]	14
Obr. 3: Průkaz pro vstup do provozované ŽDC	16
Obr. 4: Ukázka osvědčení o odborné způsobilosti G-01	16
Obr. 5: Totální stanice Trimble S5 5" DR plus [zdroj podkladu: www.geotronics.cz]..	18
Obr. 6: GNSS přijímač Trimble R6 [zdroj podkladu: www.alibaba.com]	19
Obr. 7: Rozchodka	20
Obr. 8: Trigonometrické určení výšky	21
Obr. 9: Přehledný náčrt bodového pole a pomocné měřické sítě	23
Obr. 10: Podrobné měření	24
Obr. 11: Měření osy kolejí	25
Obr. 12: Schéma měření výhybky	26
Obr. 13: Ověření souřadnic stanic Trimble	26
Obr. 14: Modul Groma v softwaru Microstation V8i	33
Obr. 15: Model mostu v prostředí Microstation V8i	34
Obr. 16: Založení projektu v softwaru Revit 2020	35
Obr. 17: Definice podlaží v softwaru Revit 2020	36
Obr. 18: Betonová patka sloupu trakčního vedení v softwaru Revit 2020	37
Obr. 19: Tvorba křídla v softwaru Revit 2020.....	38
Obr. 20: Rodina – návěstidlo stožárové.....	40
Obr. 21: Ukázka otevřeného souboru .ifc	41
Obr. 22: Založení projektu v softwaru Unreal Engine.....	42
Obr. 23: Import přes Datasmith	42
Obr. 24: Stažení materiálu přes aplikaci Bridge	43
Obr. 25: Tvorba trávy v softwaru Unreal Engine	44
Obr. 26: Most v Unreal Enginu	45

15.2 Seznam použitých tabulek

Tab. 1: Vybrané technické parametry Trimble S5 5" DR plus [11]	18
Tab. 2: Vybrané parametry Trimble R6 [13].....	19
Tab. 3: Tabulka nejpoužívanějších kódů	28

16 SEZNAM PŘÍLOH

- 01_Technicka_zprava.pdf*
- 02_Zapisniky
 - 02.1_Originalni
 - 02.1.1_szdc_020321_AP.sdr*
 - 02.1.2_szdc_030321_AP.sdr*
 - 02.1.3_szdc_030321_FP.sdr*
 - 02.2_Editovane
 - 02.2.1_szdc_02-030321_AP.mes*
 - 02.2.2_szdc_030321_FP.mes*
- 03_Protokoly
 - 03.1_Protokol_vyrovnani_site.txt*
 - 03.2_Protokol_vypoctu_PB.txt*
 - 03.3_Precislovani_PB.txt*
 - 03.4_Protokol_GNSS_mereni.pdf*
 - 03.5_Precislovani_GNSS_mereni.txt*
- 04_Seznamy_Souradnic
 - 04.1_YXH_DB.txt*
 - 04.2_YHX_NB_neopravena_vyska.txt*
 - 04.3_Prepocet_vysky_na_osu.xlsx*
 - 04.4_YXH_NB.txt*
- 05_Vykresy
 - 05.1_Body.dgn*
 - 05.1_Body.dwg*
 - 05.2_Mapovani_Zabori.dgn*
 - 05.2_Mapovani_Zabori.dwg*
 - 05.3_Mapovani_Zabori_topografie.dgn*
 - 05.3_Mapovani_Zabori_topografie.dwg*
 - 05.4_Datove_soubory
 - 05.4.1_SZDCSeed2018_Z2.dgn*
 - 05.4.2_SZDCZnacky2018_Z2.cel*
 - 05.4.3_SZDCCary2018_Z2.rsc*
 - 05.4.4_Revit_rodiny.zip*

05.5_Mapovani_Zabori.rvt*

06_Kalibracni_listy

06.1_kalibrace_S5_37011288_2012.pdf*

06.2_kalibrace_S5_37120722_2101.pdf*

07_Porovnani_souradnic

07.1_Testovani_presnosti_na_ID_bodech.xlsx*

07.2_Porovnani_GNSS_mereni.xlsx*

08_IFC.ifc*

09_Revit_pohledy

09.1_Pohled_severovychdوني.jpg

09.2_Pohled_zapadni.jpg

09.3_Pohled_jihozapadni.jpg

09.4_Detail_oper.jpg

09.5_Mostni_lozisko.jpg

10_Unreal_Engine_vystupy

10.1_Pohled_severovychodni.jpg

10.2_Pohled_zapadni.jpg

10.3_Most.jpg

10.4_Detail_oper.jpg

10.5_Mostni_lozisko.jpg

10.6_Most.mp4*

10.7_Zeleznicni_svrsek.mp4*

10.8_Vlak.mp4*

Poznámka: * označuje přílohy, které jsou odevzdány pouze elektronicky