

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D model skutečné a historické podoby hradu Pajrek

3D model of real and historical form of ruin Pajrek

Vedoucí práce Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Katedra geomatiky

2021

Bc. Jan Štuiber

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štuiber	Jméno: Jan	Osobní číslo: 440794
Zadávající katedra: K155 - Katedra geomatiky		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie a kartografie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: 3D model skutečné a historické podoby hradu Pajrek	
Název diplomové práce anglicky: 3D model of real and historical form of ruin Pajrek	
Pokyny pro vypracování: - Zaměřit kombinací laserového skenování a fotogrammetrie hrad Pajrek - Zpracovat měření do meshového modelu s texturou - Optimalizovat model pro vizualizaci v internetových prohlížečích - vymodelovat historickou podobu hradu Pajrek - vhodně vizualizovat skutečný a historický model	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 15. 2. 2021	Termín odevzdání diplomové práce: 16. 5. 2021 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

15.2.2021	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou 3D modelu skutečné a historické podoby hradu Pajrek a jejich vizualizací. Obsahem práce je zaměření hradu pomocí kombinace metod laserového skenování a fotogrammetrie. Naměřená data zpracovat do texturovaného mesh modelu a na základě tohoto modelu a historických podkladů vytvořit model zobrazující historickou podobu hradu Pajrek. Oba modely vizualizovat na webovém prohlížeči a pomocí mobilní aplikace.

Při zpracování této práce bylo použito několik programů především pak program Reality Capture, pro tvorbu skutečné podoby hradu Pajrek a program Blender, pro vymodelování historické podoby hradu.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D model, laserové skenování, fotogrammetrie, UAV, mesh model, textura, Pajrek, historická podoba

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the creation of a 3D model of the real and historical form of the Pajrek castle and their visualization. The content of this thesis is measurement of the castle using a combination of laser scanning and photogrammetry. The measured data processed into a textured mesh model and on basis of this model and historical data create a model showing the historical form of the Pajrek castle. Both models visualize on web browser and on mobile application.

During the processed of this thesis were used several softwares. Mainly the Reality Capture software for creation of real form of the Pajrek castle and the Blender software for creation of historical form of the Pajrek castel.

KEY WORDS

3D model, laser scanning, photogrammetry, UAV, mesh model, texture, Pajrek, historical form

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *3D model skutečné a historické podoby hradu Pajrek* vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne

.....
Jan Štuiber

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Davidovi Zahradníkovi za odborné vedení této diplomové práce a za jeho cenné rady, trpělivost a vstřícnost.

SEZNAM ZKRATEK

UAV	Unmanned Aerial Vehicle
CMOS	Complementary metal-oxide semiconductor
CCD	Charge-couple device
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Integrated Navigation System
GPS	Global Positioning System
ISO	Citlivost fotografické vrstvy
SfM	Structure from Motion
EV	Exposure Value
WFD	Waveform Digitizing

1. ÚVOD.....	10
2. HRAD PAJREK	11
2.1. POPIS HRADU.....	11
2.2. HISTORIE.....	12
3. POUŽITÉ METODY PRO SBĚR DAT.....	13
3.1. POZEMNÍ FOTOGRAMMETRIE	13
3.1.1. Metody a princip snímkování.....	13
3.1.2. Druhy pozemních fotogrammetrických komor.....	14
3.1.3. Faktory ovlivňující přesnost snímkování	17
3.2. LETECKÁ FOTOGRAMMETRIE.....	17
3.2.1. Metody a princip snímkování.....	19
3.2.2. Druhy měřičských komor a nosičů	19
3.2.3. Faktory ovlivňující přesnost snímkování	21
3.3. LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	21
3.3.1. Metody a princip laserového skenování.....	22
3.3.2. Druhy laserových měřičských přístrojů	24
3.3.3. Faktory ovlivňující přesnost skenování	26
4. ZAMĚŘENÍ HRADU.....	28
4.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE	28
4.1.1. Nikon D3100	28
4.1.2. Xiaomi Mi Note 10.....	29
4.1.3. DJI Mavic Mini	29
4.1.4. Leica BLK 360	30
Tab. 1 Možnosti nastavení rozlišení skeneru BLK 360.....	31
4.2. REKOGNOSKACE TERÉNU A PŘÍPRAVNÉ PRÁCE.....	31
4.3. SNÍMKOVÁNÍ POMOCÍ POZEMNÍ FOTOGRAMMETRIE.....	32
4.4. SNÍMKOVÁNÍ POMOCÍ LETECKÉ FOTOGRAMMETRIE.....	33
4.5. POZEMNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	34
5. ZPRACOVÁNÍ	35
5.1. POUŽITÝ SOFTWARE	35
5.1.1. Adobe Photoshop Lightroom	35
5.1.2. Leica Cyclone.....	36
5.1.3. Reality Capture.....	37
5.1.4. Blender	37
5.1.5. Meshmixer.....	38

5.2.	TVORBA MODELU SKUTEČNÉ PODOBY HRADU	39
5.2.1.	Registrace mračna bodů	39
5.2.2.	Úprava pořízených snímků.....	40
5.2.3.	Tvorba modelu	40
5.2.4.	Úprava modelu a export	43
5.3.	TVORBA MODELU HISTORICKÉ PODOBY HRADU PAJREK.....	44
5.3.1.	Vymodelování hradu a okolí	44
5.3.2.	Tvorba textur	47
5.3.3.	Tvorba animace	48
6.	VIZUALIZACE MODELŮ	50
6.1.	WEBOVÝ PROHLÍZEČ	50
6.2.	MOBILNÍ APLIKACE	51
7.	ZÁVĚR	52
	POUŽITÉ ZDROJE.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	57
	SEZNAM TABULEK	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

1. Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvoření a vizualizace dvou 3D modelů hradu Pajrek. První model zobrazuje skutečnou podobu hradu a vznikl zpracováním dat zaměřených pomocí laserového skenování kombinovaným s měřením pozemní a letecké fotogrammetrie. Na základě prvního modelu spolu s historickými podklady byl vytvořen druhý model hradu, který zobrazuje jeho historickou podobu.

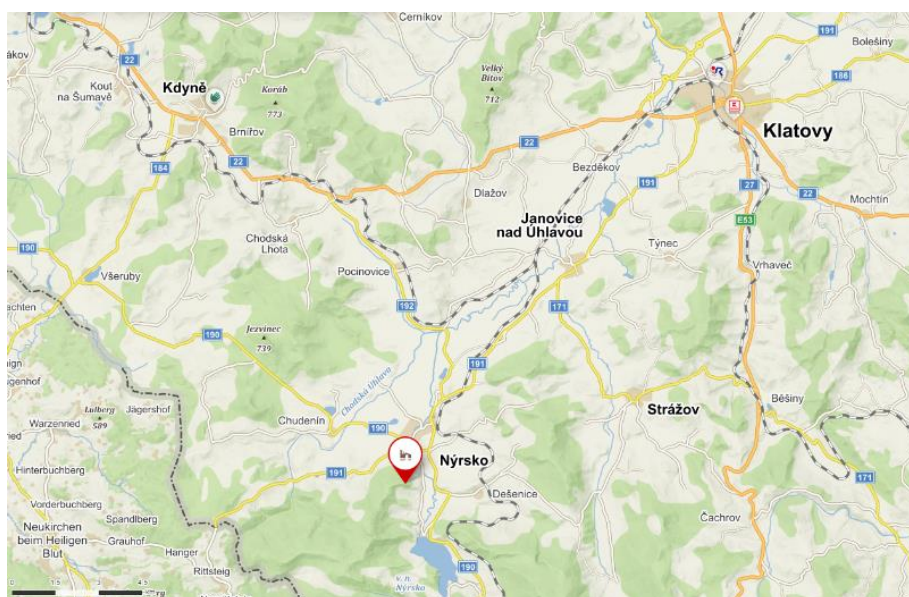
První částí diplomové práce je seznámení s lokalitou a historií hradu Pajrek, který byl předmětem měření. Druhá a třetí část práce se zabývá metodami použitými pro zaměření hradu a pracovním postupem při samotném zaměření objektu. V následujících částech jsou představeny softwary, které byly použity při zpracování modelů. Dále je popsáno, jak byla naměřená data zpracována a jakým způsobem byla vymodelována historická podoba hradu. Poslední část práce se zabývá vizualizací modelů.

2. Hrad Pajrek

V této kapitole je uveden stručný popis hradu a jeho zeměpisná poloha. Dále zde bude uvedena jeho historie.

2.1. Popis hradu

Hrad Pajrek stojí na severním výběžku hory Hraničář v nadmořské výšce 617 metrů, přibližně dva kilometry od města Nýrsko. Nýrsko se nachází v Plzeňském kraji v okrese Klatovy zhruba deset kilometrů od německých hranic a třicet kilometrů od města Klatovy.



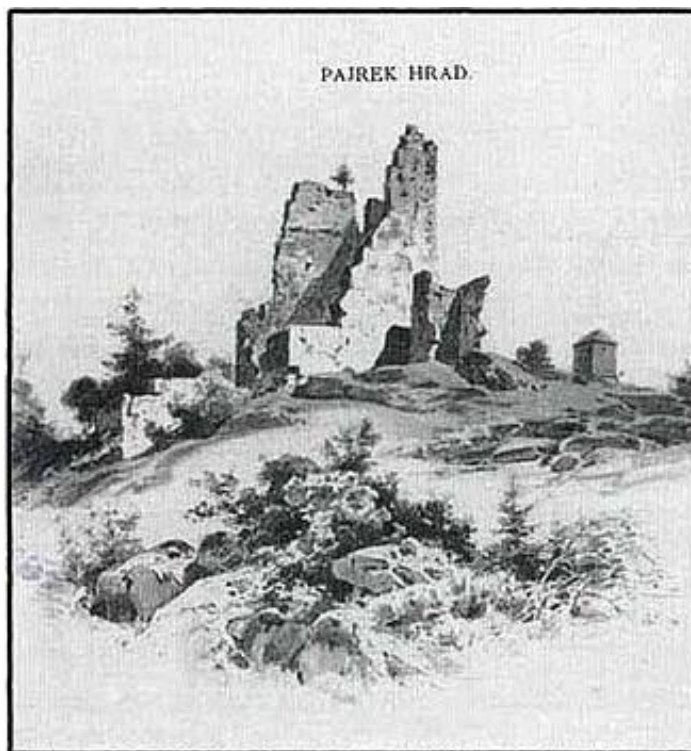
Obr. 1: Lokalizace hradu Pajrek [3]

Hrad byl postaven v první polovině čtrnáctého století v gotickém slohu za účelem obrany proti Bavorům. Jeho hlavní částí je donjon, který se svým půdorysem přibližně 16 x 16 metrů patří mezi nejrozměňší věže v Česku. Hlavní věž dosahovala až čtvrtého podlaží a tloušťka zdí se pohybuje od 2,4 do 1,5 metrů, kde toto zúžení zdí je způsobeno kvůli prostoru pro uložení konstrukčních prvků podlaží. K vyrovnání členitého skalnatého terénu, na kterém je Pajrek postaven, sloužilo celé první podlaží. Na západní straně hradu se nachází vstupní otvor do druhého podlaží. Kromě hlavní věže se na místě nachází pozůstatky menší věžovité stavby a částečné základy hradebního opevnění. Dále se na západní a východní straně nachází částečně zasypané příkopy. Pajrek je od roku 1964 chráněn jako kulturní památka.[1]

2.2. Historie

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1. *Popis hradu*, hrad byl postaven v první polovině čtrnáctého století pány z Janovic. Svě jméno nese z Bavorského *Baiereck*. Hrad byl v držení Něpra a Ondřeje z rodu Janovských z Janovic až do počátku patnáctého století. Poté Pajrek vlastnili tři bratři Tomáš, Jan a Václav z rodu Janovských z Janovic, přičemž Jan jako nejstarší ze tří bratrů hrad spravoval. V začátcích husitských válek byl Jan spolčen s Janem Žižkou až do roku 1426, kdy se spojil s katolickým vojskem z Bavorska a Švábska, kterému umožnil průchod kolem hradu. Katolické vojsko postoupilo až do okolí Klatov. V momentě, kdy husité získávali převahu, se Jan opět spolčil s husity.

Další historie hradu se váže k Rackovi, který byl synem Tomáše. Rackovi odkázal jeho strýc Václav svůj podíl, tím byl Racek držitelem poloviny hradu. Druhou polovinu hradu mu prodali jeho bratřenci Ondřej a Břeněk, kteří byli synové Jana. Racek se stal klatovským hejtmanem a roku 1467 porazil bavorské křižáky v bitvě u Nýrska. O pět let později vtrhli Bavoři do Čech a hrad dobyli a vypálili. Hrad opravil až roku 1512 jeho nový majitel Jindřich Kostomlatský z Vřesovic, který byl později obviněn jako zemský škůdce, neboť jeho posádka loupila v okolí hradu. Po dobytí hradu královskými městy byl Jindřich převezen na Pražský hrad, kde byl s'at. Hrad zůstal v držení rodu Kateřiny Kocové z Dobše, vdovy po popraveném, až do roku 1556. Od té doby je hrad uváděn jako pustý.[2]



Obr. 2: Ukázka hradu Pajrek z roku 1840 [4]

3. Použité metody pro sběr dat

Tato kapitola se zabývá technologiemi, které byly použity při zaměření hradu. Jedná se o pozemní a leteckou fotogrammetrii a laserové skenování. Ke každé technologii jsou uvedeny principy měření, typy přístrojů a vlivy, které mají dopad na přesnost měření.

3.1. Pozemní fotogrammetrie

Při pozemní fotogrammetrii probíhá pořizování snímků z pevného stanoviska, které lze geodeticky zaměřit. Oproti letecké fotogrammetrii nevyžaduje pozemní fotogrammetrie tak vysokou náročnost na technické a fotografické vybavení. Lze využít i delší expoziční časy a je méně náročná na stav počasí. Mezi nevýhody této metody patří zákryty snímkaných předmětů, kvůli kterým vznikají nevyhodnotitelné oblasti. Je proto vhodné provádět snímkování menších objektů, které jsou přibližně stejně vzdáleny od přístroje. Díky ostrosti snímků, které lze touto metodou pořídit, je vhodné ji využít k zachycení detailů na objektech. Pozemní fotogrammetrie lze využít např. ve stavebnictví k zaměření fasád či stavebních konstrukcí, k tvorbě 3D modelů, v památkové péči, kriminalistice, archeologii. [6]

3.1.1. Metody a princip snímkování

Pozemní fotogrammetrii můžeme rozdělit podle počtu vyhodnocovaných snímků na jednosnímkovou a vícesnímkovou. U jednosnímkové metody využíváme pouze jednotlivé měřičské snímky. Vzhledem k tomu, že na měřičském snímku lze měřit pouze rovinné souřadnice, budou i určované souřadnice předmětu rovinné. Z tohoto důvodu by měly být snímávané předměty rovinné, nebo rovinně blízké, jinak dochází k radiálním posunům podrobných bodů. Při této metodě může být použita libovolná komora, je však potřeba, aby vykazovala co nejmenší distorzi.

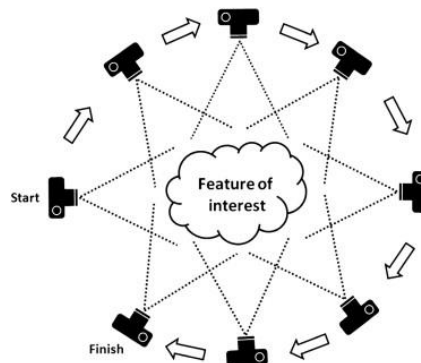
Vícesnímkovou fotogrammetrií jsou vyhodnocovány prostorové souřadnice objektu, a to minimálně ze dvou snímků. Aby bylo možné vyhodnocení provést je třeba, aby byl snímávaný předmět zobrazen na všech snímcích s dostatečným překrytím. Toho je docíleno tak, že je snímáno z různých stanovisek, kde vzdálenost mezi stanovisky je označována jako fotogrammetrická základna. Tento způsob vyhodnocení můžeme dále rozdělit na průsekovou metodu, stereofotogrammetrii a metodu SfM (Structure from Motion).

Průseková metoda patří mezi nejstarší fotogrammetrické metody. Poloha bodu je určena pomocí protínání v před z úhlů s konvergentními osami záběru. Fotogrammetrická základna je volena ideálně tak, aby se osy záběru protínaly pod co nejmenšími úhly. Toho lze docílit při volbě

co nejdlejší základny. K vyhodnocení je třeba minimálně dvou měřičských snímků, ale pro kontrolu a zpřesnění je vhodné pořídít snímků více. V současné době se používá digitální řešení.

Stereofotogrammetrické vyhodnocení je založeno na stereoskopickém vjemu. Pro kvalitní vyhodnocení stereodvojice je potřeba při pořizování snímků dodržet vhodnou délku základny a rovnoběžnost os záběru. Pokud by osy záběru nesplňovaly rovnoběžnost, je třeba snímky korigovat. Délka základny se obvykle volí jako 1/10 vzdálenosti od snímaného objektu. Prostorové souřadnice jsou vyhodnocovány na základě úhlové paralaxy. Současné vyhodnocovací systémy umožňují zpracovat téměř veškerý obrazový materiál.

SfM (Structure from Motion) je fotogrammetrická metoda, jejíž základy stojí na principech stereofotogrammetrie a průsekové metody. Objekt tak může být snímán kombinováním konvergentních a rovnoběžných os záběru. Díky tomu je snímání snazší a rychlejší. Výpočty geometrie i pozice a orientace kamery probíhají zcela automaticky. Výpočty jsou založeny na databázi prvků, které jsou automaticky získávány ze sady několika snímků, ideálně s vysokým stupněm překrytí. Tento způsob zpracování v podstatě kombinuje shodné body pořízené z různých míst a tím je zrekonstruována struktura celé scény. Není proto třeba znát vřícovací body. Nevýhodou této metody jsou vysoké nároky na výpočty. V této podkapitole bylo čerpáno z [5], [6] a [7].



Obr.3: Princip pořizování snímků metodou SfM [5]

3.1.2. Druhy pozemních fotogrammetrických komor

Klasické fotogrammetrické komory jsou čím dál častěji nahrazovány modernějšími přístroji, ovšem ne vždy dávají kvalitnější výsledky. Za měřičské komory považujeme takové komory, u kterých známe prvky vnitřní orientace. Měřičské komory můžeme rozdělit na komory s vodorovnou osou záběru, komory s naklonitelnou osou záběru, dvojité komory, speciální komory, réseau komory a digitální komory. V dnešní době lze při správném postupu, dostatečném počtu vřícovacích bodů a za pomoci kvalitního softwaru provádět většinu fotogrammetrických prací téměř jakoukoliv komorou. U přesných prací je potřeba provést kalibraci komory a je vhodné

využívat objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností, minimální distorzí a nepoužívat tzv. fisheye objektivy.

Komory s vodorovnou osou záměru se v dnešní době považují již za historické. Vzhledem k jednoduchosti přístroje je vhodné je využívat pro ukázkou principů fotografování. Nejznámějším představitelem těchto komor je fototeodolit PhoTheo.

Komory s naklonitelnou osou záběru typu UMK (*Universal Messungs Kammer*) ze závodu *Carl Zeiss Jena* byly jedny z nejrozšířenějších u nás. Tyto širokoúhlé univerzální měřičské komory disponují vysokou optickou kvalitou a byly navrženy hlavně pro oblast průmyslové a inženýrské fotogrammetrie. Hlavními představiteli těchto komor jsou UMK 10 a UMK 20.



Obr.4: Komora UMK 10 (vlevo) a UMK 20 (vpravo). [8]

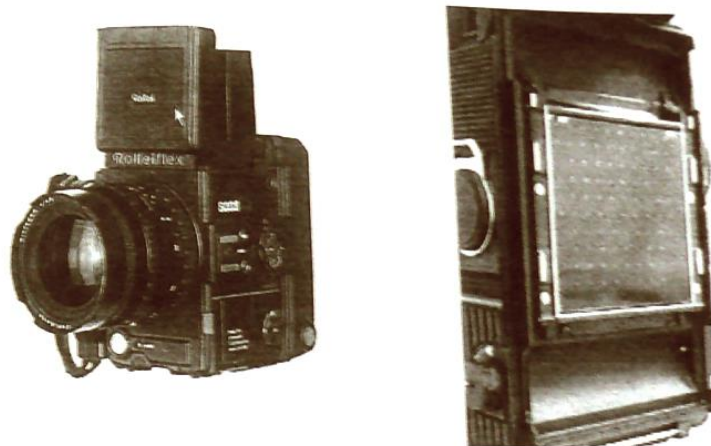
Dvojité komory jsou vyrobeny pro využití ve velmi blízké stereofotogrammetrii. Díky jejich vlastní pevné základně mají částečně normované prvky vnější orientace a orientace os záběru jsou kolmé ke směru základny. Komory byly vyráběny závody *Wild*, *Carl Zeiss Jena* a *Opton Oberkochen* a dělí se na komory prvního a druhého řádu.

Speciální komory nazývané také jednoúčelové komory se využívají pro zvláštní účely. Tyto kamery lze dělit podle jejich zaměření na balistické, kinofototeodolity, panoramatické a videokomory. **Balistické komory** se využívají pro určení drah střel, raket, letadel při startu a pro sledování dráhy umělých družic. Kamery mají extrémně vysokou optickou kvalitu a je třeba, aby byl určený přesný čas expozice. Objektivy by měly mít velkou světelnost a vysokou rozlišovací schopnost. Naopak je třeba, aby distorze objektivu byla velmi nízká. **Kinofototeodolity** jsou konstruovány jako kombinace filmové komory a fototeodolitu. Využívají se k sledování rychlých dějů. Kinofototeodolit Askain Kth 58E, který byl vyráběn v Evropě, disponoval frekvencí 5 až 10 snímků za vteřinu. U modernějších komor dosahuje frekvence až 10 000 snímků za vteřinu. Toho je docíleno rotujícím zrcadlem nebo hranolem. **Panoramatické komory** byly určeny

k panoramatickému snímání. Komory byly tvořeny rotujícím objektivem a úzkou šterbinovou clonou, díky tomu bylo možné pořídit nedeformovaný panoramatický pohled.

Videokomory fungují na principu motorizované totální stanice, ke které jsou přidělané CCD kamery. Výsledkem snímání je panoramatická mozaika, která vznikne pomalou rotací přístroje. Díky známé kalibraci přístroje a klasickým měřením totální stanic lze jednotlivé snímky připojit do geodetického systému, bez potřeby speciálních vřícovacích bodů a bez fotogrammetrických orientací. Touto metodou lze provádět zaměření především liniových staveb.

Réseau komory jsou původně neměřické komory, do kterých je umístěna destička s referenční mřížkou. Ta je tvořena pravouhlou sítí křížků, které jsou od sebe stejně vzdáleny. Tím je definován souřadnicový systém a lze změřit snímkové souřadnice a deformace filmového materiálu, které jsou při vyhodnocování automaticky odstraňovány. U réseau komor jsou známy prvky vnitřní orientace a průběh radiální distorze, proto je řadíme mezi měřické komory, byť jsou svojí podobou a velikostí distorze blízké běžným fotografickým komorám.



Obr. 5: Ukázka filmové komory Rolleiflex 6006 (vlevo) a réseau mřížky (vpravo) [7]

Digitální komory přináší nové možnosti ve fotogrametrii. Výhodou digitálních komor je vysoká citlivost CCD prvků, díky kterým jsou možné expozice již od 1/8000s. Dále možnost okamžitě zhodnotit pořízený snímek, nebo vymazání nevhodných snímků. Důležitou výhodou je i digitální formát s čímž souvisí i možnost online zpracování snímků. Nevýhodou je spotřeba energie, čímž je omezeno jejich použití. Jako uložení dat může sloužit vestavěná paměť, kdy jsou data převáděna do počítače pomocí kabelu. Častěji se však setkáme s paměťovými kartami. Paměťovou kartu lze po naplnění její kapacity jednoduše vyměnit, nebo může být použita jedna karta pro více zařízení. Pro převod dat do počítače jsou využívány různé adaptéry, které lze vložit přímo do počítače. V dnešní době dosahuje kapacita paměťových karet až 256 GB. V této podkapitole bylo čerpáno z [7].

3.1.3. Faktory ovlivňující přesnost snímkování

Hlavním faktorem ovlivňující přesnost snímkových souřadnic jsou optické vady a distorze objektivu. Optické vady jsou v podstatě odchylky skutečného zobrazení od ideálního středového promítání. Distorze objektivu vzniká geometrickými nepřesnostmi způsobenými při výrobě objektivu. Toto zkreslení působí na geometrii zobrazení a tím z velké části ovlivňuje přesnost měření. Distorzi lze rozdělit na radiální a tangenciální. Distorzi je třeba odstranit zejména u přesných prací, nebo u objektivů s vysokými hodnotami distorze. Její určení probíhá pomocí analytických metod, nebo je určena přímo od výrobce. Dále je možné určit průběh distorze ve fotogrammetrickém softwaru za použití nadbytečného počtu měření na snímcích. [7]

3.2. Letecká fotogrammetrie

Je metoda, kdy se stanoviště snímání nenachází na zemském povrchu. K tomu je využíváno různých nosičů jako například letadel, vrtulníků, nebo bezpilotních prostředků. Oproti pozemní fotogrammetrii lze zachytit mnohem rozsáhlejší území. Toho je využíváno např. při mapování, sběru dat pro GIS a pro tvorbu digitálních modelů terénu, nebo povrchů. V dnešní době je čím dál více využíváno snímání pomocí UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) nosičů. Jedná se o bezpilotní letecký prostředek, který je pilotován manuálně na dálku, poloautomaticky nebo zcela automaticky.

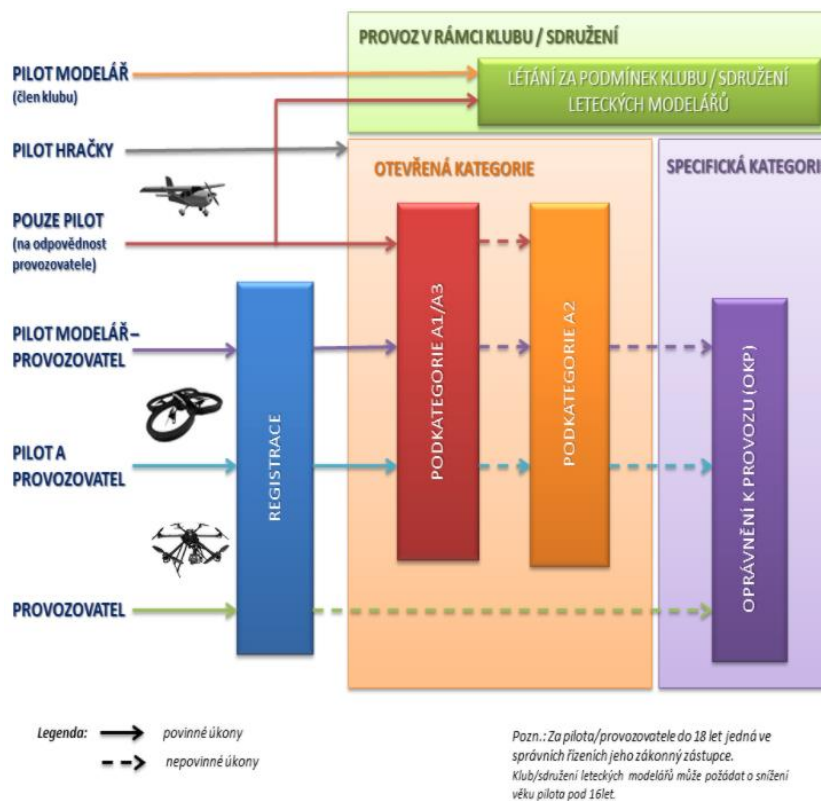
Při používání UAV systémů je důležité se řídit platnou legislativou. První oporu v zákoně získaly bezpilotní systémy 1.3.2012, kdy byl schválen doplněk X přepisu L2. Do této doby se smělo snímkovat jakékoliv území či objekty, pokud to nebylo výslovně zakázáno. Dne 31.12.2020 vešla v platnost jednotná legislativa v rámci Evropské unie, která reguluje provoz bezpilotních letadel. Mezi hlavní změny oproti předchozím nařízením patří povinnost registrace a rozdělení bezpilotních systémů do tří kategorií: *otevřená, specifická a certifikovaná*. Registrovat se a úspěšně složit zkoušku musí každý provozovatel bezpilotního systému. Zkouška a registrace se provádí online a je platná ve všech státech EU po dobu určenou na základě dané kategorie. Registrovat se nemusí provozovatel jehož zařízení váží méně než 250 g a zároveň nemá kameru, či jiný senzor, který je schopen zachycovat osobní údaje, nebo pokud se jedná o hračku pro děti do 14 let. Takové zařízení by mělo být označeno značkou CE a mělo by na něm být uvedeno, že odpovídá směrnici č. 2009/48/ES. Bepilotní zařízení lze provozovat v kategorii *otevřená*, jestliže je na zařízení umístěn štítek označující třídu C0 – C4, nebo je zhotoven soukromě a jeho hmotnost nepřesahuje 25 kg. Dále pokud nebude létat ve výšce vyšší než 120 m nad zemí a nebude přepravovat

nebezpečný náklad ani shazovat jakýkoliv materiál. Pokud se nejedná o přípustné výjimky, nesmí být takovéto zařízení používáno nad lidmi viz. *Obr. 6*.

Podkategorie „otevřená“ kategorie provozu	Štítek s označením třídy typu dronu
A1 Urbanistické oblasti, ale ne nad davy, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C0, C1
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 250 g a rychlostí < 19 m/s
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 500 g (do 1. ledna 2023) Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 250 g včetně paliva a užitečného zatížení. (od 1. ledna 2023)
A2 Urbanistické oblasti při udržování nejméně 30 m (ve zvláštních případech až 5 m) od lidí, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2 Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 2 kg (do 1. ledna 2023) (minimální vzdálenost od osob je v tomto případě navýšena na 50 m)
A3 Mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2, C3, C4
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 25 kg rychlost < 19 m/s
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg

Obr. 6: Podkategorie otevřené kategorie provozu [11]

Schéma povinných úkonů, které je potřeba provést, aby bylo možné užívat UAV systémy od 31. 12. 2020 je zobrazeno na *Obr. 7*.



Obr.7: Schéma povinných úkonů pro provoz bezpilotních systémů [11]

Závěr této podkapitoly se zabýval základními změnami v legislativě bezpilotních systémů a nejedná se o úplný přehled práv, povinností ani provozních možností. Podrobnější informace o nové legislativě jsou dostupné na [11]. V této podkapitole bylo čerpáno z [9],[10],[11],[12].

3.2.1. Metody a princip snímkování

Rozdělení metod leteckého snímkování se výrazně neliší od metod pozemního snímkování. Hlavní metodou leteckého snímkování je stereofotogrammetrie, či SFM.

Před samotným letem je podle stanoveného účelu a požadované přesnosti určena výška letu, přibližné měřítko a je vybrána vhodná komora. Při snímání je důležité, aby byly snímky pořízeny s dostatečným překrytím. Obvykle se překrytí volí mezi 60 % a 80 % v podélném směru a 20-40 % v příčném směru. Při využití UAV fotogrammetrie je doporučováno zvolit překrytí 80 % v příčném i podélném směru.

Plánování letu je důležitou součástí UAV fotogrammetrie. Většina softwarů připraví plán letu automaticky, na základě zadaných parametrů. Letový plán se skládá z letových bodů a trajektorie letu. Při průletu letovým bodem, o známých prostorových souřadnicích, je pořízen jeden či více snímků. Trajektorie letu je spojnici letových bodů. Aby bylo možné provést automatické navigování letu, je potřeba aby součástí UAV systému byla IMU, nebo GPS/INS jednotka. Jestliže nemá UAV systém žádnou navigační jednotku, je potřeba, aby let proběhl manuálně. [9], [13].

3.2.2. Druhy měřičských komor a nosičů

Nejzásadnějším rozvojem leteckých komor, byl příchod navigačních technologií jako je GPS/INS či IMU. Díky těmto technologiím lze v reálném čase určovat prostorovou polohu a orientaci měřičské komory. Na základě těchto údajů lze získat prvky vnější orientace, které byly dříve určovány až z měřičských snímků. Prvky vnější orientace rozumíme prostorové souřadnice projekčního centra a tří rotací, které určují polohu osy záběru vůči souřadnicovým osám.

Klasická letecká komora určena pro stereoskopické snímkování se skládá z objektivu, těla komory, uzávěrky, filtrů a závěsu. Snímky byly ukládány na filmové kazety, ale v dnešní době se již tyto kazetové komory nevyrobí.

Dnes jsou využívány digitální komory, které díky elektronickým prvkům, jako je CCD, CMOS nebo fotočlánek, převádějí obraz do digitální podoby. Tyto prvky pracují na základě převodu elektromagnetického záření na napěťový signál, který se vzorkováním převede na digitální výstup. Tento výstup je ukládán na paměťové médium.

Dalším typem komor jsou multispektrální a speciální komory. Filmové multispektrální komory byly využívány hlavně pro dálkový průzkum Země. Na jednom závěsu se nacházely

sestavy 3-12 komor, kde každá z komor fotografovala přes jiný filtr. Kromě různých filtrů byly kamery osazovány například panchromatickým, spektrozónálním či infračerveným filmem.

Jako nosiče leteckých komor lze využít, jak již bylo zmíněno, bezpilotní prostředky. Bezpilotní nosiče se nejčastěji dělí na motorové a nemotorové. Mezi nemotorové UAV nosiče patří například draci či balóny. **Draci** patří mezi jedny z prvních nosičů a byly využívány především pro SFAP (*Small Format Aerial Photography*). **Balóny** byly plněny nejčastěji heliem a jejich výhodou byla možnost snímkování z velkých výšek a bez vibrací, které způsobují motorové nosiče. Balóny byly závislé na povětrnostních podmínkách a pro jejich využití bylo třeba naprostého bezvětří. V dnešní době se již nevyužívají. Mezi motorové nosiče můžeme zařadit letadla/křídla, vzducholodě, vrtulníky nebo multikoptéry. **Vzducholodě** fungují na podobném principu jako balóny s tím, že jsou ovládány pomocí motorů. Jejich výhodou je dlouhý a klidný let. **Letadla/křídla** jsou v UAV fotogrametrii poměrně často využívána. Vzhledem k náročnosti ovládání se pro jejich navigaci nejčastěji využívá předem připravený letový plán. Letadla/ křídla jsou díky své rychlosti letu a větší výdrži vhodná pro mapování velkých ploch. Jejich vzlet probíhá z ruky, nebo z rampy. **Vrtulníky** mají výhodu v tom, že je lze udržet ve vzduchu na jednom místě. To poskytuje velkou výhodu při snímkování. Oproti letadlům/ křídlům je ovládání vrtulníků mnohem složitější a žádá si značnou praxi. **Multikoptéry** disponují všemi výhodami vrtulníků, ale jejich ovládání je mnohem snazší. Jejich konstrukce se vyznačuje různým počtem vrtulí, které mají stejnosměrné motory. Pohyb a stabilita multikoptérových systémů je zajištěna změnou tahu jednotlivých pohonných jednotek.

Bezpilotní nosiče mohou být ovládány pomocí dálkového zařízení, které se spojí s nosičem pomocí radiového, či Wi-Fi signálu. Součástí dálkových zařízení je display, kterým lze sledovat snímávaný obraz. Display může být pevně připojen k zařízení, nebo jej lze připojit externě (smartphone). V této podkapitole bylo čerpáno z [7],[9],[10],[14].



Obr. 8: Multikoptéra DJI Mavic2 Pro (vlevo) a křídlo eBee Plus (vpravo) [15]

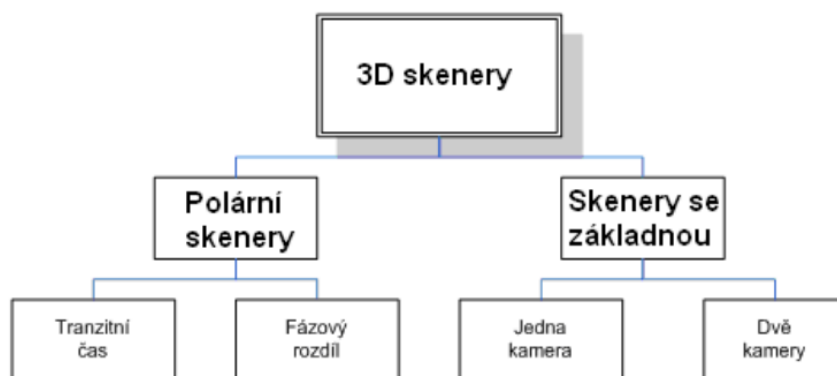
3.2.3. Faktory ovlivňující přesnost snímkování

Jedním z faktorů, které ovlivňují přesnost je rozlišovací schopnost, na základě které jsme schopni rozpoznávat jednotlivé prvky na snímku. Obecně platí, že čím blíže jsme ke snímanému objektu, tím přesněji jsme schopni rozpoznat jednotlivé prvky, kterými mohou být např. signalizační terče. Vliv na kvalitu snímků má i použitý snímač, díky kterému vzniká digitální obraz. Dalším nežádoucím faktorem, který ovlivňuje kvalitu snímku je smaz. Ten vzniká, pokud dojde při expozici k nežádoucímu pohybu komory, který může být způsoben například vibracemi nosiče. Smaz lze ovlivnit vhodnou volbou rychlosti nosiče či vhodným zkrácením expozičního času. Na výslednou přesnost má vliv i určení prvků vnitřní a vnější orientace. Prvky vnější orientace mohou být určeny pomocí navigačních technologií (GPS/INS či IMU), nebo na základě vlíčovacích bodů, které by měly být po snímaném objektu rozmístěny rovnoměrně. Pro přesné určení prvků vnitřní orientace se provádí kalibrace komor. Přesnost leteckého snímkování závisí i na meteorologických podmínkách jako je například silný vítr, déšť, nebo světelnost. Na kvalitu snímkování může mít vliv i roční období, pokud se na snímaném území nachází nežádoucí vegetace či sněhová pokrývka. [9], [13]

3.3. Laserové skenování

Laserové skenování je poměrně mladou metodou sběru dat. Laserovým skenováním jsou neselektivně určovány prostorové souřadnice, které jsou ukládány do paměti. Výsledkem skenování je mračno bodů. Výstupem zpracování mračna bodů může být 3D model, který je reprezentován trojúhelníkovými sítěmi (mesh), geometrickými primitivami (CAD model) a plochami s proměnlivou křivostí. Výhodou laserového skenování je rychlý sběr dat, který se u moderních přístrojů pohybuje v řádech milionů bodů za vteřinu. Dále lze pomocí této metody kvalitně zaměřit i členitější povrchy a díky velkému objemu dat získáváme podrobné informace o objektu, na základě kterých lze provádět různé prostorové analýzy.

Laserové skenovací systémy můžeme rozdělit podle umístění stanoviště na statické, nebo kinematické. Kinetické se dále dělí na pozemní a letecké. Dále lze skenovací systémy dělit podle typu měření na polární či triangulační. [9], [16]



Obr.9: Rozdělení laserového skenování podle principu měření [16]

3.3.1. Metody a princip laserového skenování

Polární skenery pracují na základě prostorové polární metody, kde je měřen horizontální a vertikální úhel a délka průvodiče k určovanému bodu. Délky jsou měřeny buď fázovými dálkoměry, nebo impulsními dálkoměry. Se vzrůstající vzdáleností lineárně klesá přesnost měření délek. Polárních skenerů je využíváno v geodézii, stavebnictví a příbuzných oborech.

Fázové dálkoměry fungují na principu fázového rozdílu vln. Z dálkoměru je vyslána amplitudově modulovaná vlna o známé délce, která se po odrazu od měřeného objektu vrací s opačnou fází, než byla vyslána. Následně je fázoměrem určen rozdíl těchto vln. Výsledná délka je pak určena na základě rychlosti šířené vlny a frekvenci výsledného vlnění. Fázové dálkoměry mají vysokou rychlost, ale omezený dosah, který závisí na vlnové délce.

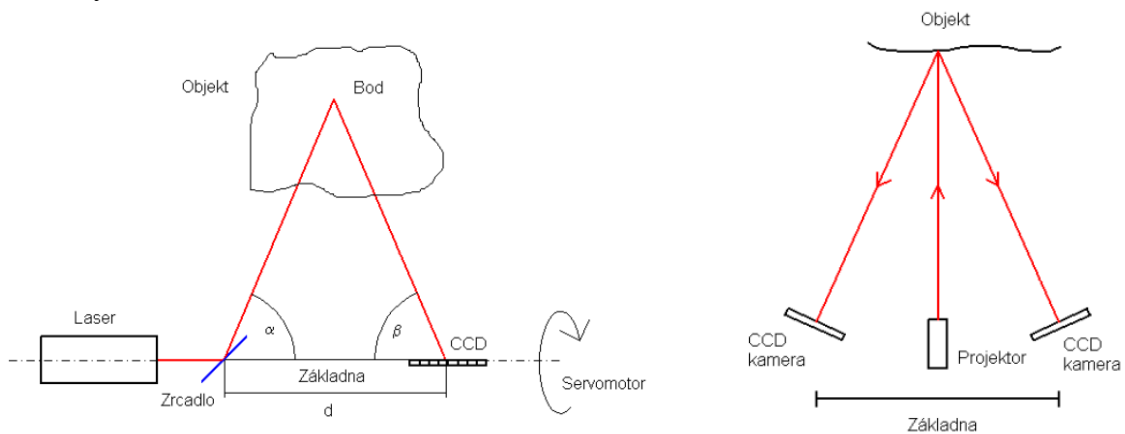
Pulsní dálkoměry fungují na principu elektromagnetického impulsu a měření tranzitního času. Nejprve je vyslán elektromagnetický impuls, v ten samý moment se začne elektronicky měřit čas. Po odrazení od měřeného objektu dopadá impuls na přijímač a měření času se zastaví. Tento typ dálkoměrů disponuje větším dosahem, ale menší rychlostí než dálkoměry fázové. V dnešní době jsou pulsni dálkoměry kombinovány s fázovým měřením a tím dosahují větší rychlosti.

Skenery se základnou pracují na základě protínání z úhlů, nebo průřezové fotogrammetrii. Používají se při velmi přesném zaměření menších předmětů, nebo pro měření v interiérech. Jejich přesnost klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Při této metodě se využívá buď jedno kamerového, nebo dvou kamerového systému. Využití nachází např. ve strojírenství, nebo v archeologii.

U jedno kamerového systému je poloha bodu určena pomocí zrcadla a servomotoru. Laserový svazek vyslaný laserem dopadá na rovinné zrcadlo a dále je odražen na měřený objekt. Odtud se svazek odráží a dopadá na řádkový CCD senzor. Délka základny je rovna vzdálenosti

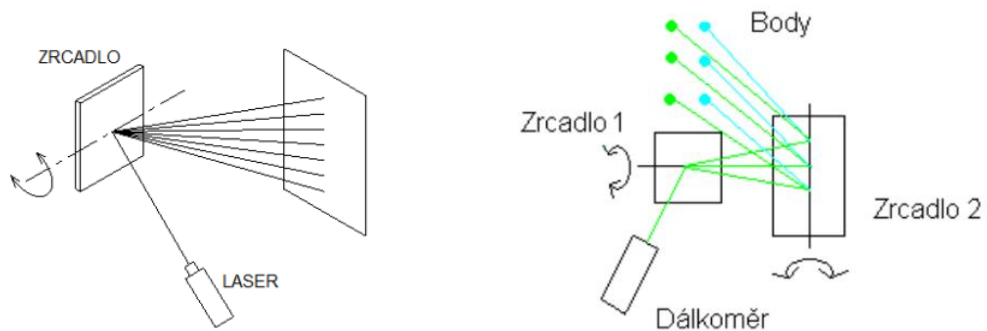
mezi středem rotace zrcadla a místem dopadu laserového svazku na CCD senzor. Na základě délky základny a úhlu mezi odraženým svazkem od zrcadla a základnou a také úhlem, který svírá dopadající svazek se základnou, lze vypočítat rovinné souřadnice. Pomocí servomotoru je natáčena rovina, ve které leží základna a svazek odražený od zrcadla. Díky znalosti natočení této roviny lze vypočítat třetí prostorovou souřadnici.

Při použití dvou kamerového systému je poloha bodu určena na základě vyhodnocení série snímků ze dvou kamer. Základna je tvořena světelným projektorem a dvěma CCD kamerami, které jsou konvergentně zacíleny. Projektor vysílá na měřený objekt kombinaci interferenčních a binárně kódovaných vzorů.



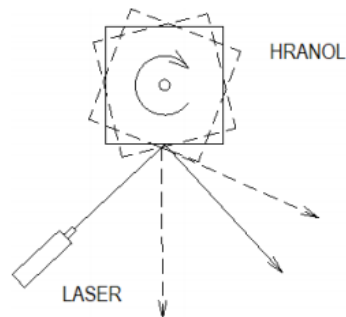
Obr. 10: Princip jedno kamerového systému (vlevo) a dvou kamerového systému (vpravo). [16]

Rozmítáním dálkoměrného svazku lze měřit body na povrchu objektu podle nastavené hustoty. K rozmítání dálkoměrného svazku je využíváno např. rovinných zrcadel, odrazných hranolů nebo servomotorů. Při použití rovinného zrcadla je svazek zacílen na osu otáčení zrcadla a tím je rozmítán do vertikálního profilu. Hustota naskenovaných bodů v tomto profilu závisí především na rychlosti otáčení zrcadla. Další možností je použití dvou zrcadel, kdy rozmítaný svazek z prvního zrcadla (ve svislém směru) dopadá na osu otáčení druhého zrcadla, které ho dále rozmítá v horizontálním směru.



Obr. 11: Rozmítání svazku jedním zrcadlem (vlevo) a dvěma zrcadly (vpravo). [16]

Zrcadla jsou často nahrazována rotujícím odrazným hranolem, který rotuje kolem osy svého těžiště. Výhodou odrazného hranolu je, že neslepne, nemá mrtvou zónu a v závislosti na počtu hran má vyšší rychlost pohybu svazku paprsků. Princip rotujícího odrazného hranolu je zobrazen na obrázku (Obr. 12).



Obr.12: Rozmítání dálkoměrného svazku pomocí odrazného hranolu [16]

Dalším způsobem, jak lze rozmítat laserový svazek jsou servomotory. Ty rozmítají svazek s vysokou úhlovou přesností ve svislém i vodorovném směru. Díky servomotorům lze zachytit velké zorné pole a jsou využívány především u panoramatických skenerů a motorizovaných totálních stanic s možností skenování. V této podkapitole bylo čerpáno z [9], [16].

3.3.2. Druhy laserových měřičských přístrojů

Rozdělení laserových přístrojů bylo částečně popsáno v předchozí kapitole, kde bylo uvedeno rozdělení na základě principu měření. Skenery lze rozdělit také na základě jejich technických parametrů jako je rychlost skenování, zorné pole, nebo podle přesnosti, která je většinou udávána jako směrodatná odchylka úhlového a délkového měření. Zorné pole je vymezeno úhlovým rozdílem krajních poloh výstupních paprsků v horizontálním a vertikálním směru. Podle zorného pole dělíme skenery na kamerové, nebo panoramatické. U kamerových skenerů bývá většinou zorné pole omezené a je blízké zornému poli fotoaparátu. Mezi kamerové skenery patří např. ILRIS 36D od firmy Optech, který má zorné pole $40^\circ \times 40^\circ$. U panoramatických skenerů lze skenovat celé jejich okolí, díky vodorovnému rozsahu měření 360° s tím, že svislý rozsah bývá částečně omezen konstrukcí přístroje. Příkladem panoramatického skeneru může být např. Z+F IMAGER® 5016 od výrobce Zoller + Fröhlich, který má zorné pole $360^\circ \times 320^\circ$.

Dalším parametrem, podle kterého lze dělit skenery je jejich dosah. Dosah skenerů je udáván rozsahem vzdáleností, ve kterých lze přístrojem měřit. Dosah, především u polárních skenerů, je silně ovlivněn odrazivostí povrchu měřeného objektu. V praxi je proto obtížné dosáhnout jeho maximálních hodnot. Délka dosahu závisí na použitém způsobu měření vzdáleností. Vzdálenost je měřena buď fázovými, nebo pulsními dálkoměry. Jako příklad mohou být využity

již zmíněné skenery, kdy přístroj ILRIS 36D využívá pulsního dálkoměru a má dosah 3-1500 metrů a skener Z+F IMAGER® 5016 má s fázovým dálkoměrem dosah až 360 metrů.



Obr. 13: Kamerový skener ILRIS 36D [18]



Obr.14: Panoramatický skener Z+F IMAGER® 5016 [18]

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.3 *Laserové skenování*, jednou z možností, jak rozdělit skenovací systémy, je podle umístění stanoviště na kinematické. Kinematickými systémy rozumíme všechny systémy, které jsou během skenování v pohybu. Mezi ně patří letecké skenování, kdy jsou skenery umístovány například do letadel či helikoptér. Dalším typem kinematických systémů je pozemní skenování, kde může být skener umístěn např. na automobil, či může být držen v ruce. Skenování pomocí ručních skenerů je čím dál rozšířenější možností skenování. Při skenování ručním skenerem je přístroj nasměřován na skenovaný objekt a postupně je tento objekt obcházen. Naskenované body jsou pomocí počítačového softwaru spojeny do mračna bodů. V této podkapitole bylo čerpáno z [9], [16], [17].



Obr. 15: Ruční skener GEOSLAM ZEB Revo RT [17]



Obr. 16: Automobilový skener Leica Pegasus Two Ultimate [17]

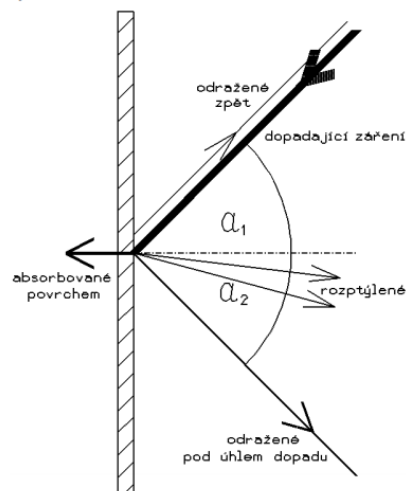
3.3.3. Faktory ovlivňující přesnost skenování

Skenování je ovlivněno různými faktory, které mají dopad na výslednou přesnost měření. Tyto faktory vznikají na základě kvality vyrobených součástek skenovacích systémů, nebo na geometrickém tvaru a materiálu skenovaného objektu. Podle toho je dělíme na vnitřní a vnější vlivy působící na skenování a jeho přesnost.

Mezi vnitřní vlivy patří chyby měření horizontálního a vertikálního úhlu a vzdálenosti. Tyto chyby jsou popsány směrodatnými odchylkami. Dále se k vnitřním vlivům řadí různé systematické chyby, které vznikají na základě nedokonalosti konstrukce skeneru. Mezi tyto chyby řadíme například různé osové chyby a excentricity, nebo systematické chyby měření úhlů a délek. Přístrojové vady nelze eliminovat navyšováním počtu měření, ani měřením ve dvou polohách. Tyto chyby lze potlačit pouze kalibrací přístroje. K vnitřním vlivům se řadí i odklon dálkoměrného svazku.

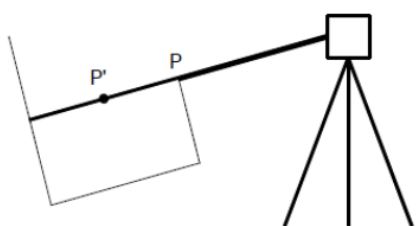
Jedním z vnějších vlivů je vliv prostředí na průchod svazku. Elektromagnetické záření se v ideálním případě šíří přímočaře, kdežto v nehomogenním prostředí, jako je atmosféra, se elektromagnetické záření šíří po obecné prostorové křivce. To je způsobeno atmosférickými vlivy, které na elektromagnetické záření působí. Mezi tyto atmosférické vlivy patří především teplota, tlak, vlhkost a index lomu.

Dalším z vnějších vlivů je geometrie a povrch skenovaného objektu. Při měření elektromagnetickými dálkoměry je významnou částí odražené záření, které se vrací zpět k přístroji. Signál, který dopadá na skenovaný objekt, se odráží zpět k přístroji, ale je i částečně rozptýlen a odražen pod úhlem dopadu a částečně absorbován povrchem objektu. Schopnost odrazet záření závisí na vlastnostech záření, materiálu a geometrii objektu. Dopad elektromagnetického signálu je znázorněn na *Obr. 17*.

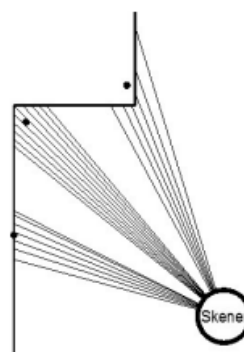


Obr. 17: Dopad elektromagnetického záření na obecný povrch [16]

S rostoucím úhlem dopadu signálu klesá intenzita odraženého elektromagnetického záření, na které závisí výsledná měřená délka. Na základě toho může dojít k nezměření délky, nebo k chybné určení délky. K chybnému určení délky může dojít například při vícenásobném odrazu, nebo při dvojitým odrazu, kdy je dálkoměrný svazek rozdělen o hranu zaměřovaného objektu. Jedna část měřené vzdálenosti je vztažena k hraně objektu a druhá část je vztažena k objektu v pozadí. Výsledná délka vzniká váženým průměrem obou vzdáleností. Přiřazené váhy jsou voleny na základě intenzity vráceného signálu. K dalšímu chybnému určení délky může dojít při měření na ostré hrany objektu, kdy dochází k rozbíhavosti dálkoměrného svazku. [19], [16], [9].



Obr. 18: Chyba způsobena dvojitým odrazem dálkoměrného svazku. [15]



Obr. 19: Chyba způsobena rozbíhavostí dálkoměrného svazku. [15]

4. Zaměření hradu

Tato kapitola je rozdělena na pět podkapitol, kde se první podkapitola věnuje použitým přístrojům a zbylé čtyři se zabývají zaměřením hradu a jsou rozděleny podle jednotlivých pracovních úkonů.

4.1. Použité přístroje

Pro zaměření hradu byly použity čtyři přístroje. Konkrétně se jedná o laserový pozemní skener BLK360, digitální fotoaparát Nikon D3100, smartphone Xiaomi Mi Note 10 a UAV nosič DJI Mavic mini první verze.

4.1.1. Nikon D3100

Digitální jednooká zrcadlovka Nikon D3100 disponuje obrazovým snímačem CMOS s rozměry 23,1 x 15,4 mm. Efektivnímu rozlišení 14.2 MPx odpovídá i maximální rozměr snímku 4608 x 3072 pixelů, který je v poměru 3:2. Rychlost závěrky se pohybuje v rozmezí od 1/4000s až 30s v krocích po 1/3 EV (*Exposure Value*) a citlivost ISO je možné zvolit od 100 do 3200 v krocích po 1 EV. Ohniskovou vzdálenost objektivu je možné volit mezi 18 a 105 milimetry. Snímky lze přímo ve fotoaparátu různě upravovat či využívat různé filtrové efekty. Nasnímaná data jsou ukládána ve formátech JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) či NEF (formát RAW) na paměťové karty typu SD (*Secure Digital*). Fotoaparát nabízí i možnost současného záznamu komprimovaných souborů RAW a souborů JPEG. [20]



Obr. 20: Digitální fotoaparát Nikon D3100[20]

4.1.2. Xiaomi Mi Note 10

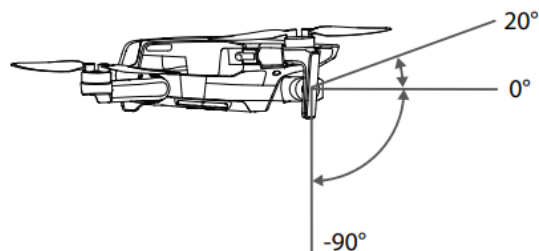
Smartphone Xiaomi Mi Note 10 si získal svoji pozornost díky velikosti svého hlavního snímače, který má rozměry 10.9 x 7.64 milimetrů s rozlišením 108 MPx. Světelnost hlavního snímače je $f/1.7$ s ohniskovou vzdáleností 25 mm. Mimo hlavní snímač jsou zde ještě další čtyři objektivy. Teleobjektiv s dvounásobným zoomem, který má snímač o rozlišení 12 MPx se světelností $f/2.0$ a s ohniskovou vzdáleností 50 m. Druhý teleobjektiv s pětinasobným zoomem o rozlišení 5 MPx a světelností $f/2.0$. Třetím přidruženým objektivem je ultra širokoúhlý 20 MPx objektiv, který má úhel záběru 117° a světelnost $f/2.2$. Ohnisková vzdálenost tohoto objektivu je 13 mm. Posledním objektivem je 2 MPx makro objektiv se světelností $f/2.4$. Zařízení také umožňuje k pořízeným snímkům ukládat údaje o poloze. Konfigurace objektivů je znázorněna na Obr. 21. [21]



Obr. 21: Konfigurace objektivů na zadní straně smartphonu Xiaomi Mi Note 10 [22]

4.1.3. DJI Mavic Mini

Kvadroptér DJI Mavic Mini je zajímavý pro svoji ultralehkou konstrukci vážící 249 g a sklopnými rameny, díky kterým se dá snadno složit. Ve složeném stavu se rozměrově blíží velikosti mobilního telefonu. Díky vizuálnímu a infračervenému systému detekce může nosič bezpečně viset či létat jak v interiéru, tak v exteriéru a automaticky se vrátit na místo vzletu. Spodní vizuální systém detekce je tvořen jednou kamerou a infračerveným systémem detekce ze dvou 3D infračervených modulů. Dále tyto systémy detekce pomáhají nosiči udržovat jeho aktuální pozici, přesněji viset na místě a umožňují jí létat i na místech, kde není GPS signál. Dále je dron vybaven kompasem a IMU jednotkou. Stabilita kamery je zajištěna tříosým gimbalem, kterým lze naklánět komoru ve směru klopení v rozmezí -90° až 20° viz Obr. 22.



Obr.22: Způsob a rozsah náklonu komory [24].

Komora s obrazovým snímačem CMOS BSI o rozměrech čidla 6.16 x 4.62 mm má rozlišení 12 MPx, to odpovídá maximálnímu rozměru snímku 4000 x 3000 pixelu v poměru 4:3. Maximální ohnisková vzdálenost je 24 mm a závěrka clony f/2.8. Velikost hodnoty ISO se u snímků pohybuje od 100 do 3200. Video lze pořizovat v rozlišení 2,7K. Nosič je ovládán dálkovým zařízením, které komunikuje s dronem pomocí WI-FI signálu ve frekvenčních pásmech 2,4 GHz i 5,8 GHz s dosahem až 2 km. K ovládacímu zařízení můžeme připojit smartphone a pomocí aplikace *DJI Fly* lze sledovat aktuální snímanou oblast či volit různá nastavení komory. Snímky jsou ukládány na paměťová média (microSD) ve formátu JPEG. Udávaná maximální rychlost je 46,8 km/h a maximální doba letu je 30 min. [24]



Obr. 23: Kvadrokoptér DJI Mavic Mini [23]

4.1.4. Leica BLK 360

3D laserový skener BLK 360 patří se svými rozměry 16 x 10 cm a hmotností 1 kg k jedním z nejmenších a nejkompaktnějším skenerům svého druhu. Jedná se o pozemní 3D skener s integrovaným sférickým obrazovým systémem a termografickým panoramatickým snímačem. Zorné pole skeneru je 360° v horizontálním směru a 300° ve vertikálním směru. Měření je založeno na principu prostorové polární metody a uživatel si může volit mezi třemi typy nastavení rozlišení viz. *Tab.1*. K měření délek je využito pulsního dálkoměru o vlnové délce 830 nm vylepšeného technologií WFD (*Waveform Digitizing*). Díky této technologii dosahuje měření délek mnohem větší rychlosti. Při odrazivosti 78° je dosah měření minimálně 0,6 m a maximálně pak 60 m s tím,

že přesnost určení jednoho bodu je 6 mm na vzdálenost 10 m a 8 mm na vzdálenost 20 m. Skenování dosahuje rychlosti až 360 000 bodů za vteřinu. Skener má interní paměť, která má kapacitu přibližně 100 stanovisek a lze jej ovládat buď jediným tlačítkem, nebo dálkově. Pro dálkové ovládání je vyžadován Apple iPad a aplikace Leica, nebo Autodesk ReCap Pro. Komunikace mezi tabletem a přístrojem je zajištěna integrovanou Wi-Fi, která vysílá signál z přístroje.

Tab. 1 Možnosti nastavení rozlišení skeneru BLK 360

Nastavení rozlišení	Hustota bodů [mm/10 m]
Nízké	20
Střední	10
Vysoké	5

Laserový skener BLK 360 je vhodný pro snímkování a skenování v interiéru i exteriéru. Na základě stupně krytí IP54 je přístroj odolný vůči stříkající vodě a částečně odolný vůči prachu. Výdrž přístroje na jedno nabití je přibližně 40 stanovisek. Přístroj je upevňován pomocí bajonetu s tlačítkem pro rychlé uvolnění. V této podkapitole bylo čerpáno z [25] a [26].



Obr. 24: Laserový skener Leica BLK 360 [27]

4.2. Rekognoskace terénu a přípravné práce

Měření probíhalo 17. 11. 2020 mezi 10 a 14 hodinou. Před samotným měřením byla provedena rekognoskace terénu a průzkum jednotlivých částí hradu. Při rekognoskaci okolí hradu byly nalezeny pozůstatky hradeb, což pomohlo k celkové představě o rozloze zaměřovaného objektu. V rámci rekognoskace proběhla i částečná úprava terénu. Hlavní donjon byl prorostlý drobnými dřevinami, které bylo třeba kvůli viditelnosti osekát. Následně byly na zříceninu a blízké okolí rovnoměrně rozmístěny papírové terče pro vlčovací body. Na závěr proběhla příprava a kontrola přístrojů použitých pro měření.



Obr.25: Ukázka signalizace vřícovacích bodů.

4.3. Snímkování pomocí pozemní fotogrammetrie

Snímkování pozemní fotogrammetrií bylo použito pro zachycení detailů zdiva a pro celkové nasnímání hradu včetně jeho okolí. K zaměření detailů byla použita digitální zrcadlovka Nikon D3100 a k zaměření hradu a jeho okolí bylo použito mobilní zařízení Xiaomi Mi Note 10. Snímky byly pořizovány jak kolmo k objektu, tak pod obecným úhlem. Při snímkování bylo dbáno na to, aby se sousední snímky dostatečně překrývaly.

Snímkování fotoaparátem Nikon D3100 probíhalo mezi 10 a 11 hodinou. U fotoaparátu byla nastavena citlivost ISO na hodnotu 200, ohnisková vzdálenost na 18 mm, závěrka clony $f/6,3$ a délka expozice $1/200s$. Dále byl zvolen výstupní formát RAW. Při tomto nastavení měly výsledné snímky rozměr 4608×3072 a jejich velikost se pohybovala mezi 13 a 14 MB. Celkem bylo pořízeno 172 snímků.

Snímkování mobilním zařízením Xiaomi Mi Note 10 probíhalo mezi 11 a 14 hodinou. Zde byla nastavena citlivost ISO na 100, ohnisková vzdálenost byla nastavena u jedné části snímků na 2 mm a u druhé na 7 mm, při přepočtu na kinofilm (35 mm) jsou tyto ohniskové vzdálenosti 24 mm a 16 mm. Závěrka clony byla u snímků odpovídajících ohniskové vzdálenosti 2 mm nastavena na 2,2 a u snímků s ohniskovou vzdáleností 7 mm na 1,7. Délka expozice se pohybovala mezi $1/120s$ a $1/2774s$. Rozměr snímků je $3384 \times 6,016$ a jejich velikost se pohybuje mezi 12 a 14 MB. Pořízené snímky jsou ve formátu JPEG, neboť mobilní zařízení Xiaomi Mi Note 10 neumožňuje ukládat snímky v jiném formátu. Celkem bylo pořízeno 379 snímků.



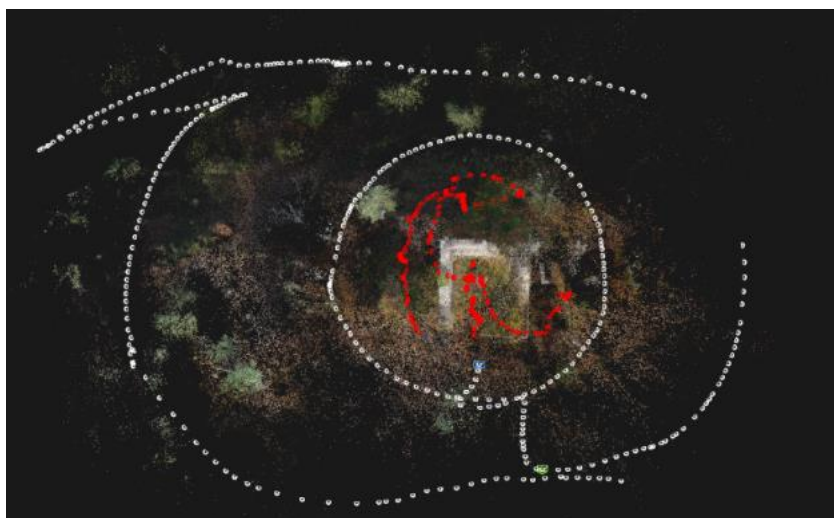
Obr. 26: Ukázka snímku pořízeného z fotoaparátu Nikon D3100 (vlevo) a snímku z mobilního zařízení Xiaomi MI Note 10 (vpravo)

4.4. Snímkování pomocí letecké fotogrammetrie

Letecké snímkování bylo provedeno UAV nosičem DJI Mavic mini. Snímkování probíhalo ve dvou etapách. V rámci první etapy byl nejprve snímán hrad včetně blízkého okolí a poté i ze vzdáleného okolí s konvergentními osami záběru směrem k hradu. Při druhé etapě byl detailně snímán pouze hrad. Průběh jednotlivých letů je zobrazen na Obr. 27 a Obr. 28.



Obr. 27: Obecný pohled na pozice a náklon kamer z první etapy (bíla) a z druhé etapy (červená)



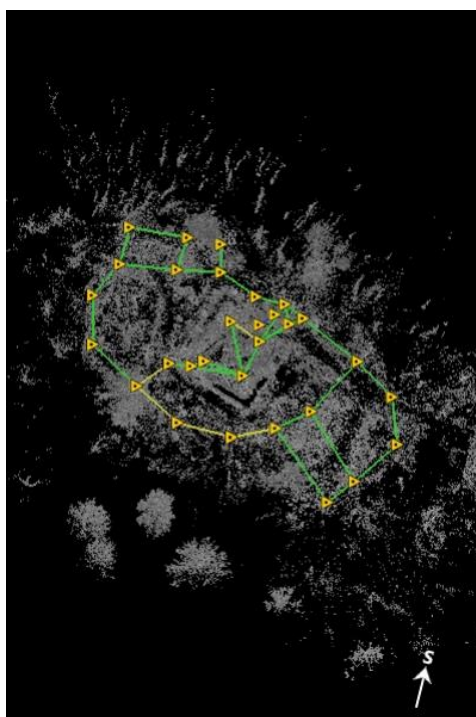
Obr. 28: Pohled shora na pozice a náklon kamer z první etapy (bíla) a z druhé etapy (červená)

Navigování dronu bylo provedeno manuálně Ing. Davidem Zahradníkem. Při snímání bylo dbáno na dostatečný překryv snímků a každá etapa trvala přibližně 15 minut. Během měření bylo bezvětrí a oblačno, což představuje vhodné podmínky pro snímkování, avšak ke konci snímkování první etapy se začalo rozjasňovat a východní strana byla nepříznivě osvětlena.

U komory byla nastavena citlivost ISO na hodnotu 100, ohnisková vzdálenost na 4 mm, která je při přepočtu na kinofilm (35 mm) 24 mm. Závěrka clony byla nastavena na $f/2.8$ a délka expozice se pohybovala mezi $1/80s$ až $1/500s$. Celkem bylo pořízeno 730 snímků o rozměrech 4000 x 3000. Snímky byly ukládány na paměťovou kartu typu microSD ve formátu JPEG.

4.5. Pozemní laserové skenování

Pro laserové skenování byl použit přístroj Leica BLK 360. Laserovým skenováním byl zaměřen hrad a jeho okolí. Měřeno bylo celkem ze 30 stanovisek. Stanoviska byla rozmístěna tak, aby na sebe jednotlivé skeny navazovaly a zároveň, aby mezi nimi bylo dosaženo dostatečného překrytí. Před samotným měřením na stanovisku bylo třeba přístroj přibližně zhorizontovat a následně spustit skenování. Ovládání a komunikace se skenerem probíhala pomocí hardwarového tlačítka a notificačního prstence. Svoji momentální činnost či nečinnost ukazuje notificační prstenec zobrazováním různých barev, nebo jejich blikáním. Například pokud svítí prstenec zeleně, je přístroj připraven k měření. Pokud prstenec bliká žlutě, tak se přístroj zapíná či vypíná, nebo skenuje. Skener byl nastaven na vysoké rozlišení, kde je hustota bodů 5 milimetrů na vzdálenost 10 metrů. Samotné skenování na jednom stanovisku trvalo přibližně 4 minuty.



Obr. 29: Pozice stanovisek laserového skenování

5. Zpracování

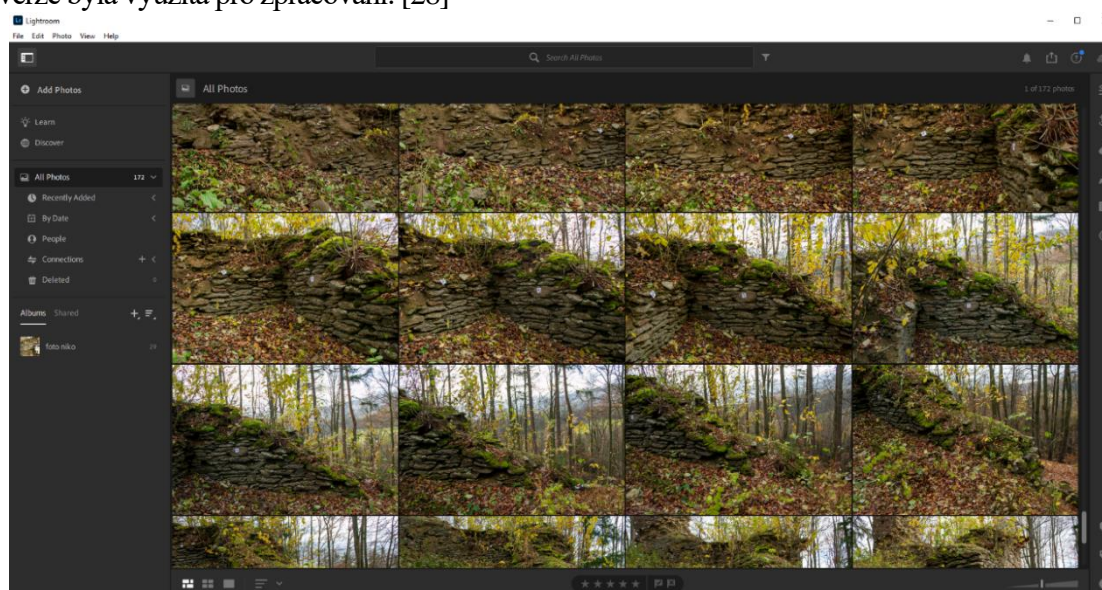
V následujících podkapitolách bude popsán software, který byl použit pro zpracování naměřených dat. Dále zde budou uvedeny jednotlivé kroky, které vedly k vyhotovení 3D modelu reálné a historického podoby hradu Pajrek.

5.1. Použitý software

Pro zpracování naměřených dat bylo použito celkem pět počítačových programů. Konkrétně se jedná o programy Lightroom, Leica Cyclone, Reality Capture, Blender a Meshmixer.

5.1.1. Adobe Photoshop Lightroom

Tento program je určený pro zpracování, uspořádání, zdokonalení, tisk, nebo i sdílení fotografií. Obsahuje sady různých nástrojů pro úpravu tónů, kontrastu, barev, šumu a spoustu dalších parametrů snímku. Dále lze zarovnat natočené snímky, na základě analýzy obrazu a detekci nakloněných svislých a vodorovných hran. V programu lze také využít různé retušovací štětce či pro detailnější úpravy využít automatického propojení s Photoshopem. Lightroom zobrazuje polohová data, takže pokud zařízení určené pro snímkování obsahuje navigační jednotky, lze vytvořit trasu podle lokace jednotlivých snímků. Výhodou programu Lightroom je možnost upravit celou sadu snímků najednou a také využití nedestruktivních úprav, díky kterým lze snímky upravovat, aniž by byl ovlivněn originální snímek. V tomto programu lze zpracovávat řadu grafických formátů včetně formátů RAW a JPEG a v neposlední řadě lze vytvářet ze snímků, hudby a videoklipů různá videa. Program je placený, ale nabízí třicetidenní zkušební verzi. Tato zkušební verze byla využita pro zpracování. [28]



Obr. 30: Ukázka pracovního prostředí programu Lightroom

5.1.2. Leica Cyclone

Leica Cyclone je software určený pro zpracování, registraci, analýzu a modelování mračna bodů pořízených z 3D laserového skenování. Díky modulární struktuře programu si lze vybrat až ze sedmi různých funkcí, podle potřeby zpracování. Jednotlivé moduly programu se dělí na Leica Cyclone: BASIC, která je základním modulem programu a slouží pro správu skenovacích projektů. Obsahuje nástroje pro: prohlížení mračna, zpracování mračna geodetickými metodami a měření mezi body a povrchy.

REGISTER slouží především ke georeferencování naskenovaných dat do společného souřadnicového systému. K registraci mračen lze využít naskenované terče, překryt mračen, geodetických metod a vymodelovaných objektů.

MODEL je modul určený pro tvorbu 3D modelů z mračna bodů. Obsahuje rozsáhlou knihovnu předpřipravených průmyslových a strojařských objektů a tím urychluje modelování. Dále zvládá detekovat střety a automaticky vyhledávat potrubí.

SURVEY je vytvořen speciálně pro geodety a obsahuje funkce pro vyhodnocení pořízených dat, či možnost vytvářet řezy a profily, mesh modely, nebo například počítat kubatury a plochy.

SERVER, IMPORTER a PUBLISHER umožňují více lidem pracovat na jednom projektu zároveň, importovat skeny z jiného skeneru, než je Leica, sdílet a prohlížet naskenovaná data, či hotové modely.

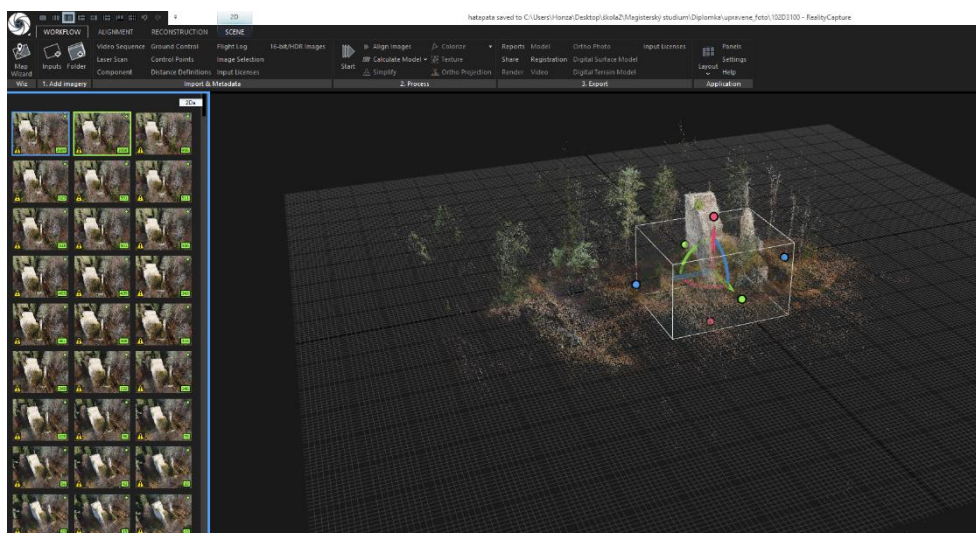
Leica Cyclone je placený program a zpracování proběhlo na školním počítači v budově FSv ČVUT. [29]



Obr. 31: Ukázka pracovního prostředí programu Leica Cyclone. [30]

5.1.3. Reality Capture

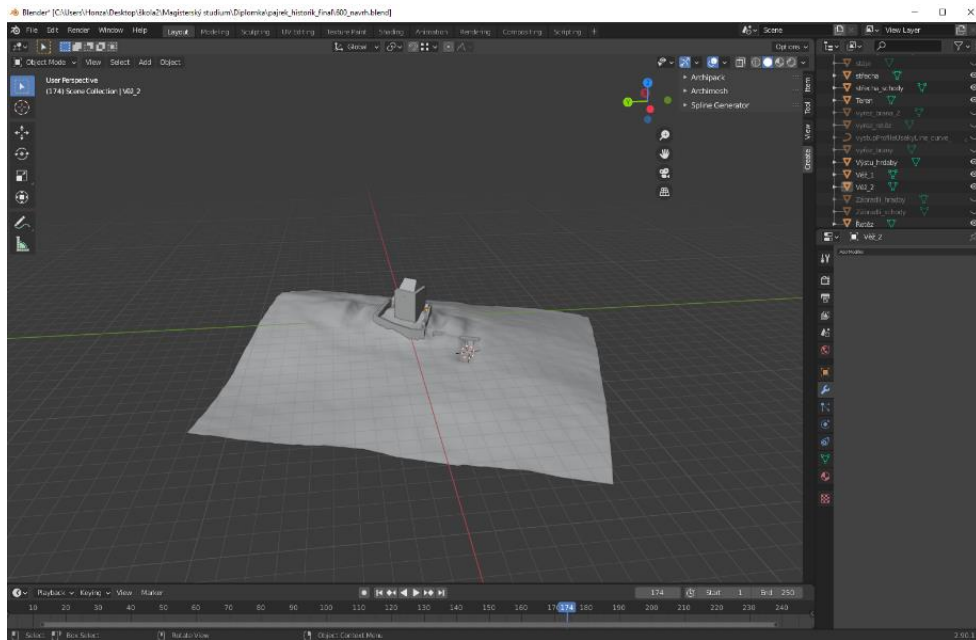
Je fotogrammetrický program, vytvořený slovenskou firmou CapturingReality, pro tvorbu 3D modelů, scén virtuální reality, georeferenčních map, ortografických projekcí a spoustu dalších. Tento software umožňuje spojovat mračna bodů z laserového skenování a snímky z fotogrammetrického zaměření. Tím se geometrie modelu převezme z laserového skenování a nenaskenovaná místa se doplní fotogrammetrickými snímky. Během zpracování lze využívat různé funkce pro zjednodušení, vyhlazování, začištění, nebo kontrolu a opravu topografie mesh modelů. Dále lze modelu přiřazovat textury a různě s nimi pracovat. Výsledný 3D model lze exportovat do několika formátů jako jsou například *ply*, *obj*, *xyz*. Tento program je placený a zpracování proběhlo vzdáleným přístupem k počítači, který vlastní firma *Vertical Data Intelligence* a má tento program zakoupen. [31], [32]



Obr. 32: Ukázka pracovního prostředí programu Reality Capture

5.1.4. Blender

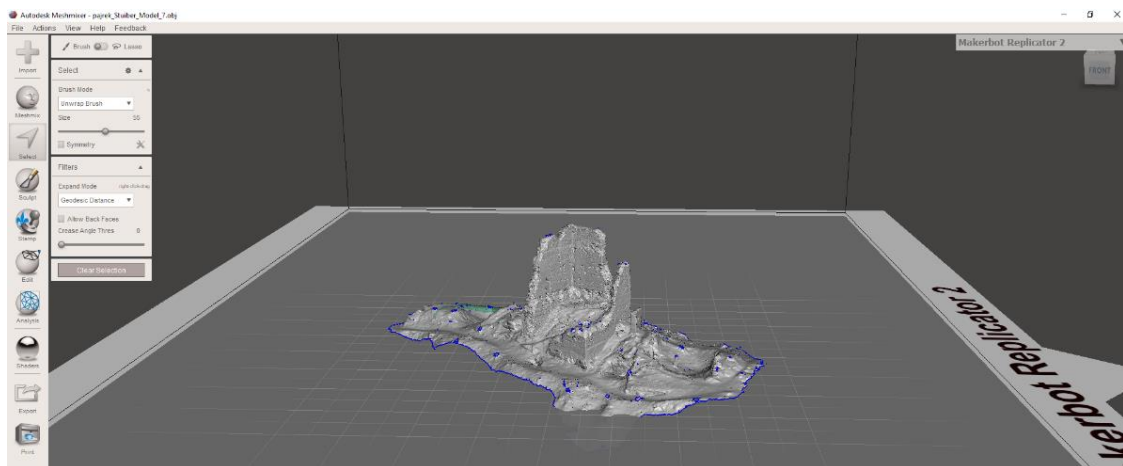
Blender je volně dostupný program určený pro zpracování a tvorbu 3D modelů a také například různých animací, simulací, materiálů a textur. Program také nabízí různé nástroje pro editaci videí, nebo tvorbu her, které lze dále exportovat do různých herních enginů. K efektivnímu zpracování je možné využívat klávesové zkratky či vytvářet vlastní skripty v Pythonu, pro programování vlastních nástrojů. Pro začátečníky je výhodou velké množství různých návodů dostupných na internetu. Tento software je poskytován neziskovou organizací Blender Foundation. Ta čítá pouze 24 lidí, kteří se podílí na tvorbě a zdokonalování tohoto softwaru. [33], [34]



Obr. 33: Ukázka pracovního prostředí programu Blender

5.1.5. Meshmixer

Meshmixer je volně dostupný program vytvořený firmou Autodesk a je určený k spojování a úpravy 3D mesh modelů. Tento software umožňuje i připravit výsledný model k 3D tisku. Programem lze generovat objekty složené z dílčích částí, nebo naopak složené objekty rozdělit na dílčí části. Objekty lze dále různě upravovat, vyhlazovat, transformovat, nebo třeba měnit měřítko. Importovat lze běžné formáty mesh modelů, jako například *stl*, *obj*, *ply*, *3MF*. [35]



Obr. 34: Ukázka pracovního prostředí programu Meshmixer

5.2. Tvorba modelu skutečné podoby hradu

5.2.1. Registrace mračna bodů

Registrace mračna bodů pořízených laserovým skenováním byla zpracována v programu Leica Cyclon. Nejprve bylo do softwaru nainportováno celkem třicet pořízených skenů. Registrace skenů může být provedena třemi způsoby a to manuálně, automaticky, nebo poloautomaticky.

Při manuální registraci jsou vždy vybrány dva na sebe navazující skeny a přes funkci *Mark Targets* jsou tyto skeny otevřeny v 360° prohlížeči. Rozpoznání identických částí obou skenů probíhá identifikací vřícovacích bodů, které mohou být signalizovány například plochými, či kulovými terči. U kulových terčů je výhodou, že mohou být zaměřovány z jakéhokoliv úhlu a na základě parametrů terče je softwarem dopočítán její střed, což u plochých terčů činní problém. Dalším způsobem, kterým lze určit identické části skenů je identifikace stejných ploch. Po identifikaci dostatečného počtu identických částí je zpuštěna registrace mračen, při které je vypočtena transformace mezi danými skeny. Transformované skeny se zobrazí ve 3D prohlížeči, kde je možné skeny zkontrolovat, zda na sebe jejich jednotlivé části pasují. Pokud na sebe skeny polohově a výškově pasují, je možno přejít k registraci dalšího páru skenů. Manuální způsob registrace je oproti poloautomatické a automatické registraci značně pomalejší.

Poloautomatická registrace probíhá vizuálně metodou Cloud to Cloud (mračno na mračno). Při této metodě jsou obdobně jako u manuální vybrány dva skeny. Před samotnou registrací je možnost nastavit několik parametrů, jako například použití inklinometru, kompasu, nebo si nastavit rozlišení, tím lze sken zjednodušit a díky tomu nedojde k zbytečnému přetěžování počítače. Po uložení nastavení se v prohlížeči zobrazí různě umístěné zvolené skeny. Ty je potřeba pomocí posunů a rotace na sebe zhruba napasovat. Jakmile jsou na sebe skeny polohově a výškově napasovány, je spuštěn výpočet registrace, při kterém se skeny přesně dorovnají. Výsledkem registrace je i report, ve kterém se nachází informace o výpočtu, jako například průměrná odchylka bodů použitých pro registraci, nebo minimální překryt mezi skeny.

Při využití plně automatické registrace jsou pouze vybrány skeny a jejich zarovnání se provede zcela automaticky a je pouze potřeba výslednou registraci důkladně zkontrolovat. Tato metoda je vhodná, pokud je překryt mezi skeny minimálně 50 % ideálně však více než 60 %.

Registrace skenů proběhla poloautomaticky, pomocí metody Cloud to Cloud. Na závěr bylo ještě registrované mračno ořezáno, pročištěno a byla provedena finální kontrola. Aby bylo možné skeny importovat do programu Reality Capture, bylo potřeba exportovat každý sken samostatně. Jako výstupný formát byl zvolen e.57. Report o registraci je součástí příloh (Příloha D).

5.2.2. Úprava pořízených snímků

Vzhledem k tomu, že snímky pořízené fotoaparátem Nikon D3100, jsou ve formátu RAW, bylo třeba je upravit a převést do formátu JPEG. Úprava proběhla v softwaru Lightroom, kam byly nejprve nainportovány pořízené snímky a jejich úprava proběhla poloautomaticky. Nejprve byla tedy provedena automatická úprava snímků a poté byly postupně jednotlivé snímky procházeny a manuálně dopraveny. V rámci úprav snímků byla například sjednocena expozice, upravena ostrost, jas a kontrast. Závěrem byly snímky exportovány do formátu JPEG.

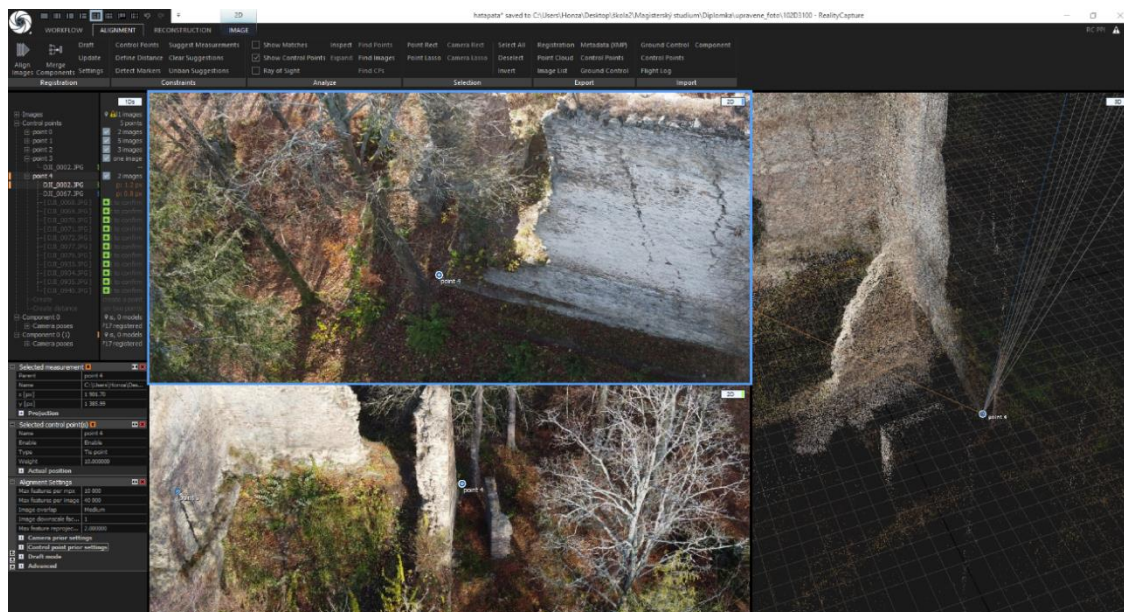


Obr. 35: Ukázka originálního snímku (vlevo) a upraveného snímku (vpravo).

5.2.3. Tvorba modelu

Nejprve bylo třeba importovat do programu Reality Capture pořízené snímky a skeny. To bylo provedeno v záložce *Workflow-add imagery – inputs*. Výhodou tohoto programu je možnost zarovnat snímky a skeny najednou. Automatické zarovnání snímků a skenů proběhlo spuštěním funkce *Align Images* v kartě *Alignment*. Při zarovnání nedošlo k úplnému spojení celého objektu, ale pouze k spojení dílčích částí, které se tímto rozdělily na několik komponentů. To bylo způsobeno tím, že vyhledávací algoritmus nenašel spojovací body mezi jednotlivými komponenty. Proto bylo třeba využít funkce *Control points* a manuálně k snímkům a skenům přiřadit spojovací body. Vytvořený spojovací bod lze přetažením umístit na snímek/sken, a tím identifikovat určitý bod, o kterém víme, že bude viditelný a snadno rozpoznatelný i z jiných snímků/skenů. Následně je identifikován stejný bod, ale již z jiného snímku/skeny. Po dostatečném počtu identifikací daného bodu program automaticky nabízí potenciální snímky/skeny, ze kterých lze dále tento bod označit. Spojovací body byly umísťovány především na signalizační terče umístěné po celém zaměřovaném objektu. Pro kvalitní spojení jednotlivých komponentů, bylo potřeba na snímcích identifikovat minimálně tři spojovací body a u skenů alespoň dva. Na *Obr. 36* je ukázka identifikace spojovacího bodu č.4, přičemž je pracovní prostředí rozděleno do tří oken, kde v levé části je identifikovaný bod ze dvou různých snímků a v pravé části je tento bod automaticky zobrazen

v prostoru včetně pozic snímků, ze kterých je identifikován a potencionálních snímků, ze kterých ho lze dále identifikovat. Jakmile byl k snímkům a skenům přiřazen dostatečný počet spojovacích bodů, bylo opět spuštěno automatické zarovnání, po kterém se již všechny komponenty spojily. Spojovací body byly identifikovány s průměrnou přesností 0,90 pixelu.



Obr. 36: Ukázka identifikace spojovacího bodu

Další částí zpracování bylo vytvoření mesh modelu. To bylo provedeno spuštěním funkce *Calculate model* v záložce *Reconstruction*. Model může být vypočítán třemi možnostmi, první z nich je *Preview*, kdy je model většinou vypočten velmi rychle, ale s malými detaily. Druhou možností je *Normal Detail*, kdy je model počítán déle a se středními detaily, nebo lze model vypočítat s vysokými detaily pomocí funkce *High Detail*, ale čas výpočtu je zdouhavý. Pro model hradu byla zvolena možnost *Normal Detail*, která je pro další zpracování dostačující.

V následující fázi zpracování bylo potřeba vytvořit dva nové modely. Prvním modelem je takový model, který bude ořezán od nežádoucích objektů, jako jsou například menší dřeviny, které rostly na zdivu, nebo stromy v okolí. To bylo provedeno funkcí *Laso*, kterou byly nejprve označeny části modelu, které bylo třeba odstranit, a poté byl pomocí funkce *Filter Selection* vytvořen nový ořezaný model. Druhým modelem budou jen zdiva a zbytky hradeb. Tvorba druhého modelu proběhla obdobně jako tvorba prvního s tím, že u druhého modelu bylo ořezáno vše až na zdiva hradu a zbytky hradeb. Při těchto operacích program Reality Capture zachovával původní model a pouze vytváří modely nové. Pro přehlednost budou dále modely označovány následovně:

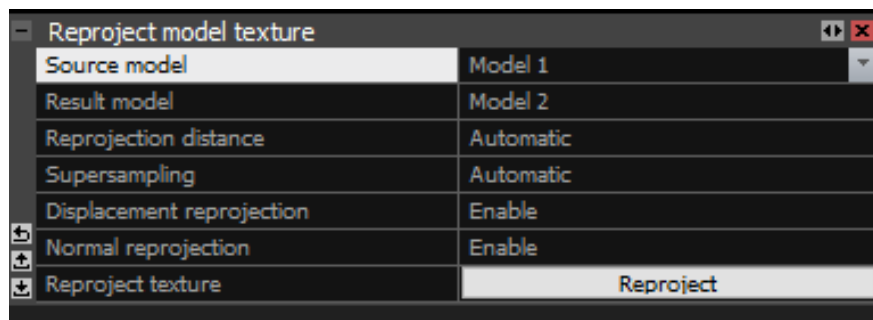
Model1 - originální neupravený model

Model2 - model ořezaný od nežádoucích objektů

Model3 - model zdiva hradu a zbytků hradeb

Dále bylo potřeba u *Modelu2* a *Modelu3* zjednodušit trojúhelníkovou síť, kterou jsou mesh modely tvořeny. K tomu bylo využito funkce *Simplify*, kde byl nastaven počet trojúhelníků, na který se má daný model zjednodušit. U *Modelu2* byla tato hodnota nastavena na 600 000 trojúhelníků a u *Modelu3* na 300 000 trojúhelníků. Funkce *Simplify* funguje tak, že především na plochých místech modelu, jako jsou například zdi, zredukuje počet trojúhelníků. Tím vznikne stejná zeď, jen tvořena menším počtem trojúhelníků. Modely jsou zjednodušovány, aby zbytečně nezatěžovaly paměť, ať už při výpočtech, tak na disku.

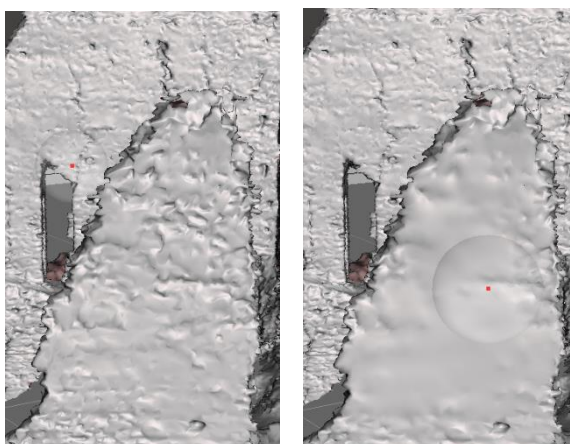
V poslední fázi byly modelům přiřazeny textury. Nejprve byla přiřazena textura *Modelu1*. Pomocí funkce *Unwrap* byl model rozložen na UV mapu, aby mu mohla být následně přiřazena textura. UV mapa je v podstatě 2D zobrazení rozloženého 3D objektu. Před spuštěním funkce *Unwrap* byla nastavena velikost jednoho texelu na 3 mm. Po ukončení *Unwrap* procesu bylo funkcí *Texture* spuštěno přiřazení textury. Pro zjednodušené modely (*Model2* a *Model3*) byla textura přiřazena funkcí *Texture Reprojection*. Nejprve byla na zjednodušené modely použita funkce *Unwrap* se stejným nastavením jako u *Modelu1* a poté byla spuštěna funkce *Texture Reprojection*, která přenesou texturu z jednoho modelu na druhý. V našem případě byl jako výchozí model nastaven *Model1* a textura byla přenesena na *Model2* a poté na *Model3*. Přiřazení textury *Modelu2* a *Modelu3* proběhlo reprojekcí, protože pokud by byly textury těmto modelům vypočteny zvlášť, došlo by k chybnému výpočtu textur vůči vegetaci, která byla u těchto modelů oříznuta. Závěrem byly oba zjednodušené modely (*Model2* a *Model3*) vyexportovány do formátu *obj* a tím byly připraveny k dalšímu zpracování.



Obr. 37: Ukázka funkce *Texture Reprojection*

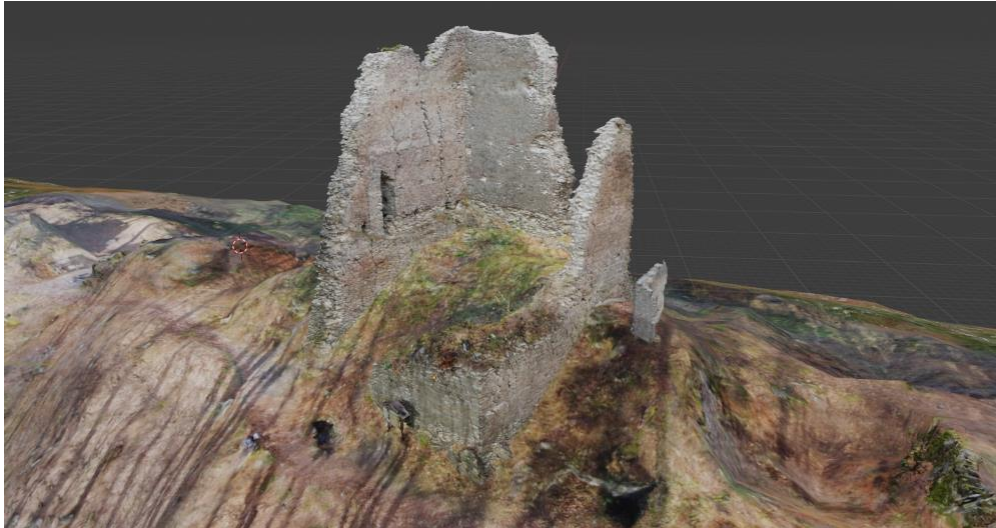
5.2.4. Úprava modelu a export

Pro finální zpracování modelu bylo potřeba provést ještě několik úprav. Nejdříve bylo třeba vytvořit nový model terénu, neboť jakékoliv vegetační výstupky (tráva, pařezy atd.) a díry vzniklé ořezáním stromů jsou pro vizualizaci nežádoucí a zároveň tím bude snížen objem dat, který by zbytečně zpomaloval další výpočty a zatěžoval kapacitu paměťového disku. Model terénu byl vytvořen v programu Blender viz. podkapitola 5.3.1 *Vymodelování hradu a okolí*. Dále proběhlo manuální zjednodušení *Modelu3*, protože na některých místech byl model tvořen ze zbytečně velkého množství trojúhelníků. Pro zjednodušení byl použit program Meshmixer, kam byl model nejprve importován a pomocí funkce *Sculpt* byly zjednodušeny zdi hradu, přičemž funkce umožňuje volit velikost pole, pod kterým úpravy probíhají a intenzitu, která udává sílu redukce trojúhelníků. V podstatě, čím větší intenzita bude nastavena, tím více trojúhelníků bude zredukováno. Sílu redukce je třeba volit rozvážně, aby nedošlo ke ztrátě důležitých detailů zdiva.



Obr. 38: Ukázka manuálního zjednodušení zdiva hradu.

Vymodelovaný terén a manuálně zjednodušený *Modelu3*, byly postupně nahrány ve formátu *obj* do programu Reality Capture, kde jim bylo třeba přiřadit nové textury. Na oba modely byla nejprve použita funkce Unwrap, kde byla nastavena velikost jednoho texelu na 3 cm u terénu a 3 mm u *Modelu3*. Textury byly modelům přiřazeny funkcí Texture reprojection, kde byl jako výchozí model nastaven opět *Modelu1*. Tyto operace probíhaly pro každý model zvlášť. Na závěr byly oba modely nahrány do programu Blender, kde byl terén domodelován tak, aby přesně pasoval na *Modelu3* a dále bylo třeba od terénu ořezat části, kterým nebyla přiřazena textura. Tyto části vznikly, protože vymodelovaný terén má větší rozlohu než terén zaměřený. Textura mohla být tedy přiřazena pouze místům, která byla zaměřena. Tímto způsobem vznikl jednotný model zobrazující reálnou podobu hradu Pajrek, který byl exportován do formátů *obj* a *fbx*, a tím byl připraven k vizualizaci.



Obr. 39: Ukázka části modelu zachycující reálnou podobu hradu Pajrek.

5.3. Tvorba modelu historické podoby hradu Pajrek

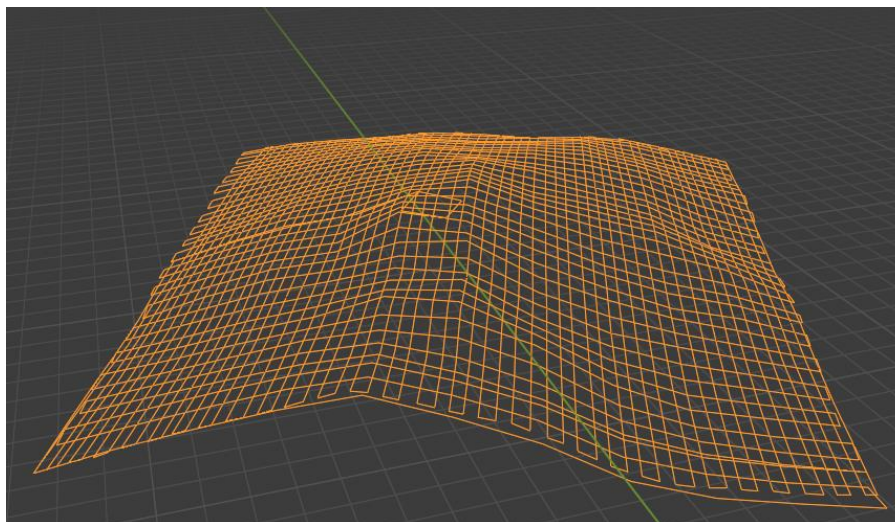
V této kapitole bude popsáno jako bylo postupováno při modelování hradu a jeho okolí. V rámci toho budou představeny i základní modelovací funkce programu Blender., ve kterém zpracování probíhalo. Dále zde bude uveden postup pro tvorbu a přiřazení textur či vytvoření animace.

5.3.1. Vymodelování hradu a okolí

Pro modelování hradu byly v programu Blender využity především základní mesh objekty, které program nabízí. Patří mezi ně například krychle (*Cube*), plocha (*Plane*) či válec (*Cylinder*). Všechny tyto objekty jsou vytvořeny pomocí klávesové zkratky *Shift-A-Mesh-výběr objektu*. Vybraný objekt se automaticky vytvoří ve středu souřadnicového systému, nebo na jakémkoliv jiném místě, které si může uživatel libovolně nastavit. U objektů lze samozřejmě měnit velikost, polohu, rotaci či pro jejich úpravu použít různé funkce. Nedílnou součástí při práci s objekty je editační mód, který u vybraného objektu zpřístupní jeho vrcholy, linie a plochy, se kterými lze dále manipulovat.

První modelovanou částí byl terén. Do programu Blender byl naimportován model hradu včetně jeho okolí (*Model2*), který byl vytvořený v rámci zpracování reálné podoby hradu. Dále bylo rozhodnuto, že by bylo vhodné terén rozšířit, kvůli lepší vizualizaci a komplexnosti modelu. K tomu bylo využito analýzy výškopisu dostupné z [36]. V kartě *Profil* byla vybrána funkce *kreslení úsečky nebo lomené čáry*, kterou byla vytvořena síť profilů kolem hradu a jeho okolí. Pro tuto síť byl spuštěn výpočet pro analýzu profilů. Po ukončení výpočtu byly zdarma staženy výsledky analýzy

ve formátu *DXF*, který byl následně importován do programu Blender, Sít' profilů byla pomocí posunů, rotace a změny měřítka přibližně napasována na *Model2*.



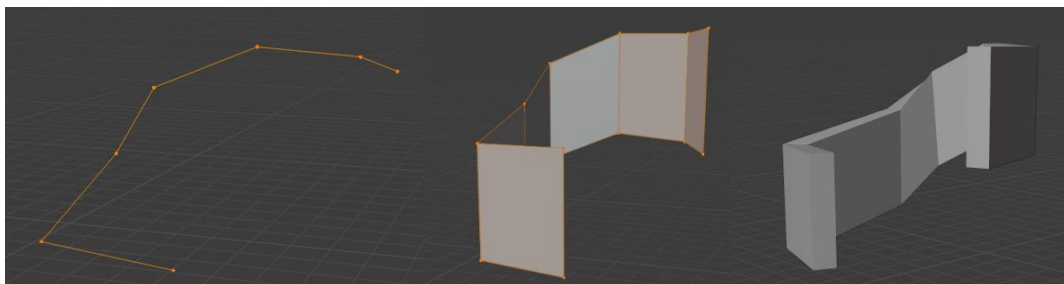
Obr. 40: Sít' profilů vypočtená z terénní analýzy

Klávesovou zkratkou *Shift-A-Mesh-Plane* byla vytvořena obdélníková plocha, která byla následně zvětšena a natočena tak, aby korespondovala s importovanou sítí. Následně byla plocha otevřena v editačním módu a funkcí *Subdivide* byla rozdělena na čtvrtiny, ty byly označeny a funkce byla spuštěna znovu, to rozdělilo celou plochu na šestnáctiny. Tímto způsobem bylo pokračováno, dokud nedošlo k optimálnímu rozdělení plochy na menší plošky. Vzhledem k tomu, že vzniklé plošky jsou obdélníkového tvaru, má každá ploška čtyři vrcholy. Těmito vrcholy bylo posouváno ve směru osy Z tak, aby co nejvíce kopírovala terén *Modelu2*, nebo importovanou sít'. Takto vymodelovaný terén byl použit při zpracování reálné podoby hradu Pajrek.

Dalším předmětem modelování byl hrad a dvě menší věže, které se nacházely vedle hradu. Pro představu, jak hrad a věže vypadaly sloužil částečně *Model2* a částečně výkres, kde je zobrazena rekonstrukce hradu podle D. Gottwalda (*Příloha A*). Samotné modely byly vytvořeny rotací, změnou měřítka a posunem krychle, která byla vložena klávesovou zkratkou *Shift-A-Mesh-Cube*. Střechy hradu a věží byly vytvořeny vysunutím horní plochy modelů pomocí funkce *Extrude*, rozdělením funkcí *Subdivide* a manipulací s vrcholy této rozdělené plochy.

Na základě půdorysu vyhotoveného Zdeňkem Procházkou (*Příloha B*) byly vytvořeny hradby a palisádové opevnění. Hradby byly vymodelovány pomocí křivky a modifikátoru. Při pokusu o vytvoření hradeb pomocí krychle, docházelo při kopírování členitostí terénu k deformacím hradby. Byla tedy vytvořena křivka (*Shift-A-Curve-Bezier*), která byla vedena tak, aby polohově korespondovala s půdorysem a výškově kopírovala terén. Poté byla křivka převedena

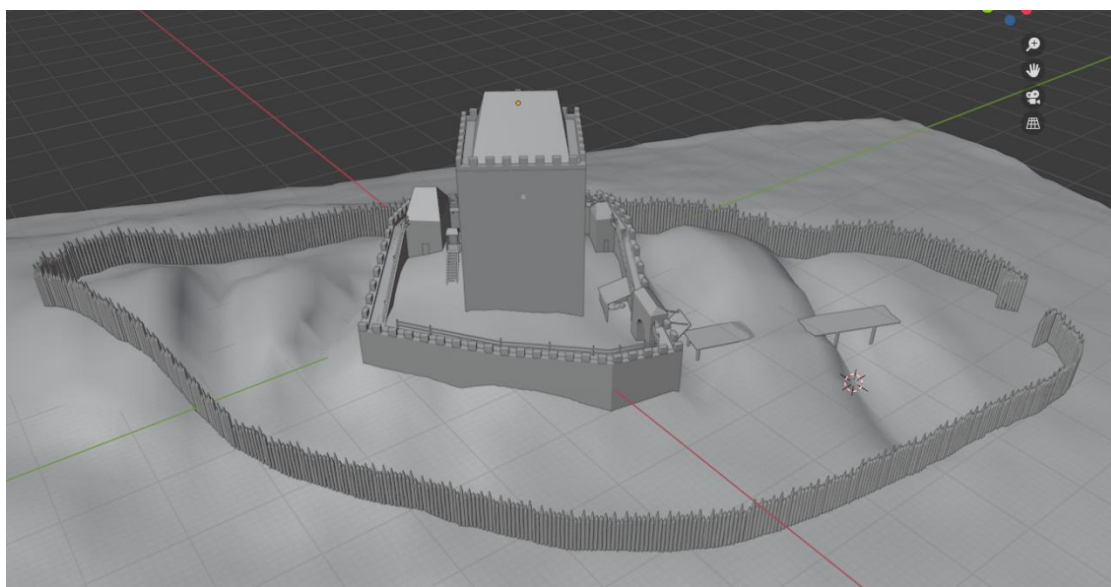
na mesh a tak ji bylo možné funkcí *Extrude* vytáhnout do potřebné výšky. Tím vznikla plocha, které byla modifikátorem *Solidify* přiřazena tloušťka.



Obr. 41: Ukázka modelace hradeb

Pro tvorbu palisádového opevnění byla rovněž použita křivka s tím rozdílem, že byla vytvořena jedna palisáda, která byla modifikátorem *Array* znásobena po trajektorii křivky. Palisáda byla vytvořena vložením válce (*Shift-A-Mesh-Cylinder*) a manipulací s jeho vrcholy v editačním módu.

V této fázi byl model konzultován s historikem Františkem Podzimkem. Na základě této konzultace bylo rozhodnuto, že je potřeba přidat na hradby a hrad ochozy, prohloubit příkopy, vytvořit vstupní bránu a domodelovat další detaily, které se na hradě vyskytovaly. Modelování těchto částí probíhalo za použití již zmíněných funkcí a objektů, proto zde už jejich modelace nebude podrobně popisována. Jedinou výjimkou, která by stála za zmínku je modifikátor *Boolean*, kterým byly vytvořeny otvory například do vstupní brány. Pro použití modifikátoru je potřeba vymodelovat objekt, který bude mít tvar požadovaného otvoru. Následně je tento objekt umístěn na místo, kde má být otvor vytvořen. Modifikátor *Boolean* je použit na objekt, ve kterém je potřeba otvor udělat a v nastavení modifikátoru je zvolen objekt, který symbolizuje daný otvor.

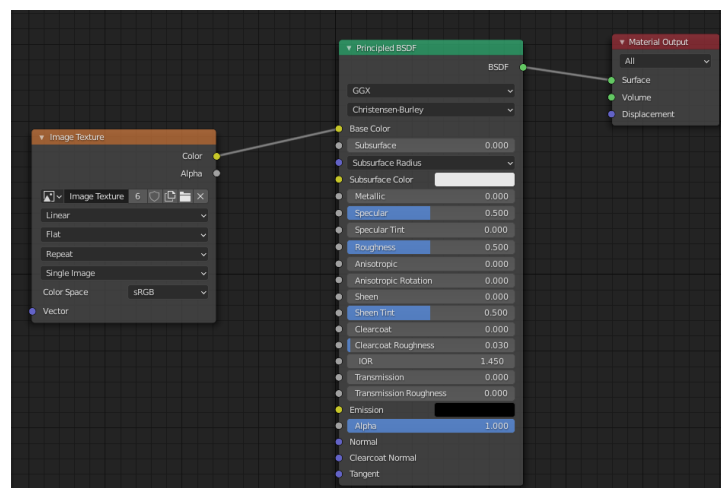


Obr. 42: Ukázka vymodelované historické podoby hradu Pajrek

5.3.2. Tvorba textur

Textury jsou nedílnou součástí vizualizace. V programu Blender lze vytvářet textury různými způsoby. Pro většinu objektů modelu, byla textura vytvořena na základě obrázků daného materiálu.

Pro vytvoření textury je nejprve potřeba vybranému objektu přiřadit materiál. To lze provést například přes kartu *Shading-new*. Tvorba textur přes kartu *Shading* je založena na tvorbě schémat složených z jednotlivých uzlů. Uzlem může být například nějaká funkce, která ovlivňuje výsledné zobrazení textury, nebo to může být funkce, která zobrazení textury provádí. Při založení nového materiálu se automaticky vytvoří dva uzly. Jedním z nich je tzv. *Shader*, který v podstatě určuje barvu povrchu a druhým je *Material Output*, který přenesení výsledný vzhled textury na objekt. Další neopomenutelnou funkcí, která byla využívána je *Image Texture*, díky které lze vytvořit výslednou texturu na základě vloženého obrázku. Základní schéma pro vytvoření textury pomocí obrázku je zobrazen na *Obr. 43*.



Obr. 43: Ukázka základního schéma pro přiřazení textury pomocí obrázku.

Dalším způsobem, jak lze texturu vytvořit může být například kombinace dvou a více barev, které lze různě mixovat, měnit jejich intenzity či k nim přiřadit nějakou funkci, která tyto barvy může různě deformovat. Možností, jak vytvořit textury je neskutečně mnoho a závisí především na zkušenostech uživatele a jeho představivosti. Jak již bylo zmíněno, tak většina textur byla vytvořena pouze obrázkem, ale některé vznikly kombinací vícero obrázků či barev a jejich různou deformací, která byla vytvořena funkcí *Nois Texture*.

Pro správné zobrazení textury na objektu, je potřeba tento objekt rozložit funkcí *Unwrap* na UV mapu. To lze provést v kartě *UV Editing*, kde je možné volit z několika způsobů rozkladu. Jednotlivé části rozloženého objektu lze různě posouvat, měnit jejich velikost či jimi rotovat. Těmito manipulacemi lze dobře kontrolovat, jak bude textura zobrazena na jednotlivých částech objektu.

Aby bylo možné textury použít pro závěrečnou vizualizaci na webovém prohlížeči či v mobilní aplikaci, bylo potřeba jednotlivé textury vytvořené pomocí uzlů převést do formátu JPEG. K tomu bylo využito funkce Bake, která na základě vytvořeného schématu uzlů tzv. “upečce“ jednotnou texturu, kterou lze uložit do formátu *JPEG*. Před použitím funkce *Bake* bylo potřeba u vybraného objektu vytvořit prázdný uzel *Image Texture*, do kterého bude jednotná textura vyhotovena a přiřadit k němu UV mapu daného objektu. Poté byly takto vytvořené textury přiřazeny jednotlivým objektům, kde u některých objektů se stejnou texturou bylo potřeba upravit rozložení jejich jednotlivých částí UV mapy, tak aby se textura zobrazovala správně. Na závěr byl výsledný model byl exportován do formátů *obj* a *fbx*. Tímto způsobem byl vyhotoven model zobrazující historickou podobu hradu Pajrek a byl tak připraven k vizualizaci.



Obr. 44: Ukázka části modelu zachycující historickou podobu hradu.

5.3.3. Tvorba animace

V programu Blender byla vytvořena animace, která simuluje průlet kolem hradu zobrazuje hrad samotný a jeho částí. Nejprve bylo potřeba vytvořit kameru, ta byla vložena pomocí *Shift-A-Camera*. Trajektorie, po které se bude kamera pohybovat, byla vyhotovena manipulací s tzv. “cestou“. Ta je obloukovitého typu a byla vložena klávesovou zkratkou *Shift-A-Curve-Path*. Aby se kamera pohybovala po trajektorii, bylo potřeba ji pomocí funkce *Follow Path* danou trajektorii přiřadit. Nejprve však musely být kameře vyresetovány její aktuální polohové údaje (*Alt-G*). Poté jen stačilo ve funkci *Follow Path* označit danou trajektorii a kamera byla přiřazena na její začátek. Objekt, na který se bude kamera při “průletu“ zaměřovat, byl určen funkcí *Track To*, kde stačilo daný objekt vybrat. V nastavení kamery byla upravena ohnisková vzdálenost, tak aby byl snímáný objekt správně zobrazen. Poté byla animace v kartě *Rendering* vyexportována do formátu

MPEG-4. Tímto postupem byly vytvořeny dvě animace, jedna pro historickou podobu hradu a druhá pro reálnou podobu hradu.



Obr.45: Ukázka trajektorie simulující průlet kolem hradu

6. Vizualizace modelů

Vzhledem k tomu, že v dnešní době má snad již každý v domácnosti minimálně jeden počítač s připojením na internet, nebo smartphone, byly vizualizace modelů provedeny přes webový prohlížeč a mobilní aplikaci. V následujících podkapitolách bude stručně popsáno, jak byly modely nahrány na jednotlivé platformy.

6.1. Webový prohlížeč

Pro vizualizaci na webovém prohlížeči byla vybrána platforma Sketchfab. Sketchfab umožňuje komukoliv vyhledávat, publikovat, sdílet, nebo stahovat různé 3D modely, které lze zobrazovat i ve virtuální či rozšířené realitě.

Aby bylo možné modely nahrát, je potřeba mít na Sketchfab vytvořený účet. Byl proto využito již založeného účtu CastleAR, který byl pro vizualizaci modelů poskytnut Ing. Davidem Zahradníkem. Přes kartu *Upload* byl vybrán výsledný model ve formátu *obj* včetně všech textur, které jsou k modelu přiřazeny a bylo spuštěno nahrávání modelu. Jakmile byl model nahrán, byl otevřen přes *Edit 3D Settings*, kde proběhla úprava různých parametrů sloužících k vizualizaci modelu. Mezi takové parametry patří například nastavení pozadí modelu, osvětlení, nebo u historické podoby hradu různé doplňkové úpravy jednotlivých textur. Modely lze zobrazit ve 3D prohlížeči přes odkazy níže, nebo je lze vyhledat na internetových stránkách www.sketchfab.com. V Příloze C jsou k nahlédnutí ukázky obou modelů.

Model zobrazující reálnou podobu hradu Pajrek je dostupný z:

<https://sketchfab.com/3d-models/pajrek-531c404dca894079b671885903e7340b>

Model zobrazující historickou podobu hradu Pajrek je dostupný z:

<https://sketchfab.com/3d-models/pajrek-navrh-9997f4f056464bf4b7d113de4a152588>

6.2. Mobilní aplikace

Pro tvorbu aplikace byl využit software Unity, který slouží například k vytváření interaktivního 3D obsahu. Do programu Unity byla přidána platforma Vuforia, ta obsahuje sadu funkcí, na základě kterých lze vytvářet a pracovat s rozšířenou realitou.

Nejprve bylo potřeba se zdarma zaregistrovat na stránky Vuforia, kde byl vytvořen nový projekt, ke kterému byl přiřazen licenční klíč, který byl zkopírován. Dále bylo potřeba stáhnout sadu funkcí Vuforia, která byla nahrána v programu Unity přes záložku.

V Programu Unity byla nejprve přes záložku *Assets-Import package* nahrána sada funkcí Vuforia. Poté byla do scény přes *pravé tlačítko myši-Vuforia Engine-AR Camera* přidána AR kamera a v jejím nastavení konfigurace byl do pole App License Key vložen zkopírovaný licenční klíč. Dále byla do scény přidána plocha (*Groud Plane Stage*), pro umístění modelu a *Plane finder*, který pomocí Ar kamery tuto plochu vyhledá. V této fázi byl importován model ve formátu *fbx* a následně byl přiřazen k ploše (*Groud Plane Stage*). Poté byla v záložce Build Settings přidána aktuální scéna a byl vybrán operační systém, pro který má být aplikace určena (iOS/Android). Na závěr byl spuštěn výpočet pro sestavení aplikace.

Tímto způsobem byla vytvořena mobilní aplikace, díky které lze v rozšířené realitě zobrazit model reálné podoby hradu a model zobrazující historickou podobu hradu.



Obr.46: Ukázka modelů zobrazených v rozšířené realitě.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhotovit a vizualizovat dva 3D modely hradu Pajrek. První model zachycuje reálnou podobu hradu a byl vytvořen zpracováním vlastního měření. Druhý model byl vymodelován na základě modelu zachycujícího reálnou podobu hradu, historických podkladů a konzultací s historikem. Oba modely byly vizualizovány pomocí mobilní aplikace a webového prohlížeče.

Hrad Pajrek byl zaměřen jak leteckou, tak pozemní fotogrammetrií kombinovanou s laserovým skenováním. Přičemž pozemní snímování bylo provedeno dvěma přístroji. Mobilním zařízením Xiaomi Mi Note 10, kterým byl nasnímán hrad a jeho okolí a digitálním fotoaparátem Nikon D3100 bylo detailně snímáno pouze zdivo hradu. UAV nosičem DJI Mavic mini proběhlo manuálně řízené letecké snímování hradu včetně blízkého i vzdáleného okolí. Dále byl k zaměření hradu a okolí použit laserový panoramatický skener Leica BLK360.

K tvorbě modelu hradu zachycující jeho reálnou podobu byl použit program Reality Capture. V rámci tohoto zpracování bylo vytvořeno mračno bodů a mesh model s realistickou texturou. Na základě tohoto modelu vznikly ořezáním dva nové modely. Jedním z nich byl model hradu a jeho okolí, který byl použit pro modelaci terénu a jako podklad pro zpracování historické podoby hradu Pajrek. Druhý model obsahoval pouze zdivo hradu a pozůstatky hradeb. Výsledný model vznikl spojením vymodelovaného terénu a zjednodušeného modelu zdiva s pozůstatky hradeb. Kvalita výsledného modelu je dána přesností použitých přístrojů a odlehlostí způsobenou při identifikaci spojovacích bodů.

Vytvoření modelu zobrazující historickou podobu hradu proběhlo v programu Blender, kde byly vymodelovány jednotlivé části hradu a jeho okolí. Každému vymodelovanému objektu byla vytvořena a přiřazena textura.

K vizualizaci obou modelů bylo využito webového serveru Sktechfab a mobilní aplikace, která byla vytvořena v programu Unity za použití platformy Vuforia. V rámci zpracování byla vytvořena animace simulující průlet kolem hradu, která byla vytvořena k obhajobě této práce.

Prostředí programu Reality Capture je dle mého názoru přehledné a jednotlivé kroky, které vedou k vyhotovení mesh modelu s realistickou texturou jsou celkem intuitivní. Jediným úskalím je způsob vytváření a identifikování spojovacích bodů, kdy není příliš jasný princip, jak se spojovací body k jednotlivým snímkům přiřazují. Jakmile se však na daný princip přijde, je už další práce velmi rychlá a snadná. Velikou výhodou programu je rychlost výpočtů.

Jednou z nejnáročnějších částí zpracování byla práce v programu Blender. Prostředí tohoto programu působí z počátku velice chaoticky a bez znalosti základních klávesových zkratk je práce v Blendru velice zdlouhavá. Jakmile si ale uživatel osvojí základní zkratky a orientuje se v pracovním prostředí, je práce v programu intuitivní a rychlá. Tento program je dostupný zdarma, což je velkou výhodou. Další výhodou je dostupnost různých tutoriálů, díky kterým si lze osvojit základní ovládání, nebo se v užívání programu zdokonalovat.

Použité zdroje

- [1] KASTL, Petr. Příspěvek k otázce vnitřního uspořádání podlaží v donjonu hradu Pajreku. Hláska. 2017, roč. XXVIII, čís. 4, s. 49–54. ISSN 1212-4974
- [2] Pajrek - popis hradu, historie. *Hrady, zámky a tvrze* [online]. [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/hrad-pajrek-nyrsko/texty?tid=975&pos=300>
- [3] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online] [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=13.3111000&y=49.3863000&z=11>
- [4] Pajrek – Wikipedie. [online] [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pajrek>
- [5] Metody měření. *Úvod / Katedra geoinformatiky* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné: <http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/magisterske/uhrova15/metody.html>
- [6] BÖHM, Jozef. Fotogrammetrie učební texty [online]. Vysoká škola báňská technická univerzita Ostrava, c 2002 [cit. 2021-04-018]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/skripta/Fotogrammetrie.pdf>
- [7] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02649-3.
- [8] UMK. *Search media - Wikimedia Commons*. [online] [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=UMK&title=Special:MediaSearch&go=P%C5%99ej%C3%ADt&type=image>
- [9] NOVOTNÝ, Michal. *Fotogrammetrické práce pro doplnění 3D modelu hradu Helfenburk u Ústěka*. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. [online]. 2017 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68951/F1-BP-2017-NovotnyMichal-Bakalarska_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] NOVOTNÝ, Michal. *Tvorba 3D modelu kostela*. Diplomová práce. ČVUT v Praze. [online]. 2019 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/83544/F1-DP-2019-Novotny-Michal-Tvorba-3D-modelu-kostela.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [11] Bezpilotní letadla - Úřad pro civilní letectví. *Úřad pro civilní letectví - Bezpečně a s nadhledem* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/>
- [12] Legislativa provozu UAV. *Výukové materiály Geoinformatika* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://geoinformatika-1.vsb.cz/uavgis/prednasky/02_legislativa.pdf

- [13] VÁVROVÁ, Veronika. *Tvorba a úpravy trojúhelníkové sítě pro vytvoření 3D modelu hradu Helfenburk u Úštěka*. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. [online]. 2017 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68953/F1-BP-2017-Vavrova-Veronika-bakalarska_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] SEKYROVÁ, Kateřina. *Bezpečnostní aspekty provozu UAV v okolí řízených letišť*. Diplomová práce. ČVUT v Praze. [online]. 2018 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77612/F6-DP-2018-Sekyrova-Katerina-Bezp_aspekty_provozu_UAV_v_CTR.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [15] Úvod, členění UAV, sensory. *Výukové materiály Geoinformatika* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://geoinformatika-1.vsb.cz/uavgis/prednasky/01_uvod_deleni.pdf
- [16] KŘEMEN, Tomáš. *Laserové skenování 1. přednáška* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/LSK_1.pdf
- [17] KŘEMEN, Tomáš. *Laserové skenování 2. přednáška* [přednáška]. [cit. 2021-04-27].
- [18] ŠTRONER, Martin - Laserové skenování. [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/LSK/index.html>
- [19] JAŠEK, Petr. *Zvyšování přesnosti dat 3D skenování pro geodetický monitoring*. Disertační práce. ČVUT v Praze. [online]. 2018 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/154905196.pdf>
- [20] D3100 2015 Digital Cameras Discontinued. *301 Moved Permanently* [online]. [cit. 2021-05-09] Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2015/d3100
- [21] Recenze Xiaomi Mi Note 10 – 108megapixelový rekordman | mobilenet.cz. *mobilenet.cz – Mobilní telefony, notebooky a technologie budoucnosti* [online]. [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/recenze-xiaomi-mi-note-10-108megapixelovy-rekordman-39607#3-konektivita-fotoaparata-a-software>
- [22] Recenze Xiaomi Mi Note 10. *Nejlepší poměr Cena / Výkon - porovnání, recenze, doporučení* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.cena-vykon.cz/recenze-xiaomi-mi-note-10/#hlavni-foto>
- [23] DJI Mavic Mini | RobotWorld.cz. *ROBOT WORLD - obchod s robotickými pomocníky* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/dji-mavic-mini>
- [24] Uživatelský manuál. *DJI TELINK Authorized Retail Store*. [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: http://www.djitelink.cz/navody/MavicMini_CZ_DJIM0240C.pdf

- [25] GEFOS Leica | BLK360. *Informace o skeneru BLK360 s technickými parametry*. [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/data/original/skenery/blk360_ds_cz.pdf
- [26] GEFOS Leica | BLK360. *GEFOS Leica | Oficiální zastoupení* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/blk360>
- [27] Leica BLK360 - Create 3D Point Clouds of the Space Around You. *Homepage / United States / Leica Geosystems* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://shop.leica-geosystems.com/buy/blk360/blk360>
- [28] *Megapixel.cz - digitální fotoaparáty a videokamery Sony, Canon, Nikon, Olympus, Panasonic a další | Megapixel* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/adobe-photoshop-lightroom-5#section-parameters>
- [29] GEFOS Leica | Leica Cyclone. *GEFOS Leica | Oficiální zastoupení* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/leica-cyclone>
- [30] Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software | Leica Geosystems. *When it has to be right | Leica Geosystems* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
- [31] Mapping terrain in 3D from UAV drone imagery with photogrammetry - CapturingReality.com. *RealityCapture: Mapping and 3D Modeling Photogrammetry Software - CapturingReality.com* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/Surveying>
- [32] Cultural Heritage - CapturingReality.com. *RealityCapture: Mapping and 3D Modeling Photogrammetry Software - CapturingReality.com* [online]. [cit. 2021-05-13] Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/cultural-heritage>
- [33] Blender 2.77 | Chip.cz - recenze a testy. *Informace, testy a novinky o hardware, software a internetu – CHIP.cz* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/casopis-chip/05-2016/blender-2-77/>
- [34] blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. *blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>
- [35] Třetí verze Meshmixeru přináší nové možnosti práce s modely pro 3D tisk - 3D-tisk.cz. *3D-tisk.cz - Vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/treti-verze-meshmixeru-prinasi-nove-moznosti-prace-s-modely-pro-3d-tisk/>
- [36] Analýzy výškopisu [online]. ČÚZK, [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>

Seznam obrázků

Obr. 1: Lokalizace hradu Pajrek	11
Obr. 2: Ukázka hradu Pajrek z roku 1840	12
Obr. 3: Princip pořizování snímků metodou SfM	14
Obr. 4: Komora UMK 10 (vlevo) a UMK 20 (vpravo).....	15
Obr. 5: Ukázka filmové komory Rolleiflex 6006 (vlevo) a réseau mřížky (vpravo)	16
Obr. 6: Podkategorie otevřené kategorie provozu	18
Obr. 7: Schéma povinných úkonů pro provoz bezpilotních systému	18
Obr. 8: Multikoptéra DJI Mavic2 Pro (vlevo) a křídlo eBee Plus (vpravo)	20
Obr. 9: Rozdělení laserového skenování podle principu měření	22
Obr. 10: Princip jedno kamerového systému (vlevo) a dvou kamerového systému (vpravo).....	23
Obr. 11: Rozmítání svazku jedním zrcadlem (vlevo) a dvěma zrcadly (vpravo).....	23
Obr.12: Rozmítání dálkoměrného svazku pomocí odrazného hranolu	24
Obr.13: Kamerový skener ILRIS 36D	25
Obr.14: Panoramatický skener Z+F IMAGER® 5016	25
Obr. 15: Ruční skener GEOSLAM ZEB Revo RT	25
Obr. 16: Automobilový skener Leica Pegasus Two Ultimate	25
Obr. 17: Dopad elektromagnetického záření na obecný povrch	26
Obr. 18: Chyba způsobena dvojitým odrazem dálkoměrného svazku.....	27
Obr. 19: Chyba způsobena rozbíhavostí dálkoměrného svazku	27
Obr. 20: Digitální fotoaparát Nikon D3100.....	28
Obr. 21: Konfigurace objektivů na zadní straně smartphonu Xiaomi Mi Note 10	29
Obr. 22: Způsob a rozsah náklonu komory	30
Obr. 23: Kvadrokoptér DJI Mavic Mini	30
Obr. 24: Laserový skener Leica BLK 360	31
Obr. 25: Ukázka signalizace vlíčovacích bodů	32
Obr. 26: Ukázka snímku pořízeného z fotoaparátu Nikon D3100 (vlevo) a snímku z mobilního zařízení Xiaomi MI Note 10 (vpravo)	33
Obr. 27: Obecný pohled na pozice a náklon kamer z první etapy (bíla) a z druhé etapy (červená)	33
Obr. 28: Pohled shora na pozice a náklon kamer z první etapy (bíla) a z druhé etapy (červená)	33
Obr. 29: Pozice stanovisek laserového skenování	34
Obr. 30: Ukázka pracovního prostředí programu Lightroom	35
Obr. 31: Ukázka pracovního prostředí programu Leica Cyclone	36
Obr. 32: Ukázka pracovního prostředí programu Reality Capture	37
Obr. 33: Ukázka pracovního prostředí programu Blender	38
Obr. 34: Ukázka pracovního prostředí programu Meshmixer	38
Obr. 35: Ukázka originálního snímku (vlevo) a upraveného snímku (vpravo).....	40
Obr. 36: Ukázka identifikace spojovacího bodu.....	41

Obr. 37: Ukázka funkce Texture Reprojection	42
Obr. 38: Ukázka manuálního zjednodušení zdiva hradu	43
Obr. 39: Ukázka části modelu zachycující reálnou podobu hradu Pajrek	44
Obr. 40: Síť profilů vypočtená z terénní analýzy	45
Obr. 41: Ukázka modelace hradeb	46
Obr. 42: Ukázka vymodelované historické podoby hradu Pajrek	46
Obr. 43: Ukázka základního schéma pro přiřazení textury pomocí obrázku.....	47
Obr. 44: Ukázka části modelu zachycující historickou podobu hradu	48
Obr. 45: Ukázka trajektorie simulující průlet kolem hradu	49
Obr. 46: Ukázka modelů zobrazených v rozšířené realitě	51

Seznam Tabulek

Tab.1 Možnosti nastavení rozlišení skeneru BLK 360	31
--	----

Seznam Příloh

Tištěné:

Příloha A: Rekonstrukce hradu podle D. Gottwalda

Příloha B: Půdorys hradu podle Z. Procházky

Příloha C: Ukázka historické podoby hradu Pajrek

Příloha D: Ukázka reálné podoby hradu Pajrek

Digitální:

Příloha E: Report o registraci mračna bodů – *Report.pdf*

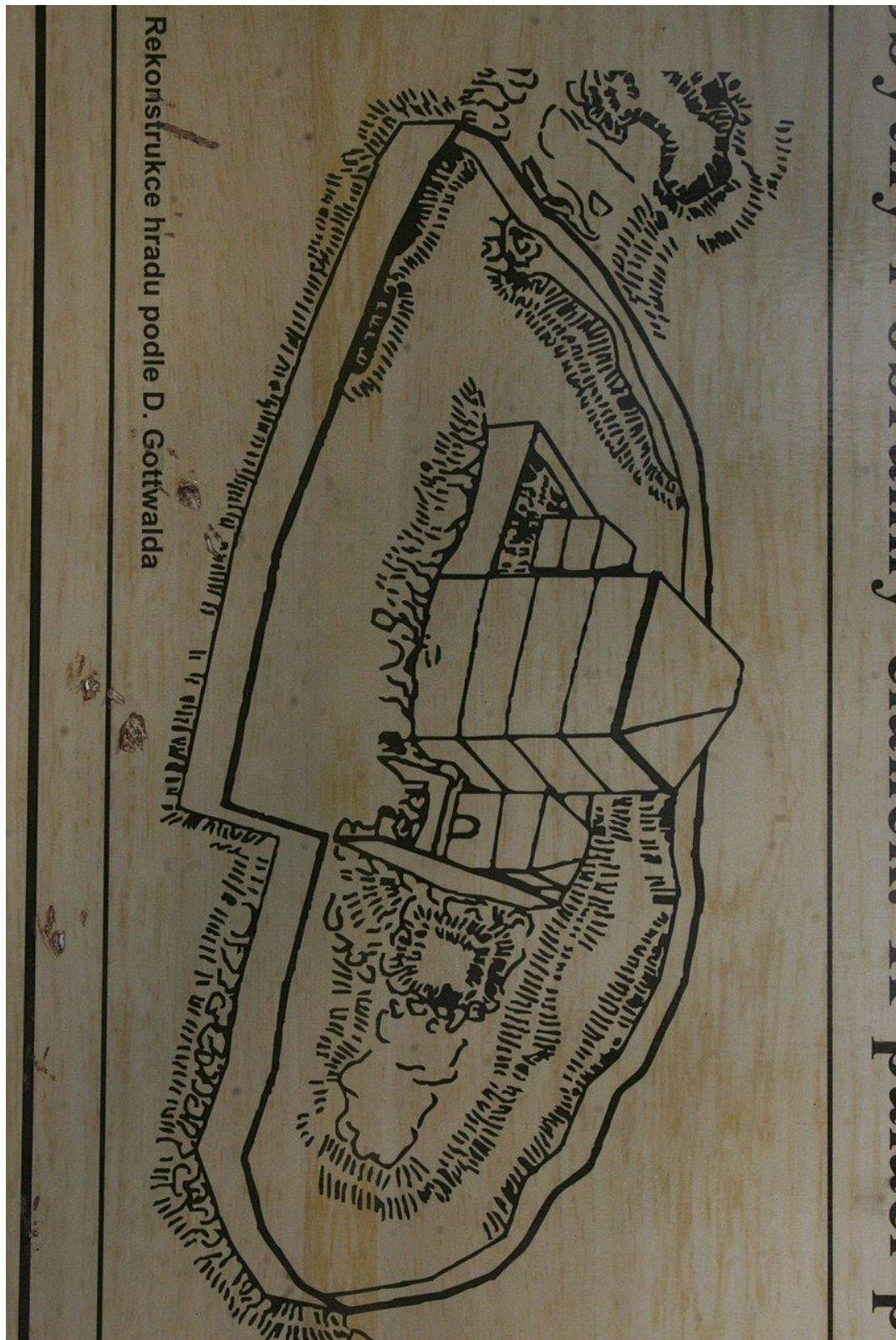
Příloha F: Výsledný model zobrazující reálnou podobu hradu – *Realna_podoba.zip*

Příloha G: Výsledný model zobrazující historickou podobu hradu – *Historicka_podoba.zip*

Pozn.: V přílohách F a G se nachází modely hradu (.obj), soubory materiálů (.mtl) a obrázky textur (JPEG).

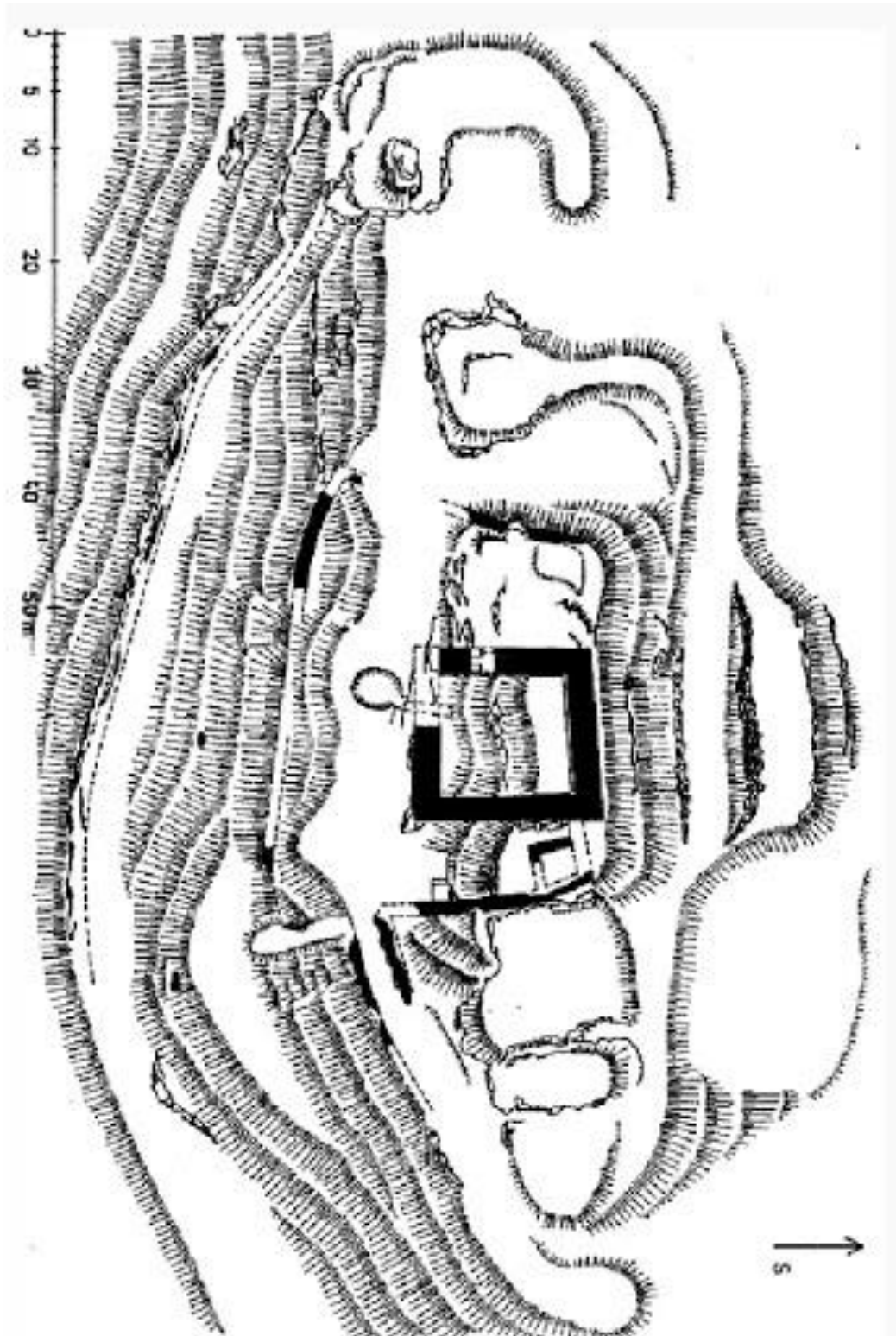
Příloha A

Dostupná z https://turistickyatlas.cz/vse/misto/12950_hrad-pajrek.html

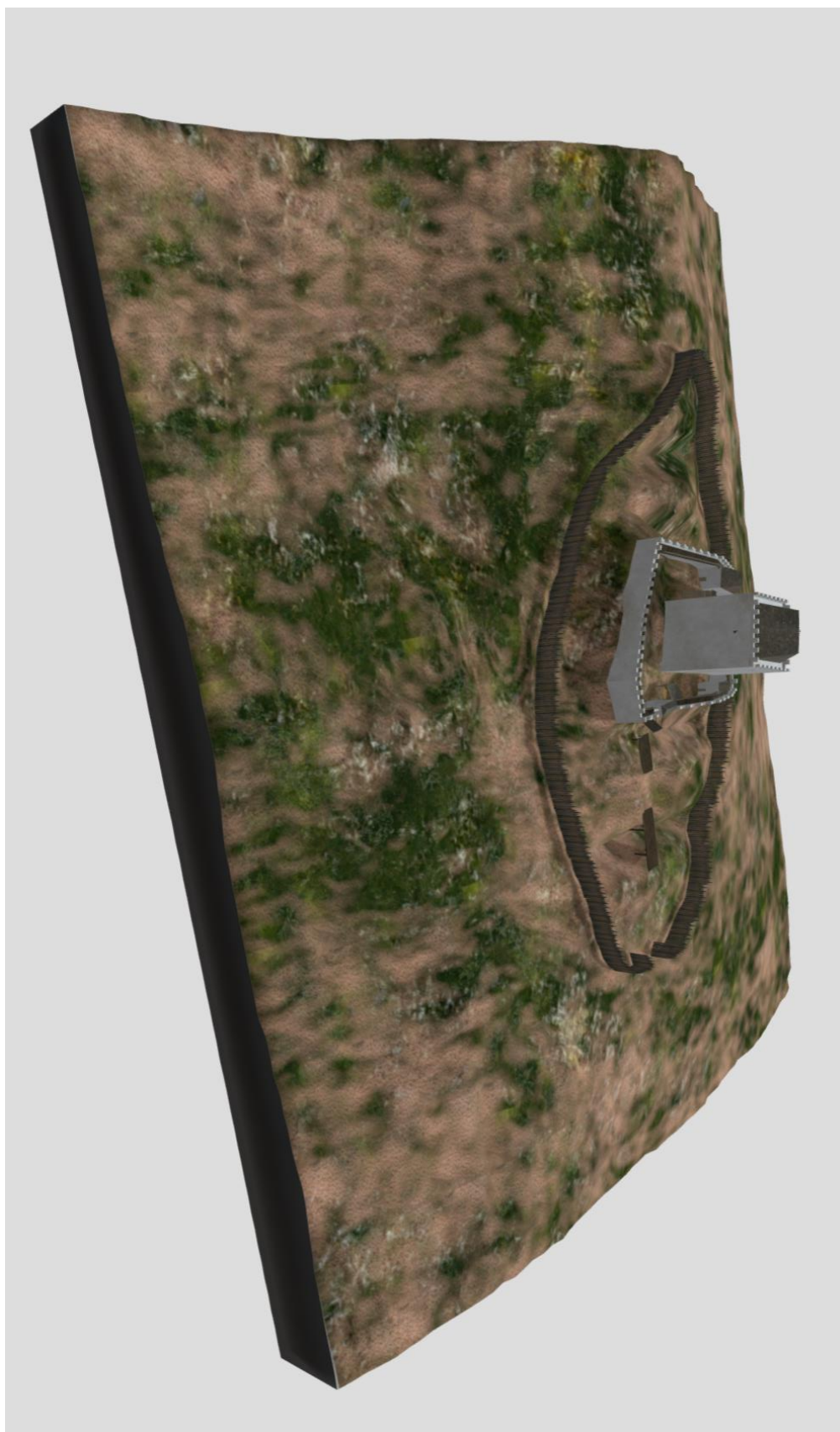


Příloha B

Dostupná z: <http://www.turistickelisty.sportovnilisty.cz/mistopis/hrad-pajrek-ma-nejvetsi-donjon-v-cechach-2/?style=mobile>



Příloha C



Příloha D

