# EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM INFORMATIKAI KAR

# A Rezi vár háromdimenziós modellezése fotogrammetriai módszerekkel

# DIPLOMAMUNKA TÉRKÉPÉSZ MESTERSZAK

Készítette:

Busznyák Kornélia

Témavezető:

Gede Mátyás

egyetemi docens

ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2019

# Tartalomjegyzék

Bevezetés4
Irodalmi áttekintés5
Mérések6
Phantom 47
Kamera8
A mérés menete9
Repülési beállítások9
A modell elkészítése10
Georeferálás14
Modellek összehasonlítása17
Részletesség alapján17
Pontosság alapján19
Időigényesség alapján26
Forgatható modell webes felületen29
A modell publikálása a rezirom.elte.hu honlapon32
Összegzés
Következtetések, javaslatok
Hivatkozások
Képjegyzék
Köszönetnyilvánítás40

### Bevezetés

Diplomamunkám témájául a Rezi vár és környékének különböző fotogrammetriai módszerek alapján történő háromdimenziós modellezését választottam alapszakos szakdolgozatomra építve, melyben ugyanezt a területet lézerszkennerrel mértem fel. Jelen dolgozatban fotogrammetriai módszerekkel modelleztem, illetve összehasonlítottam a különböző modelleket.

Alapszakos dolgozatomban a méréseimet nagy pontosságú geodéziai GPS-szel (Trimble 5800 geodéziai GPS TSC2 vezérlővel), illetve háromdimenziós lézerszkennerrel (Stonex x300) végeztem, míg diplomamunkámhoz a szükséges méréseket UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eszközzel, pontosabban egy DJI által gyártott kamerával felszerelt Phantom 4 Pro típusú drónnal végeztem. (Stonex, 2019) (Trimble, 2019)

A Rezi vár falai korántsem mondhatók egyenes, sima felületűnek, illetve az évek során (körülbelül 600 év) jócskán amortizálódtak. Modellezése emiatt nehéz, hiszen a rengeteg amorf felület és a kis apró részletek sokfélesége megnehezíti azt. Célom kideríteni, hogy egy romvár esetében melyik mérési módszer alkalmazható hatékonyabban, hogy a vár mely részleteinél tudunk pontosabb modellt építeni, ha a lézerszkennert, illetve ha a drónt használjuk mérésünk alapjául. Azt is fontosnak tartom, hogy az egyes méréseket hol, és hogyan érdemes egymással kombinálni, annak érdekében, hogy a lehető legpontosabb, leglátványosabb modellt tudjuk létrehozni.

Dolgozatomban vizsgálom azt is, hogy a különböző adatfeldolgozási módszerek mennyire torzítják a modellt. A drónos felvételezések alapjai képek, melyekből az AgiSoft PhotoScan szoftverrel készítettem háromdimenziós modellt, első körben egy pontfelhő létrehozásával, amire később modellhálót építettem. Ezzel szemben a lézerszkennerrel már a mérés maga pontfelhőt hoz létre. Célom kideríteni azt is, hogy mennyire befolyásolja a modell pontosságát a többlépcsős feldolgozás.

Alapszakos dolgozatomhoz hozzá tartozott egy honlap elkészítése, melyet rezirom.elte.hu webcímen hoztam létre. (Busznyák, 2016)

Ezt a honlapot turisztikai szempontból tartottam fontosnak létrehozni, hiszen a Rezi várról kevés olyan forrás lelhető fel, ahol a várat egy látványos modellként szemléltetik.

4

A háromdimenziós lézerszkennerrel mért és Sketchup háromdimenziós modellező szoftverben (SketchUp, 2019) elkészített modell fel is került a honlapra, azonban reményeim szerint az ebben a dolgozatban elkészített modell még látványosabb és pontosabb lesz, amivel még csalogatóbb lehet a turisták számára.

### Irodalmi áttekintés

Hasonló témában születtek már korábban munkák, szakdolgozatok és diplomadolgozatok is.

A pilóta nélküli repülő eszközökről és azon belül a precíziós mezőgazdaságban való felhasználhatóságukról 2018-ban született egy szakdolgozat, amelyben részletesen kifejti az író, hogy milyen típusai vannak a drónoknak, illetve milyen feltételeket kell teljesítenie a pilótának ahhoz, hogy a repülést végrehajthassa. A dolgozatban kiderül, hogy az UAV eszközöket a katonai felhasználások után a mezőgazdaságban alkalmazzák a legtöbbet. A szakdolgozat szerzője kifejti még, hogy ezeket a pilóta nélküli repülő eszközöket, milyen típusú kamerákkal lehet felszerelni, illetve az elkészített mérésekből milyen vegetációs indexeket lehet számolni. A dolgozat fő témája, hogy hol találkozik a precíziós mezőgazdaság és az UAV eszközök felhasználása, amit egy mérés keretein belül be is mutat. (Dusek, 2018)

Egy másik, szintén 2018-as szakdolgozatban a szerző azt hasonlítja össze, hogy mennyire lehet pontos méréseket végrehajtani egy UAV eszközzel. Ezt a balatoni nádasok területén geodéziai GPS-el történő alapméréshez viszonyítva hajtotta végre. A dolgozatból kiderül, hogy az általa bemutatott mérési módszerrel, 99,78 %-os egyezés van a centiméteres pontosságú GPS-es méréshez képest, illetve, hogy bizonyos esetekben még akár pontosabb is lehet, hiszen például lehetnek olyan objektumok (nádasokon belül elhelyezkedő vízfelületek), melyeket csak a levegőből lehet észlelni. (Bugyi, 2018)

E két szakdolgozat illetve az általam írt diplomamunka között a fő különbség, hogy míg ezek egy nyílt, sík terület felméréséről, és az adatok különböző irányzatú felhasználásáról szólnak, ez a dolgozat egy jellemzően háromdimenziós objektum felméréséről szól.

Egy kiválasztott objektum drónnal való felméréséről is születtek korábban munkák.

Egy 2019-ben készített szakdolgozatban, a sziklamászáshoz kapcsolódóan készült egy bánya sziklafaláról háromdimenziós modell. A szerző ugyan azzal a szoftverrel (PhotoScan) dolgozott, melyet én is használtam a modellem létrehozásához. A szakdolgozat a sziklafal lehetséges megmászási helyeit vizsgálta, egy forgatható, közelíthető háromdimenziós modellen. (Süle, 2018)

Ezekkel a munkákkal szemben én egy összehasonlításra alapoztam diplomamunkámat, amiben a korábban háromdimenziós lézerszkennerrel való felmérést hasonlítok össze, a mostani UAV felvételekből készített modellel.

Célom, kideríteni, hogy e két módszer közül egy romvár esetében melyik mérési módszer alkalmazható jobban, melyik pontosabb, illetve bizonyos részleteket melyik módszerrel érdemes felmérni.

Ilyen témában született 2017-ben egy cikk "Assessing the accuracy of photogrammetric reconstruction by comparison to laser scanned data" címmel, melyben egy lézerszkenerrel valamint fotogrammetriai módszerrel mértek fel egy dombortérképet és ezek egymáshoz képesti pontosságát vizsgálták. (Gede, et al., 2017)

Dolgozatom témája leginkább ennek a cikknek a tartalmához hasonlítható, hiszen én is egy háromdimenziós lézerszkennerrel létrehozott pontfelhőt hasonlítok egy drón által felvételezett képekből generált pontfelhőhöz, viszont esetemben ezt egy viszonylag nagy kiterjedésű vár felmérésével készítettem el, és nem csak pontosság alapján hasonlítottam össze a modelleket, hanem mérési, feldolgozási idő alapján illetve a mérések részletessége alapján is.

### Mérések

Diplomamunkám egyik célja a Rezi vár háromdimenziós modelljének elkészítése volt, melyhez ezúttal UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eszközzel, azaz drónnal végeztem a méréseket. A méréshez használt drón Phantom 4 Pro típusú volt, a képeket pedig az erre erősített DJI gyári kamerával készítettem.

Mérésem helyszíne a Rezi vár, amely a Keszthelyi-hegységben fekszik a Szántói-medence peremén, körülbelül 416 méter magasan. A várat csak északi irányból lehet megközelíteni, mivel meredek sziklafalak határolják délről, keletről és nyugatról. (Busznyák, 2016)

Egyik fő szempont dolgozatom témájának megszületésében az volt, hogy míg a háromdimenziós lézerszkennernek stabilan kell állnia egy ponton, megadott távolságra a mérni kívánt objektumtól a drón ki tud repülni akár egy szakadék fölé is, így pontosabb mérést eredményezhet. A háromdimenziós lézerszkennerrel a vár nyugati falát kívülről egyáltalán nem volt lehetőség lemérni a domborzati körülmények miatt. Az idei UAV mérésemmel ez a fal is tökéletesen elérhetővé vált.

#### Phantom 4

A Phantom 4 Pro típusú drón súlya 1380 gramm, szélessége pedig (forgószárnyak nélkül) 350 mm, tehát viszonylag kompakt, ezáltal könnyen kezelhető. Négy leszerelhető forgószárnnyal rendelkezik. A maximális szélsebesség, amiben repülni képes 10 m/s lehet, a maximális repülési ideje pedig körülbelül 28-30 perc. A bázispontjától való maximális repülési távolság 5 km. Az ilyen típusú drónokat háromféle standard repülési módban lehet használni, "A" (Attitude Mode-ATTI), "S" (Sport Mode) illetve "P" (Positioning Mode) módban. Fontos, hogy mérésünk elején definiáljuk a repülés célját és a számunkra legmegfelelőbb beállítást válasszuk ki, hiszen ezzel megkönnyíthetjük a mérés menetét. (DJI, 2019)

Mérésemkor a drónt "P" módba állítottam, ez a beálltás akkor használható, ha erős és stabil GPS (Global Positioning System) jelet tud fogni a műszer. Ebben a beállításban az eszköz a GPS és az akadályérzékelő (Obstacle Sensing System) rendszer segítségével tud stabilizálódni, valamint az akadályok között mozogni illetve egy bizonyos objektumot követni. "P" módban a legnagyobb a drón maximális dőlésszöge, 42°. A maximális repülési sebesség ilyen beállítások mellett a legkevesebb, 50 km/h. (Heliguy, 2019)

Ezzel ellentétben "A" módban nem áll rendelkezésre GPS jel, valamint az akadályérzékelő rendszer sem működik. Ilyenkor a drón a magasság beállításánál csak a saját barométerét tudja használni. Ebben a beállításban a repülőt manuálisan kell irányítani. Sok pilóta preferálja ezt a repülési módot, hiszen ilyenkor szinte teljes mértékben kézben tarthatja az irányítást. Minden drónpilótának meg kell tanulnia ilyen módban repülni, hiszen előfordulhat, hogy például a "P" módba állított gép elveszíti a GPS jelet és a pilóta rákényszerül, hogy manuálisan irányítsa tovább. "A" módban a drón maximális dőlésszöge 35°, maximális repülési sebessége pedig 58 km/h (Heliguy, 2019)

Sport, azaz "S" módban az látható és az infravörös rendszerek nem elérhetőek, a drón csak a GPS jel segítségével próbálja elérni a lehető legnagyobb sebességet. Ez a beállítás a nagy repülési sebesség miatt nyílt térben használható leginkább. "S" módban a legkisebb a drón maximális dőlésszöge, 15°. Az ebben a módban készített felvételek, videók általában nagyon látványosak tudnak lenni. Ilyen beállítások mellett a drón akár elérheti a 72 km/h-s sebességet is. (Heliguy, 2019)



1. kép Phantom 4 Pro drón. Forrás: http://dji.com

#### Kamera

A drónra szerelt DJI által gyártott kamera FC6310 típusú és 1 colos CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) érzékelővel rendelkezik, illetve tényleges pixelszáma 20 megapixel. Zársebessége 8-1/8000 szekundum. A készített képek JPEG illetve DNG formátumban készülnek, a videók pedig Mp4 és MOV formátumban. A kamera által támogatott SD kártyák a microSDHC, illetve a microSDIC. (DJI, 2019)

A modell elkészítéséhez használt képek JPEG formátumúak illetve 4864 x 3648 felbontásúak. A repülés során 20 méteres magasságból másodpercenként készített 435 képet a kamera.

#### A mérés menete

Egy drón reptetésénél elengedhetetlen, hogy szélcsendes idő legyen, vagy nagyon minimális szélsebességi értékek legyenek, mivel egy minimális széllökés is nagyon könnyen kibillentheti a drónt az egyensúlyából. Ez akár anyagi károkat, vagy balesetet is okozhat. Bár manapság a drónokba kifejezetten jó rendszereket építenek be, amik korrigálni tudják ezeket a széllökéseket, a biztonságos repülés érdekében a lehető legszélcsendesebb időben kell mérnünk. Mint már említettem a maximális megengedett szélsebesség a Phantom 4 típusú drónoknál 10 m/s. (Kayakers, 2019)

A mérésre 2019. február 16-án került sor délelőtt 11 órai kezdettel. Napsütéses, szélcsendes idő volt, tehát az időjárási körülmények megfelelőek voltak ahhoz, hogy a repülést végrehajthassam.

A Rezi vár megközelítése sajnos nem egyszerű, de a Balaton-felvidéki Nemzeti Park megfelelő engedélyével (amivel rendelkeztem) viszonylag jól meg lehet közelíteni autóval. Ez azért volt fontos számomra, mivel a drón akkumulátora maximum 28-30 perc működési idővel rendelkezik, ami nem feltétlen elég egy mérés elvégzéséhez, így fontos, hogy elérhető közelségben legyen egy olyan hely, ahol fel lehet tölteni az akkumulátort. Esetemben sem volt elég egy töltés, így mérésemet kénytelen voltam két részletben elvégezni. A két repülésből összesen 435 olyan kép készült, amit felhasználtam a modell elkészítéséhez, Készítettem egy 5 perces videót is a várról és környékéről, amit feltöltöttem a diplomadolgozatomhoz kapcsolódóan elkészített rezirom.elte.hu honlapomra.

#### Repülési beállítások

A repülés első lépéseként a drónnak egy "Homepoint"-ot, azaz bázispontot kellet megadni, annak érdekében, hogy ha túl alacsony az akkumulátor töltöttségi szintje vagy a drón elveszíti a kapcsolatot a távirányítóval, vissza tudjon találni erre a pontra, és le tudjon szállni biztonságos helyen. (DroneZon, 2014)

Ezt követően beállítottam, hogy a drón nagyjából a vár átlagos magassága fölött 20 méterrel repüljön, így semmilyen akadályba nem ütközhetett bele. A drón négyszer haladt el a vár fölött hosszanti irányba (Észak-Dél). Eközben másodpercenként készített automatikusan képeket és fordulásokkal együtt átlagosan 5 km/h-val haladt.

Ezekkel a beállításokkal több, mint 400 képet készített. Fontos volt, hogy ne csak közvetlen a vár fölött repüljön, hiszen így a külső várfalak nem jelentek volna meg részletesen, ezért kétszer elrepült közvetlenül a vár fölött északi és déli irányba is 5 méteres pufferrel majd keleti és nyugati irányba egyszer-egyszer átlagosan szintén 5 méterrel a várfalak mellett.

### A modell elkészítése

A Rezi vár háromdimenziós modelljének elkészítéséhez az Agisoft PhotoScan Professional szoftver 1.4.0 verzióját használtam. (PhotoScan, 2016)

A szoftver digitális képek fotogrammetriai feldolgozását végzi el, majd háromdimenziós, térbeli modellt generál, ami a különböző GIS szoftverekkel kompatibilis.

Első lépésként az álltalunk készített fotókat be kell tölteni a szoftverbe. Ezt a "workflow" legördülő menün keresztül tudjuk megtenni, az "add photos" paranccsal. Mérésem során 435 képet készítettem a drónnal, tehát esetemben a szoftvernek ennyi képből kell összeraknia a modellt. A képek betöltését viszonylag gördülékenyen pár másodperc alatt végrehajtja a szoftver.



2. kép Képek hozzáadása a PhotoScan szoftverhez, "add Photos" paraccsal. (Saját kép)

Ezt követően szintén a "workflow" menüben található "Align Photos" paranccsal igazítanunk kell a képeket. Ebben a szakaszban a szoftver egy ritka pontfelhőt épít fel, amit, a kamera irányát és tájolását figyelembe véve tud megtenni. Ezt a lépést ötféle minőségben tudja végrehajtani. Az öt lehetőség az "highest", azaz legmagasabb "high", azaz magas "medium", azaz közepes "low" azaz gyenge és "ultralow" azaz nagyon gyenge. Esetemben ezt a lépést "high" módban végeztem el. Ez a folyamat már hosszabb időt vett igénybe, a ritka pontfelhő előállításához körülbelül 10 percre volt szükség.



3. kép Képek igazítása PhotoScan szoftverben, "Align Photos" paraccsal. (Saját kép)

Ezek után a létrehozott ritka pontfelhőt sűríteni kell, ezt pedig a "build dense cloud" parancsal lehetséges, ami ugyancsak a "workflow" menüben érhető el. Itt szintén öt minőség közül lehet választani, "highest", "high", "medium", "low, illetve "lowest". Ez a folyamat veszi igénybe a legtöbb időt. Ezt a lépést többféle módban is megpróbáltam végrehajtani. Mivel a lehető legjobb modellt szerettem volna elkészíteni ezért, adta magát, hogy a pontfelhő sűrítést minél magasabb szinten végezzem el, de sajnos számítógépem nem túl nagy kapacitású, bár memóriája 8 gigabájtos, "highest" módban nem futott le rajta a folyamat. Miután saját gépemen nem sikerült ezt a lépést legmagasabb fokozaton lefuttatni, megpróbáltam egy 32 gigabájt memóriával rendelkező asztali számítógépen is, de azzal sem jártam sikerrel. Tapasztalatom szerint a szoftver erőforrás igénye elsősorban a processzorral szemben kritikus.

Leginkább a processzorban lévő magok száma determinálja a futási időt. Laptopomon csak "medium" módban tudtam megcsinálni ezt a lépést, és bár ez is nagymértékű pontsűrítést eredményezett megpróbáltam a 32 gigabájtos gépen "high" módban lefuttatni a modellt, ami sikerült is, így ez lett a végleges ebben a munkafolyamatban. Ez a lépés körülbelül 2 napot vett igénybe.



4. kép Pontfelhő sűrítése PhotoScan szoftverben "Build Dense Cloud" paranccsal. (Saját kép)

Ezt követően a "Build mesh" paranccsal létrehoztam a sűrített pontfelhőből a modellhálót. Ezt a parancsot szintén a "Workflow" menüben lehet elérni. Itt több beállítás közül választhatunk. A "Surface type"-nál beállíthatjuk a felület típusát. Ennél a lehetőségnél az "Arbitrary surface" és a "High field surface" közül választhatunk. Előbbi a zárt objektumoknál, például szobroknál, épületeknél, váraknál használható leginkább, míg utóbbi a nyílt terepi objektumoknál alkalmazható legjobban. Ebből kiindulva és az "Arbitrary surface" lehetőséget választottam. Ezt követően beállíthatjuk, hogy a modellhálót az eredeti ritka pontfelhőből (Sparce cloud), vagy az álltalunk létrehozott sűrű pontfelhőből (Dense cloud) szeretnénk létrehozni. A "Face count" lehetőségnél választhatjuk ki a végső hálóban lévő sokszögek maximális számát. A szoftver három javasolt értéke közül (Low, Medium, High) választhatunk, illetve megadhatunk saját értéket is a "custom" lehetőségnél. Ezt a lépést médium szinten végeztem el. Ezek után beállíthatjuk, hogy a szoftver interpoláljon, ne interpoláljon vagy extrapoláljon. Én az interpolálást választottam, amely során egy bizonyos sugarú körön belül interpolál és ezáltal kitölti a hiányos részeket. Ez a folyamat sem vett igénybe túl sok időt, körülbelül 15 perc alatt lefutott.



5. kép Modellháló létrehozása PhotoScan szoftverben "Build Mesh" paraccsal. (Saját kép)

Ezzel a lépéssel létrejött a kész modellem. Ám ennek a modellnek a térbeli elhelyezkedése még nincs megadva, ezért georeferálni kell.



6. kép A kész modell. (Saját kép)

#### Georeferálás

Ahhoz, hogy a háromdimenziós lézerszkennerrel és a drónnal készített modelleket össze tudjam hasonlítani, fontos, hogy egy koordináta rendszerben legyenek elhelyezve. A korábbi modellt még alapszakos szakdolgozatom elkészítésekor georeferáltam nagy pontosságú geodéziai GPSel mért pontok alapján. Szintén ezen pontok alapján georeferáltam a drónnal mért és PhotoScan-ben összeállított modellt is. Ezt a lépést a CloudCompare nevű szoftver v2.10-alpha verziójával végeztem el. (CloudCompare, 2016) (Bartha & Havasi, 2011)

Első lépésként meg kellett nyitnom a PhotoScan szoftverben összeállított modellt a Cloud Compare-ben. Ehhez a PhotoScan és a CloudCompare álltal is támogatott .ply formátumba kellett exportálnom a modellt. (FileSuffix, 2019)

Ezt követően ki kellett választanom azokat a pontokat, amelyek jól azonosíthatók a modellen és alkalmasak a georeferálás végrehajtásához. Ehhez a lépéshez 7 olyan pontot választottam ki, melyeknek meg voltak a pontos GPS koordinátái és viszonylag elszórtan helyezkednek el a modell területén.



7. kép Georeferáláshoz használt pontok helye. (Saját kép)

A georeferálást az "Align two clouds by picking equivalent point pairs" paranccsal lehet végrehajtani. Első lépésként a modellen azonosítani kell a kiválasztott pontokat. Ezek a pontok a felső dobozban jelennek meg, még a georeferálás előtti saját koordinátákkal. Ezt követően az egyes pontokhoz hozzá kell rendelni a GPS-el mért EOV koordinátákat. Fontos figyelni arra, hogy minden ponthoz a megfelelő koordinátákat vegyük fel, különben a georeferálás nem lesz pontos, és a modell torzul. (Dr. Varga, 2014)

🥘 georef_pontok_8 - Jegyzettömb								
Fájl	Szerkesztés	Formátum	Nézet	Súgó				
1	5123	06.6250	17	70707.2031	L	410.7166		
2	5123	16.5000	17	70698.7813	3	411.4066		
3	5123	12.6563	17	70694.4844	Ļ	412.8766		
4	5123	28.6250	17	70667.5000	)	414.0066		
5	5123	10.8438	17	70665.8750	)	414.5166		
6	5123	13.7813	17	70654.7969	)	414.3966		
7	5123	16.2188	17	70654.2500	)	414.6066		

8. kép Georeferáláshoz használt pontok EOV koordinátái. (Saját kép)

Minden egyes pontot külön kell felvenni a második dobozban található "ceruza" ikon segítségével és megadni az X, Y és Z koordinátákat. Ezt követően fontos bepipálni az "adjust scale" lehetőséget, hogy a szoftver hozzá igazítsa a modellt a megadott koordinátákhoz. Ha megadtuk mind az eredeti pontokat, mint a referencia pontokat, az "align" gombra, majd a zöld pipára kattintva a szoftver végrehajtja a georeferálást.



9. kép Georeferálatlan (lejjebb) és georeferált (feljebb) modell helyzete egymáshoz képest. (Saját kép)

Látható, hogy a georeferálást követően a modellnek mind a térbeli helyzete, mind a méretaránya megváltozott. Ezzel a lépéssel lehetővé vált a két modell pontosságának összehasonlítása, mivel mindkét modell azonos koordináta rendszerben van georeferálva.

A georeferálás közben a modell torzul, így a továbbiakban a torzulási mátrix alapján számolt RMS (root mean square) értéknél nem várhatunk pontosabb modellt. Esetemben ez a torzulás 0,548411 méter.

C Align info ×								
	Final RMS: 0.548411							
	Transformation matrix         1.414       -0.273       0.217       14.833         0.265       1.430       0.071       -10.819         -0.226       -0.029       1.439       436.123         0.000       0.000       1.000							
	ОК							

10. kép: Georeferálás közbeni torzulás. (Saját kép)

### Modellek összehasonlítása

#### Részletesség alapján

A két modell összehasonlításának első lépéseként a modellek részletességének vizsgálatát választottam. Mivel két különböző módszerrel lett elkészítve a modell ezért fontos összevetni, hogy a vár melyik részén melyik módszer használata volt a részletesebb.

A háromdimenziós lézerszkennerrel készített modell legnagyobb hátránya az volt, hogy olyan helyeken, ahol nem lehetett stabilan felállítani a műszert nem lehetett felvételt készíteni. A Rezi várat két oldalról (északról és nyugatról) olyan szakadék veszi körül, ahonnan lehetetlen volt ezzel a módszerrel mérést végezni, illetve a keleti oldalt is csak a legdélebbi résznél tudtam felmérni. Ebből következik, hogy a vár északi és keleti fala kívülről egyáltalán nem lett felmérve, ezáltal az elkészült modell ezeken a területeken alacsonyabb pontosságot ér el.

Ezzel szemben a drónnal való felmérés során a vár minden falát sikerült felmérni, hiszen ezzel a módszerrel nem akadály a meredek sziklafal, mivel ehhez a felmérési formához nincs szükség stabil felületre, a drón egyszerűen ki tud repülni bármilyen szakadék fölé.

Tehát megállapítható, hogy ebből a szempontból az UAV-val mért modell pontosabb és részletesebb is.



11. kép: Várfal összehasonlítása a kétfajta mérésnél (balra: drónfelvételek alapján készült modell, jobbra: lézerszkenneres mérés alapján készült modell). (Saját kép)

Azonban részletesség szempontjából a lézerszkenneres mérésnek is van előnye, mivel amíg a drónnal egy adott magasságban felülről mértem a várat, a lézerszkennerrel olyan magasságban, horizontálisan mértem, amiből a vár keleti falán elhelyezkedő "ablak" tisztán látszik. Az UAV- os mérésen látszik ugyan, hogy bemélyedés van a falban, de a modell nem adja vissza, hogy tényleg lyuk van a falon, valószínűleg a függőleges mérésből adódóan, a modell készítése során a szoftver, a lyukra vetülő árnyékokat úgy értelmezte, hogy ott is fal van.



12. kép "Ablak" összehasonlítása a kétfajta mérésnél (balra: drónfelvételek alapján készült modell, jobbra: lézerszkenneres mérés alapján készült modell). (Saját kép)

Ebből a szempontból tehát a lézerszkenneres mérés tekinthető pontosabbnak.

Hozzá kell tenni, hogy a lézerszkennelt modellnél ez csak a pontfelhőnél érvényes. Mint már említettem ennek a falnak a külső része nem lett beszkennelve, ezért a szoftver erre a részre maga generált felületet, nagyon kevés adat alapján, így a szoftver által generált modellhálón szintén nem látszik, hogy lyukas lenne a fal (ez a 11. képen látszik).

#### Pontosság alapján

A modellek összehasonlítását a CloudCompare szoftver v2.10-alpha verziójával végeztem el. Ebben a szoftverben kétféleképpen lehet összehasonlítást végezni. Az első, amikor egy pontfelhőt és egy modellhálót viszonyít egymáshoz, a második pedig, amikor két pontfelhő áll rendelkezésre és ezeket vetjük össze egymással.

Azért volt fontos kihangsúlyozni, hogy melyik modell a részletesebb, mivel ez a fajta összehasonlítás csak a közös pontokat veszi figyelembe. Tehát, ott nem fog anomáliát találni a szoftver, ahol az egyik modell hiányos.

Elsőként a háromdimenziós lézerszkennerrel mért pontfelhőt és a drónnal mért, a PhotoScan szoftverben előállított modellhálóból létrehozott pontfelhőt hasonlítottam össze egymással.

Ehhez a CloudCompare ikonsorában találhatunk egy parancsot, "Compute cloud/cloud distance" elnevezéssel, azaz távolság számítása pontfelhő és pontfelhő között. (CloudCompare, 2015)

Ennek a funkciónak a használatához először ki kell jelölnünk az összehasonlítani kívánt fájlokat, majd az ikonra kattintva a szoftver lefuttatja a folyamatot. Ezt követően egy olyan modellt kapunk, ahol a különböző színek jelölik az eltérések mértékét. Jelen esetben kék szín jelöli a minimális eltérést, zöld, citromsárga és narancssárga ilyen sorrendben az egyre növekvő különbségeket, a piros pedig a legnagyobb anomáliákat.

Fontos hangsúlyozni, hogy az összehasonlítás során a drónfelvételezésből készített pontfelhőt vettem alapnak, és ehhez hasonlítottam a lézerszkennerrel készített pontfelhőt. Azért választottam ezt a változatot, mivel a drónnal való mérés során a vár egésze felmérésre került, viszont a lézerszkennerrel nem sikerült minden szegmens felmérése. Tehát a drónos pontfelhőben a lézerszkenneres pontfelhő nagy része megtalálható és így figyelmen kívül hagyja a szoftver azokat a pontokat, amiket lézerszkennerrel nem sikerült felmérni.

Ha az ellenkezőjét választom, tehát a szkennerrel történt modellt hasonlítom az UAV-os modellt, akkor számomra nem releváns különbségek látszanának a modellen, mivel a lézerszkennelésben nem létező pontokat hasonlítana a hozzá legközelebb eső ponthoz, ami lehetséges, hogy méterekre van az eredeti ponttól.

Első körben az egész modellre lefuttattam ezt a folyamatot. Ez azonban egy elnagyolt eredményt hozott, mivel a két pontfelhő között vannak nagyobb eltérések is, így a szórás nagyon nagy volt és az eredmény nem tükrözte jól, hogy az egyes apró részeken mekkora a valódi eltérés (13. kép).



13. kép Eltérések szemléltetése az egész várat tekintve. (Saját kép)

Ahhoz, hogy értékelhető módon kimutassa a szoftver az anomáliákat, öt részre bontottam mind a lézerszkennerrel, mind a drónnal mért modell pontfelhőjét. Később ezeken a szegmenseken külön-külön vizsgáltam az eltéréseket.

A pontfelhők feldarabolásához a "segment" eszközt használtam, ami lehetővé teszi, hogy úgy vágjuk meg a pontfelhőt, hogy a levágandó rész és a használni kívánt rész külön pontfelhővé alakul. Nem veszik el a levágott rész, hanem a későbbiekben még felhasználható. Ezzel a módszerrel haladtam végig a váron északról dél felé haladva és öt különálló pontfelhőt hoztam létre.



14. kép: A Rezi vár feldarabolása az összehasonlításhoz. (Saját kép)

Az első rész a vár legészakibb része (14. kép). Ez az egyik olyan terület, ahol a lézerszkennerrel nem tudtam a várfalakról kívülről mérést végezni, így itt ez a pontfelhő nem túl részletes. Látható, hogy a legnagyobb eltérések asz északi várfal külső részén, illetve a keleti fal külső részén tapasztalhatók. Ez valószínűleg annak tudható be, hogy a lézerszkennerrel mért pontfelhő ezeken a területeken jóval ritkásabb esetleg pontatlanabb. A várfalak belső részei viszonylag kis anomáliát mutatnak, hiszen itt mindkét mérés maximális adatszerzéssel zajlott. Nagyobb eltérés tapasztalható még a lépcsőknél illetve a belső lépcsőt a külső falakkal összekötő falaknál. Ez azért van, mivel a lépcsőt és környékét a három éve történt lézerszkenneres mérésem óta felújították.

Ezért ezt a részt külön is megvizsgáltam, hogy ne befolyásolják az itt fellelhető nagy különbségek a vár többi részén található kisebb anomáliák látványosságát. A 15 képen látszik, hogy ennél a résznél a két pontfelhő közötti a maximális eltérés 0,625011 m, míg az átlagos eltérés 0,0166365 m. Jól látható, hogy nagy eltérések vannak még a várfalak éleinél, illetve sarkainál. Ez annak tudható be, hogy a lézerszkenner sokkal sarkosabb felvételeket tudott készíteni, amik eleve pontfelhő formájában jelentek meg. Ezzel szemben a drónos felmérésnél a képekből kellett pontfelhőt készíteni, ami pontatlanabb eredményt hozott.



15. kép Eltérések a Vár első részében két perspektívából. (Saját kép)



16. kép Eltérések mértéke és hisztogrammja. (Saját kép)

A második részlet a vár középső részének északi fele volt (16. kép). Ezen a szegmensen is nagyságrendileg megegyező eltérés tapasztalható, mint az előzőn. A maximális eltérés 0,75138 m, az átlagos eltérés pedig 0,0680849 m (17. kép). Szintén ott tapasztalható nagyobb anomália, ahol a lézerszkennerrel nem sikerült a külső várfalat lemérni, így azon a részen ritkásabb és pontatlanabb a pontfelhő. Itt is megfigyelhető, hogy nagyobb különbségek vannak azokon a részeken, ahol a várfal a földet éri, illetve, ahol a várfal valamilyen formában megtörik. Ez szintén annak tudható be, hogy a lézerszkenner jobb felvételeket tud készíteni a sarkosabb területekről.



18. kép Eltérések a vár második részén két perspektívából. (Saját kép)



17. kép Eltérések mértéke és hisztogrammja. (Saját kép)

A harmadik szegmens a vár középső területének déli része volt (18. kép). Ezen a területen a maximális eltérés 0,70575 m, míg az átlagos eltérés a két pontfelhő között 0,0699198 m (19. kép). Ez szintén minimálisnak mondható. A nagyobb eltérések itt is a vár keleti falánál figyelhetők meg. Itt nagyobb különbségek fedezhetők fel a keleti várfal előtt elterülő földfelszínen is, ez valószínűleg a három év leforgása alatt megváltozott domborzati viszonyok miatt lehet. Szintén látványos az eltérés azokon a területeken, ahol a hirtelen törés van a várfalakban, illetve ahol a várfalak a földhöz csatlakoznak.



20. kép Eltérések a vár harmadik részén két perspektívából. (Saját kép)



19. kép Eltérések mértéke és hisztogrammja. (Saját kép)

A negyedik és az ötödik szegmens a vár déli része és tulajdonképpen együtt alkotnak egy részt, viszont mikor egyben vizsgáltam őket szintén nem mutatta ki a szoftver a lényeges eltéréseket, ezért szétválasztottam két darabra. Kivágtam a két pontfelhőből a tető, illetve a tető alatt lévő belső teret.

Erre azért volt szükség, mivel a tető nagy részét a lézerszkenner nem mérte le, hiszen jelentős felületek voltak takarásban a földön felállított műszer elől. Viszont ez a rész a drónos felmérés során teljes mértékben felmérésre került, mivel felülről teljes rálátása volt a műszernek a felületre.

Nem csak a tető okozott problémát ilyen szempontból, hanem a vár belső része is. Ez a terület oldalról szinte teljesen (két ajtót kivéve), felülről pedig abszolút takarásban van, ezért a drónnal lehetetlen volt mérést csinálni róla. Viszont a lézerszkenner két állásból is belátott az ajtókon, így tudott ezekről a területekről információt gyűjteni, még ha nem is túl sűrű pontfelhő létrehozásával.

Ezek miatt tehát a negyedik rész csak a vár déli részének falaiból áll. Ennél a szegmensnél a legnagyobb eltérés a két pontfelhő között 0,864165 m, míg az átlagos eltérés 0,128602 m, tehát az eddigi részletek közül itt tapasztalható a legnagyobb eltérés. A legnagyobb anomália a déli ajtó rácsainál tapasztalható. Ez valószínűleg azért lehet, mivel a lézerszkenner a déli állásból nagyon jó felvételt tudott készíteni róla, viszont a drónos mérés során ez a rész részleges takarásban volt a tető miatt.



21. kép Eltérések a negyedik résznél (jobbra), eltérések mértéke és hisztogrammja (balra). (Saját kép)

Az ötödik és egyben utolsó szegmens a vár déli részéből kivágott tető és a tető alatt elhelyezkedő belső tér volt. Erről a részről nem készítettem összehasonlítást, mivel szinte egyetlen közös pontja sem volt a két pontfelhőnek.

A modellek összehasonlításánál jól látszik, hogy nagyrészt egyezik a két modell, viszont van pár rész, ahol viszonylag nagy anomáliákra derül fény.

Tehát összességében elmondható, hogy a várfalak azon részein, ahol viszonylag egyenes és egysíkú felületeket találunk, a két mérés egymáshoz képest nagyon minimális eltérést mutat. Ahol a falakban kisebb törések találhatók szintén minimális eltérések figyelhetők meg. Azonban, ahol már valamilyen nagyobb törés van a falakban, illetve ahol a várfalak a földhöz kapcsolódnak, tehát gyakorlatilag 90 fokos törés van, ott nagy különbségek fedezhetők fel a vár összes részén. Nagy anomáliák találhatók még azokon a részeken, ahol az egyik vagy a másik mérés sokkal pontosabb, ilyen például a keleti falban található lyuk, ahol a lézerszkenner pontos mérést tudott végrehajtani, viszont a drónfelvételekből készített pontfelhőt befolyásolták a képeken lévő árnyékok. illetve a déli részen található ajtó, ahol szintén jobb felvételeket tudott készíteni a lézerszkenner, mint a drón, mivel a drón felvételezését befolyásolta a kapu fölött lévő tető. Olyan különbségek, amiket a 3 év alatt lezajlott változások generáltak viszonylag kevés van, ilyen az északi részen található lépcső és a középső rész földfelszínének változása.

#### Időigényesség alapján

Egy modell létrehozásánál az is nagyon fontos lehet, hogy mennyi időt vesz igénybe egy-egy felmérés, illetve az adatok feldolgozásánál, milyen mértékű és milyen időigényű munkát végzünk.

A háromdimenziós lézerszkennerrel való felmérés különösen időigényes volt. Egy lézerszkenner viszonylag termetes eszköz, illetve nem is egyszerű hozzá jutni. A külső körülmények a lézerszkennelésnél is nagyon fontosak. Esőben a mérést ellehetetleníti a műszer elázásának lehetősége, illetve csak úgy, mint ködben, a lézersugár nem tud eljutni a kiszemelt objektumig, mivel megtörik a műszer és a fal közt felgyülemlő részecskahalmaz miatt. Szerencsésnek érzem magam, hogy a Geodézia Zrt. annak ellenére, hogy elsőre az időjárási körülmények miatt nem sikerült elvégezni a mérést, egy következő alkalommal is tudta biztosítani az eszközt és a szakértelmet.

A lézerszkenner felállítása sem egyszerű feladat, mivel meg kell találni azokat a stabil pontokat, ahol a műszer felállítható és a mérések a leghatékonyabban elvégezhetők. Tehát ez a fajta mérés egy hosszadalmasabb tervezési időt vesz igénybe.

Mivel a szkenner egy állásból, annak ellenére, hogy képes a 360 fokos körbefordulásra a várnak csak egy bizonyos szegmensét képes felmérni. Ezért volt szükség az én esetemben is hét állásból mérést végezni, hogy a lehető legtöbb adatot be tudjuk gyűjteni. Ahhoz, hogy hét állásból mérést végezzünk, az egyes mérések után szét kellett szedni a műszert majd a következő ponton újra összeállítani, ami nagyon sok időt vett igénybe. Ám, ahogy már említettem annak ellenére, hogy a lehető legtöbb mérést végeztem a várnak így is voltak olyan részei, amiket nem sikerült felmérni. Tehát ahhoz, hogy még pontosabb modellt tudjunk létrehozni, szükség lett volna még legalább két mérésre, a várfalak azon szakaszain, amiket szakadék ölelt körül.

Ezzel szemben a drónnal való felmérésnél nem kellett különösebb szakértelem az eszköz használatához, az alapvető pilóta tudáson kívül, valamint az eszköz üzembe helyezési ideje is töredéke volt a lézerszkenner felállításához képest. Előzetes tervezésre itt is szükség volt, hiszen olyan magasságot kellett választani, ami alkalmas a vár felmérésére, illetve ahol semmi nem akadályozza a drón útját. A mérési idő szintén jóval kevesebb volt, hiszen két repülésből sikerült a kellő információkat begyűjteni a várról.

Összességében tehát a mérési idő a lézerszkenneres felmérésnél számottevően több volt, mint az UAV-os felmérésnél.

A modell létrehozásánál ez az arány viszont megfordult. A lézerszkennerrel való mérésnél a műszer eleve egy pontfelhőt alkot, míg a drónos felmérésekből először képeket kapunk, amiből még erre specializálódott szoftverekkel, esetemben a PhotoScann-el pontfelhőt kellett csinálni. Ezt követően lehetett csak elkezdeni a modell létrehozását, ami esetemben körülbelül két napot vett igénybe. Ezzel szemben a lézerszkennelt pontfelhőből viszonylag gyorsan lehet modellt gyártani a CloudCompare szoftverben, ha megfelelő mennyiségű és minőségű kontrollpontot használtunk a mérés során.

Ezek alapján a modell alkotásához felhasznált idő a drónos felmérésnél volt jóval több, viszont mindent egybevetve nagyságrendileg azonos volt a mérés elvégzésére és a modell létrehozására együtt szánt idő.

Ezek alapján megállapítható, hogy a két modell egymáshoz képest nagyrészt pontos. Tehát a két modell közti különbséget főként az okozza, hogy milyen mennyiségű adatot sikerült szerezni a felmérés során. Mivel a drónnal való mérés során a körülmények miatt sokkal több adatot sikerült szerezni és ebből adódóan látványosabb, jobb modellt lehetett létrehozni valamint időben összességében nagyjából megegyezett a két fajta felmérés ezért úgy gondolom a drónnal való felmérés ilyen esetekben jobban alkalmazható.

A kétféle mérést érdemes lehet kombinálni. Sok olyan részlet van, amit a lézerszkenner pontosabban tudott felmérni, ilyenek például a várfalak sarkai. Ezeken a részeken a drónnal készített felvételekből előállított pontfelhő nem adja vissza eléggé a sarkosságokat.

A lézerszkenner a fedett belső részekről is képes volt felvételt készíteni, azonban csak kis részéről, ezzel szemben drónnal ez a rész egyáltalán nem lett felmérve. Úgy gondolom, hogy ezt a részt is fel lehetne mérni fotogrammetriai módszerrel, hiszen drónnal akár be is lehetne repülni ezekre a területekre, vagy kézből is lehetne fényképezni, azonban diplomamunkámhoz készített mérésemkor erre nem volt lehetőségem. Azonban lézerszkennerrel úgy gondolom több adatot erről a részről képtelenség lett volna gyűjteni, mivel ezen a területen a falak viszonylag közel helyezkednek el egymáshoz képest és nem lehet úgy felállítani a szkennert, hogy a minimális mérési távolság meglegyen és a műszer képes legyen mérésre.

A tető, az északi és keleti várfalak valamint a nyugati várfal egy része szintén csak drónnal lett felmérve, mivel a tetőre nem látott rá a lézerszkenner, az említett falak pedig kívülről hatalmas szakadékokkal van körülvéve, ahol lehetetlen volt felállítani a szkennert.

Tehát akár ha a pontfelhő azon részeit ahol az egyes mérések jobban, pontosabban sikerültek kombinálnánk egymással, illetve, ha a vár még mindig felméretlen részeit valamilyen módszerrel sikerülne felmérni még pontosabb modellt kaphatnánk.

### Forgatható modell webes felületen

Diplomamunkám egyik célja az volt, hogy az elkészült modellt webes felületen publikáljam annak érdekében, hogy minél több ember megtekinthesse. Ezt az x3dom 3D keretrendszer segítségével hajtottam végre. (x3dom, 2019)

Ezzel a módszerrel egy html (HyperText Markup Language) alapú weblapot hoztam létre, amit később beépítettem a rezirom.elte.hu webcímen elérhető honlapomra. (HTML.com, 2015)

Ahhoz, hogy a modell könnyen megjeleníthető legyen és a forgatása illetve a nagyítása és kicsinyítése gördülékenyen végrehajtható legyen először egyszerűsíteni kellett a modellhálót.

Ezt a lépést a PhotoScan szoftverben készítettem el. A "Tools" legördülő menüben található "Mesh" lehetőségnél kiválaszthetó a "decimate mesh" parancs, amivel az egyszerűsítés könnyen végrehajtható. 1 756 666-ról 100 000-re csökkentettem a poligonok számát a modellen belül, tehát viszonylag nagyarányú egyszerűsítést hajtottam végre annak érdekében, hogy könnyen kezelhető legyen a modell. Ez a lépés nagyon gyorsan, pár másodperc alatt elkészült.



22. kép A modell egyszerűsítése PhotoScan szoftverben. (Saját kép)

Az egyszerűsítés után szintén a PhotoScan szoftveren belül létrehoztam a modell textúráját. Ezt a "Workflow" menüben találhato "Build Texture" paranccsal tudtam végrehajtani. Ahhoz, hogy a poligonok redukálása után is szép modellt lássunk a szoftver a drónfelvételezés képeiből összeállít egy textúrát, amit ráfeszít a modellre. A Textura size/count lehetőségnél beállíthatjuk, hogy milyen méretű textúrát szeretnénk a modellre. Esetemben a 4096 x 1 méretet választottam. Ez a folyamat hosszabb időt vett igénybe, körülbelül 15 percet. Fontos, hogy előbb a modellháló redukálását hajtsuk végre és csak utána hozzunk létre textúrát, hiszen ha fordítva csináljuk, az egyszerűsödés miatt a szoftver elveszíti azokat a pontokat, amire a textúrát kifeszítette.

phone C.	Add Folder.		# x Hotel			
PS E C rispace (3 c Owek 1 (4	Align Photos Build Dense Cloud Build Mesh	IR]	Constraint Str.	1 1 Jair ma		
11 Tie Poir Dense ( 3D Mor	Build Texture. Build Tiled Model. Build DEM. Build Orthomosaic.	n quality)	and a		n	
	Align Churits Merge Churits		and the second second	and waters		ia i
	Batch Process			State of the state of the	No.	a serve
				Build Texture		×
			faces III.IIE orthog	Build Texture     General     Mapping mode:	Generic	×
			Parts (10.00 and 10.00 and	General     Mapping mode:     Blending mode:	Generic •	×
			Partie ULINE option Parties © © X 2	Build Texture     General     Mapping mode:     Blending mode:     Texture size/count:	Generic • Mosaic (default) • 4096 x 1 🛊	×
			Para III.III areas Para © © X : D : D	Build Texture      General Mapping mode: Blending mode: Texture size/count:      Advanced	Generic  Mosaic (default) 4096 x 1	×

23. kép A modell egyszerűsítése PhotoScan szoftverben. (Saját kép)

Az egyszerűsített, textúrával ellátott modell már alkalmas arra, hogy webes felületen könnyen megjeleníthető legyen, és ne okozzon gondot a mozgatása.

A modell webes megjelenítéséhez három fájlra volt szükségem. Egy HTML fájlra, amit Notepad++-szal szerkesztettem, ami egy ingyenes forráskódszerkesztő. (Notepad++, 2019)

Egy JPG formátumú képfájlra, ami tartalmazza a modell textúráját. (ReviverSoft, 2019)

Egy x3d fájlra, ami egy nyílt szabványú fájlformátum háromdimenziós objektumokhoz. Ez tartalmazza a modellhálót. (Web3DConsortium, 2019)

Az x3dom fájlt a háromdimenziós modellek szerkesztésére szolgáló MeshLab szoftver segítségével állítottam elő. A szoftver az eredeti .ply formátumból képes .x3d formátumba exportálni, amire szükség van a modell megjelenítéséhez. (MeshLab, 2010)

Miután mindhárom szükséges fájlt létrehoztam, a böngészőben megjeleníthetővé illetve forgathatóvá, nagyíthatóvá vált a modellem. A modell kezdeti nézőpontja ekkor nem volt túl előnyös, illetve a forgatási középpontja sem volt jó helyen. Ennek a két problémának a kiküszöbölésére létrehoztam egy koordinátarendszert, amihez képest mozgatni, forgatni tudtam a modellt. Első lépésben beforgattam a modellt a "rotation" paraccsal hogy a koordinátarendszer Z irányához képest párhuzamos legyen, majd az X és Y tengelyek mentén a koordinátarendszer közepére igazítottam a "translation" paraccsal. Ezt követően beállítottam egy kezdeti nézőpontot pozíció és irányítottság alapján. Ez a nézőpont a vár északkeleti csücskéből mutatja a várat.



24. kép Webes megjelenítés kódolása HTML-ben. (Saját kép)



A beállított modellt ezek után a HTML fájl segítségével böngészőben meg lehet jeleníteni.

25. kép A kész modell megjelenítése webes felületen. (Saját kép)

### A modell publikálása a rezirom.elte.hu honlapon

Az elkészült HTML alapú modellmegjelenítést a rezirom.elte.hu honlapon közzétettem. Ezt a honlapot még az alapszakos szakdolgozatom készítésekor hoztam létre. Célom ezzel az volt, hogy a Rezi várról készített modell minél több emberhez eljuthasson, illetve, hogy turisztikailag csalogatóvá váljon a vár. Alapszakos dolgozatom keretein belül, nem csak a háromdimenziós lézerszkennerrel készített modell publikálása volt a célom, hanem a Rezi várról fellelhető lehető legtöbb információ gyűjtése és közzététele egy adott helyen. Honlapomon találhatunk a vár történelméről információkat, régi modelleket, rajzokat, skicceket, a várat körül ölelő domborzatról modellt, illetve képeket, videókat is. A vár elhelyezkedéséről térkép is található a honlapon, valamint érdekességek is olvashatóak a várról és a környező vidékről. Diplomamunkámban elkészített modell pontosabb, illetve sokkal látványosabb lett, ezért fontosnak tartottam, hogy a régi modell mellett ez is felkerüljön a honlapra.

BSc-s szakdolgozatomhoz készített honlapom Joomla! 3.9 alapú, amely egy nyílt forráskódú keretrendszer és tartalomkezelő rendszer, mellyel egyszerűen és viszonylag gyorsan lehet weblapot készíteni. (Joomla!, 2014)

A html alapú forgatható modellhez tartozó fájlokat, a textúrát tartalmazó képfájlt, a modellhálót tartalmazó x3d fájlt és a linket tartalmazó HTML fájlt egyaránt fel kellett töltenem a WinSCP (Windows Secure CoPy) programon keresztül a weboldal tárhelyére. (WinSCP, 2019)

A tárhely a caesar.elte.hu szerveren található, ahova a saját felhasználónevemmel illetve jelszavammal tudtam belépni. A tárhelyet az ELTE polgáraként igényeltem még 2016-ban. A feltöltendő fájlokat a rezirom gyökérmappába töltöttem fel. Írási illetve olvasási jogosultságokat a PuTTY szoftveren keresztül tudtam beállítani. (PuTTY, 2019)

Honlapomat a Joomla adminisztrátori felületén tudtam szerkeszteni. Az elkészített modellt illetve a felmérés során készített videót a honlap főoldalára töltöttem fel, amit az adminisztrátori felületen található tartalom menün keresztül elérhető cikkek feltöltése menüpontban található "Feladatok a projekt keretein belül" tudtam szerkeszteni. A videót egy youtube linken keresztül lehet megtekinteni. A készített modellt pedig egy HTML linken keresztül lehet elérni, egy új oldalon megjelenítve.

A Mérésről további információkat töltöttem fel a "Képek" illetve az "UAV" menüpontba.



26. kép A rezirom.elte.hu honlap. (Saját kép)

### Összegzés

Diplomamunkámban a Rezi várról készítettem háromdimenziós modellt UAV felmérés alapján. A mérés során 430 kép készült, amelyekből PhotoScan szoftverrel állítottam elő első lépésben pontfelhőt, majd modellhálót, amit végül a képekből előállított textúrával fedtem le.

A modell előállítását többféle kapacitású gépen többféle minőségben lefuttattam és arra a következtetésre jutottam, hogy a PhotoScan szoftverrel készülő modellek gyors és jó minőségű lefutásának alapja, nem elsősorban a használt számítógép memóriájától függ, hanem a processzortól.

Ezt követően a modellt CloudCompare szoftverben georeferáltam, így lehetővé téve alapszakos szakdolgozatomhoz lézerszkenneres mérés alapján készült modellel való összehasonlítását.

Az összehasonlítást három szempont alapján végeztem el. A modellek részletessége alapján, a modellek pontossága alapján illetve a modellek elkészítési ideje alapján.

Az összehasonlítás során megállapítottam, hogy a Rezi várat körülvevő szakadékok miatt a lézerszkennerrel mért modell nem annyira részletes, mint a drónnal mért modell, hiszen utóbbival a szakadékokkal körülvett várfalak mérése sem okozott gondot. Viszont a lézerszkennerrel olyan helyek is fel lettek mérve, amik a drónnal való felmérés során az árnyékolások miatt nehézséget okoztak, például a falakban lévő lyukak illetve mélyedések.

A pontosság vizsgálata során a két modell pontfelhőjét hasonlítottam össze. Itt a várnak csak azokat a részeit vizsgáltam, ami mindkettő mérés során maradéktalanul fel lett mérve, így nem kerültek nagy anomáliák az összehasonlításba. Arra a következtetésre jutottam, hogy a két mérés egymáshoz képest nagyrészt pontos, eltérések leginkább ott fedezhetőek fel, ahol a falakban hirtelen törések vannak. Ezeken a részeken a háromdimenziós lézerszkennerrel mért pontfelhő sarkosabb, pontosabb mint a drónnal mért pontfelhő. Ez valószínűleg annak tudható be, hogy míg a lézerszkenner egyből pontfelhőt készít a falakról, a drón először képeket készít, amiből egy második lépcsőben elő kell még állítani a pontfelhőjét, tehát a több lépcsős feldolgozás miatt pontatlanabb, elnagyoltabb pontfelhőt készít.

Az időigényesség összehasonlítása során arra a következtetésre jutottam, hogy a lézerszkennerrel történő mérés sokkal körülményesebb és időigényesebb, az összeszerelés, stabil pontok keresése, illetve a mérésidő hosszúsága miatt, viszont a modell létrehozása viszonylag gördülékeny és gyors.

Ezzel szemben a drónnal való felmérés nem igényel hosszú időt, a műszer összeszerelése egyszerű, a repülési idő rövid. Azonban a drónnal készített felvételekből a modell előállítása viszonylag hosszú időt vett igénybe az adatok lassú feldolgozása és a számítógépek kapacitása miatt. Összességében elmondható, hogy mindkét fajta modellkészítés nagyjából hasonló időintervallumot ölelt fel.

A háromféle összehasonlítás után levont következtetésem az, hogy a drónnal mért modell részletesebb, de kevésbé pontos, mint a háromdimenziós lézerszkennerrel mért modell, előállításuk pedig nagyjából ugyanannyi időbe telt.

A drónnal való felmérés során készített modellt webes felületen publikáltam, forgatható, kicsinyíthető, nagyítható formában, az x3dom keretrendszer segítségével.

Ezt a HTML alapú webes modellt ezután beágyaztam a Joomla alapú rezirom.elte.hu webcímű honlapomra. A honlapra feltöltöttem az új mérés képeit, illetve egy videót, amely bemutatja a várat és környékét.

### Következtetések, javaslatok

Diplomamunkám elkészítése során arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes lehet a két mérési módszert kombinálni, mivel mindkét módszernek megvannak az előnyei és a hátrányai egyaránt. Ha azokat a részeket, ahol az eltérések fellelhetőek izoláljuk és a jobbik módszer pontfelhőjét használjuk fel a modell összeállításánál kiküszöbölhetjük a pontatlanságokat. Ahhoz tehát, hogy a lehető legpontosabb modellt létre tudjuk hozni, ki kell választani azokat a területeket, ahol a lézerszkenneres mérés bizonyult jobbnak, illetve azokat ahol a drónnal való felmérés és kombinálni lehetne azokat, akár az egyes pontfelhő részletek összeillesztésével.

A vár azon részeit is érdemes lehet felmérni, a teljesség érdekében fotogrammetriai módszerrel, amelyek fallal körbe vannak véve és tetővel fedve vannak.

### Hivatkozások

Bartha, G. & Havasi, I., 2011. *Digitális Tankönyvtár*. [Online] Available at: <u>https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033\_SCORM\_MFGGT6002/sco\_02\_01.htm</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

Bugyi, D. M., 2018. A balatoni nádasok területfelmérésének pontosságvizsgálata. [Online] Available at: <u>http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2018-bsc/bugyi\_david.pdf</u> [Hozzáférés dátuma: 18. április 2019].

Busznyák, K., 2016. A Rezi vár és környékének háromdimenziós modellezése és annak felhasználása a turizmusban. [Online] Available at: <u>http://ishm.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2016-bsc/busznyak\_kornelia.pdf</u>

Busznyák, K., 2016. *A Rezi vár modellezése fotogrammetriai módszerekkel*. [Online] Available at: <u>http://rezirom.elte.hu/</u> [Hozzáférés dátuma: 2019].

CloudCompare, 2015. *CloudCompare.org.* [Online] Available at: <u>https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Cloud-to-Cloud\_Distance</u> [Hozzáférés dátuma: 05. április 2019].

CloudCompare, 2016. *CloudCompare*. [Online] Available at: <u>http://www.danielgm.net/cc/</u> [Hozzáférés dátuma: 24. április 2019].

DJI, 2019. *DJI*. [Online] Available at: <u>https://www.dji.com/hu/phantom-4-adv/info#specs</u> [Hozzáférés dátuma: 18. március 2019].

Dr. Varga, J., 2014. A vetületnélküli rendszerektől az UTM-ig. [Online] Available at: <u>http://www.agt.bme.hu/staff\_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm#EOV</u> [Hozzáférés dátuma: 08. május 2019].

DroneZon, 2014. *DroneZon*. [Online] Available at: <u>https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work/</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

Dusek, B., 2018. Pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazhatósága a precíziós mezőgazdaságban. [Online] Available at: <u>http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2018-bsc/dusek\_bence.pdf</u> [Hozzáférés dátuma: 18. április 2019].

FileSuffix, 2019. *FileSuffix*. [Online] Available at: <u>https://www.filesuffix.com/hu/extension/ply</u> [Hozzáférés dátuma: 08. május 2019].

Gede, M., Ungvári, Z. & Nagy, G., 2017. *ResearchGate.* [Online] Available at: <u>https://www.researchgate.net/publication/319670068</u> Assessing the accuracy of photogrammetri <u>c\_reconstruction\_by\_comparison\_to\_laser\_scanned\_data</u> [Hozzáférés dátuma: 24. április 2019].

Heliguy, 2019. *Heliguy*. [Online] Available at: <u>https://www.heliguy.com/blog/2017/11/08/dji-intelligent-flight-modes/</u> [Hozzáférés dátuma: 18. március 2019].

HTML.com, 2015. *HTML.com.* [Online] Available at: <u>https://html.com/#What\_is\_HTML</u> [Hozzáférés dátuma: 07. május 2019].

Joomla!, 2014. *Joomla!*. [Online] Available at: <u>http://www.joomla.org.hu/</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

Kayakers, H. S., 2019. *Hardcore Sea Kayakers*. [Online] Available at: <u>http://hardcoreseakayakers.com/2018/02/28/dji-dronok-hasznalatahoz-hasznos-tanacsok/</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

MeshLab, 2010. *MeshLab*. [Online] Available at: <u>http://www.meshlab.net/</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

Notepad++, 2019. *Notepad++*. [Online] Available at: <u>https://notepad-plus-plus.org/</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

PhotoScan, A., 2016. *Agisoft PhotoScan*. [Online] Available at: <u>https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\_1\_2\_en.pdf</u> [Hozzáférés dátuma: 18. április 2019].

PuTTY, 2019. *PuTTY*. [Online] Available at: <u>https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/</u> [Hozzáférés dátuma: 07. május 2019].

ReviverSoft, 2019. *ReviverSoft*. [Online] Available at: <u>https://www.reviversoft.com/hu/file-extensions/jpg</u> [Hozzáférés dátuma: 25. április 2019].

SketchUp, 2019. *SketchUp*. [Online] Available at: <u>https://www.sketchup.com/</u> [Hozzáférés dátuma: 07. május 2019].

Stonex, 2019. *Stonex*. [Online] Available at: <u>https://www.stonex.it/project/x300-laser-scanner/</u> [Hozzáférés dátuma: 07. május 2019].

Süle, B., 2018. *3D sziklamászó térkép*. [Online] Available at: <u>http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2019-bsc/sule\_benjamin.pdf</u> [Hozzáférés dátuma: 18. április 2019]. Trimble, 2019. *Trimble*. [Online] Available at: <u>https://www.positioningsolutions.com/Trimble/product\_specs/5800specs.pdf</u> [Hozzáférés dátuma: 24. április 2019].

Web3DConsortium, 2019. *Web3D Consortium*. [Online] Available at: <u>http://www.web3d.org/x3d/what-x3d</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

WinSCP, 2019. *WinSCP.* [Online] Available at: <u>https://winscp.net/eng/docs/lang:hu</u> [Hozzáférés dátuma: 07. május 2019].

x3dom, 2019. *x3dom*. [Online] Available at: <u>https://doc.x3dom.org/tutorials/basics/htmlCSS/index.html</u> [Hozzáférés dátuma: 05. május 2019].

## Képjegyzék

1. KÉP PHANTOM 4 PRO DRÓN. FORRÁS: HTTP://DJI.COM	8
2. KÉP KÉPEK HOZZÁADÁSA A PHOTOSCAN SZOFTVERHEZ, "ADD PHOTOS" PARACCSA	۸L.
(SAJÁT KÉP)	10
3. KÉP KÉPEK IGAZÍTÁSA PHOTOSCAN SZOFTVERBEN, "ALIGN PHOTOS" PARACCSAL.	(SAJÁT
KÉP)	
4. KÉP PONTFELHŐ SŰRÍTÉSE PHOTOSCAN SZOFTVERBEN "BUILD DENSE CLOUD"	
PARANCCSAL. (SAJÁT KÉP)	12
5. KÉP MODELLHÁLÓ LÉTREHOZÁSA PHOTOSCAN SZOFTVERBEN "BUILD MESH" PARA	ACCSAL.
(SAJÁT KÉP)	
6. KÉP A KÉSZ MODELL. (SAJÁT KÉP)	
7. KÉP GEOREFERÁLÁSHOZ HASZNÁLT PONTOK HELYE. (SAJÁT KÉP)	15
8. KÉP GEOREFERÁLÁSHOZ HASZNÁLT PONTOK EOV KOORDINÁTÁI. (SAJÁT KÉP)	15
9. KÉP GEOREFERÁLATLAN (LEJJEBB) ÉS GEOREFERÁLT (FELJEBB) MODELL HELYZET	E
EGYMÁSHOZ KÉPEST. (SAJÁT KÉP)	
10. KÉP: GEOREFERÁLÁS KÖZBENI TORZULÁS. (SAJÁT KÉP)	
11. KÉP: VÁRFAL ÖSSZEHASONLÍTÁSA A KÉTFAJTA MÉRÉSNÉL (BALRA: DRÓNFELVÉT	ELEK
ALAPJÁN KÉSZÜLT MODELL, JOBBRA: LÉZERSZKENNERES MÉRÉS ALAPJÁN KÉSZ	ZÜLT
MODELL). (SAJÁT KÉP)	
12. KÉP "ABLAK" ÖSSZEHASONLÍTÁSA A KÉTFAJTA MÉRÉSNÉL (BALRA: DRÓNFELVÉT	ELEK
ALAPJAN KESZULT MODELL, JOBBRA: LEZERSZKENNERES MERES ALAPJAN KESZ	ZULT
MODELL). (SAJAT KEP)	
13. KEP ELTERESEK SZEMLELTETESE AZ EGESZ VARAT TEKINTVE. (SAJAT KEP)	
14. KEP: A REZI VAR FELDARABOLASA AZ OSSZEHASONLITASHOZ. (SAJAT KEP)	
15. KÉP ELTÉRÉSEK A VÁR ELSŐ RÉSZÉBEN KÉT PERSPEKTÍVÁBÓL. (SAJÁT KÉP)	22
16. KÉP ELTÉRÉSEK MÉRTÉKE ÉS HISZTOGRAMMJA. (SAJÁT KÉP)	
17. KÉP ELTÉRÉSEK MÉRTÉKE ÉS HISZTOGRAMMJA. (SAJÁT KÉP)	
18. KÉP ELTÉRÉSEK A VÁR MÁSODIK RÉSZÉN KÉT PERSPEKTÍVÁBÓL. (SAJÁT KÉP)	
20. KÉP ELTÉRÉSEK MÉRTÉKE ÉS HISZTOGRAMMJA. (SAJÁT KÉP)	
19. KÉP ELTÉRÉSEK A VÁR HARMADIK RÉSZÉN KÉT PERSPEKTÍVÁBÓL. (SAJÁT KÉP)	
21. KÉP ELTÉRÉSEK A NEGYEDIK RÉSZNÉL (JOBBRA), ELTÉRÉSEK MÉRTÉKE ÉS HISZTOGRAMMJA (BALR	A). (SAJÁT
KÉP)	
22. KÉP A MODELL EGYSZERŰSÍTÉSE PHOTOSCAN SZOFTVERBEN. (SAJÁT KÉP)	
23. KÉP A MODELL EGYSZERŰSÍTÉSE PHOTOSCAN SZOFTVERBEN. (SAJÁT KÉP)	
24. KÉP WEBES MEGJELENÍTÉS KÓDOLÁSA HTML-BEN. (SAJÁT KÉP)	
25. KÉP A KÉSZ MODELL MEGJELENÍTÉSE WEBES FELÜLETEN. (SAJÁT KÉP)	32

### Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Gede Mátyásnak, aki szakértelmével és tanácsaival sokat segített diplomamunkám elkészítésében. Családomnak és barátaimnak pedig szeretném megköszönni a rengeteg támogatást.