

SZAKDOLGOZAT



Földi fotogrammetria alkalmazása az örökségvédelemben

OE-AMK

Hallgató neve: Baranyai Tamás

2022

Hallgató törzskönyvi száma: T003919/FI21120/N



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Baranyai Tamás

Szakdolgozat száma: SZD20051911194064

Törzskönyvi száma: T003919/FI21120/N

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: földmérő és földrendező mérnöki

Specializáció: GBLF_GEOINFORMATIKAI SZAKIRÁNY_2007-től induló BSc-ben

A dolgozat címe: Földi fotogrammetria alkalmazása az örökségvédelemben

A dolgozat címe angolul: Application of close range photogrammetry in monument protection

A feladat részletezése:

Szakirodalom alapján tekintse át a fotogrammetria alkalmazási lehetőségeit az örökségvédelemben!

Röviden ismertesse a kiválasztott műemléki objektum történetét és elhelyezkedését!

Készítsen a műemlékről felvételeket megfelelő átfedések biztosításával!

Internetes források felhasználásával gyűjtsön felvételeket az objektumról!

Készítse el az objektum 3 dimenziós digitális modelljét a saját készítésű felvételek felhasználásával, valamint az internetről gyűjtött képek felhasználásával!

Végezzen összehasonlítást a modelleken és összegezze tapasztalatait!

Intézményi konzulens neve: Balázsik Valéria

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 05. 20.



Podor Andree
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Balázsik Valéria
belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Mérnöki/Geoinformatikai/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2022. 05. 15.

Bacsa, Tamas
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	5
2. Gül Baba türbéje	6
3. Műemlékvédelem.....	10
3.1. Az emlékek csoportosításai	12
3.2. A műemlékvédelem története	13
3.3. A magyar műemlékvédelem története:.....	14
4. Fotogrammetria alkalmazása az örökségvédelemben.....	15
4.1 Földi fotogrammetria a régészetben:.....	19
5. Fotogrammetria.....	20
5.2 Digitális fotogrammetria	22
6. A 3D modell felhasználása különböző szakterületeken.....	27
7. A fényképek elkészítése a modellhez és távolságmérés	31
8. Összefoglalás	48
9. Irodalomjegyzék.....	50

1. Bevezetés

A mai világban könnyen hozzáférhető és olcsó technológiák állnak a rendelkezésre egy 3D modell elkészítéshez, hétköznapi célokra. De mérnöki feladatok alkalmazására elég költségesek. Attól függően, hogy hol akarják felhasználni.

Szakdolgozatomban 3D modellt állítottam elő a Budapesten található Gül Baba türbéje nevű sírkápolnáról. Mivel közel van a lakóhelyemhez ideális választás volt. Előnyös volt még az is, hogy könnyen hozzáférhető, körbejárható, felmérhető, nem túl magas és jól azonosíthatóak azok a pontok, amelyek között le lehet mérni a távolságokat. Viszont, nehézséget okozott, hogy az egyik oldalához közel van egy fa, ami kissé belógott és takarta a tetejének egy részét.

A földi felvételeket amatőr digitális kamerával rendelkező, Iphone 12-es telefonnal készítettem el. Majd tetszőlegesen kiválasztott pontok között távolságokat mértem. A képekből egy 3D modellt készítettem az Agisoft Metashape Professional verziójával. Végül pontossági vizsgálatot végeztem a modellen. Illetve még az internetről letöltött és azokat a saját készített képeimhez hozzá adva is készítettem modellt, amin szintén elvégeztem az összehasonlítást.

Végeredményként megkaptam, hogy mennyire pontosan állítható elő egy modell, olyan felvételekből, amik olyan digitális kamerával lettek rögzítve, ami nem fotogrammetriai célokra lett gyártva. Napjainkban kezd elterjedni a digitális régészet, mint önálló ágazat itt is fontos elem a modell készítés, vagy a kész leletet nyomtatni is lehet három dimenziósnyomtatókkal.

2. Gül Baba türbéje

„A törökök jelentősebb zarándokhelyei közé tartozik a Gül Baba türbéje, vagyis a Rózsák Atyja síremléke. „[1]

Nagy Szulejmán szultán udvartartásának tagja volt, aki szintén Magyarországon hunyt el, ugyanúgy, mint Gül Baba.

Egyes források alapján, nevét, a turbánját díszítő rózsaszál adta. Egy másik értelmezés szerint eredetileg "Kel"-nek, azaz "kopasz fejnek" hívták, majd később Gül-re változtatták, miután rózsák a sírja körül nőttek. Egy másik teória szerint ő hozta Magyarországra az első rózsát, de ez nem így van.

A bektasi dervisek kimagasló tagja volt, költő és misztikus. Az Oszmán Birodalom idején, az 1400-as évek idején kaptak erőre, amikor is a janicsárok, az akkor legerősebb katonai egység, nevelését a bektasi dervisek végezték. [1]

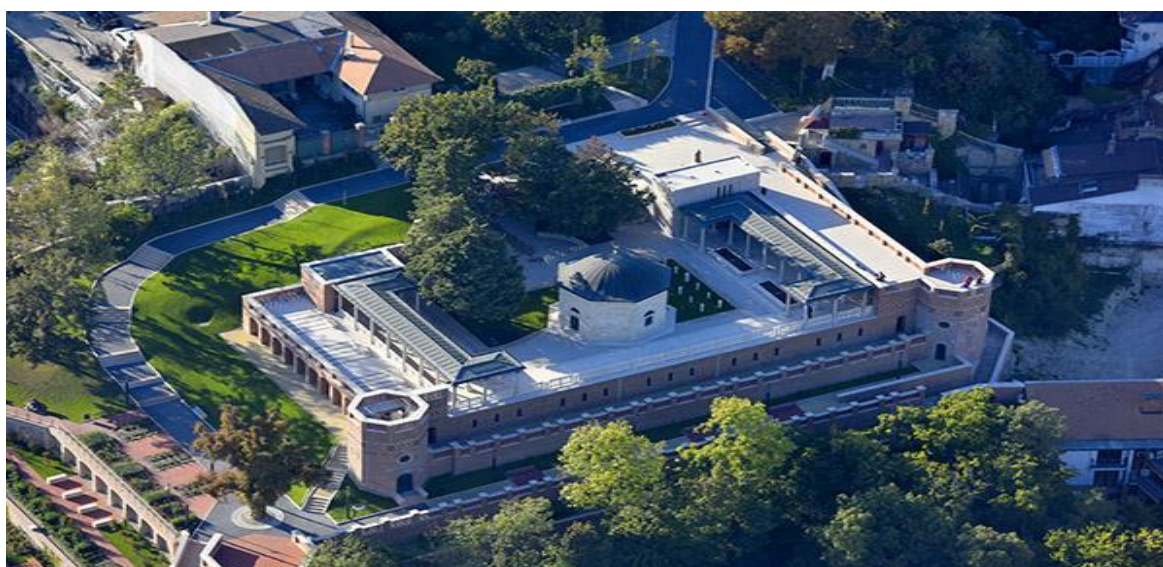


1. ábra Gül baba szobra

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/Gul_Baba.JPG

Budán hunyt el 1541. 09.01.-én. Haláláról két történet kering. Egyesek szerint augusztus 21-én a városfal melletti csatában halt meg.

A másik szerint az Oszmán Birodalom győzelmét ünneplő vallási szertartáson halt meg. A kalifa címet is viselő Szulejmán a város védőszentjének kiáltotta ki, aki a temetésén hagyományosan a koporsóvivők közé tartozott. A sírkápolna a Margit híd egyik hídfőjénél, a Rózsadombon található. [1]



2.ábra Gül baba sírkápolnája felül nézetben

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/G%C3%BCl_Baba_t%C3%BCrb%C3%A9_a_leveg%C5%91b%C5%91l%2C_Budapest.jpg

Az épület egy gondosan megépített kőpadon áll, nyolcszögletű alaprajzzal és kupolával. A macskakövekből épült, egyszerű homlokzatú, két oldalát faltükrök választja el, minden második faltükrő nyit egy ablakot; a keleti részén van a bejárat. A bejárat nyíláskerete mészkőből készült, félkörbe zárt, de eredetileg számrhátíves volt. Belső falai homokkőből készültek, egyetlen építészeti dekorációja a számrhátívsor téglá. Félgömb alakú kupola zárja, amelyet csigolyák támaszt. Padlóját simára gyalult deszka borítja, turbánnal ékesített nagy fakoporsóval; 1912-ben az eredetit lecserélték.

Környezete számtalanszor módosult. A terület kezdetben szőlőültetvény volt. [1]

Az 1500-as években egy szerzetesi épületet húztak fel hozzá, ami a Gül baba tekkeszi nevet kapta. 1690-ben átépítették kápolnává a jezsuiták.



3.ábra Gül baba türbéje

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ab/G%C3%BClBabaT%C3%BCrbesindekiCesme2.JPG/800px-G%C3%BClBabaT%C3%BCrbesindekiCesme2.JPG>

Módosították a csúcsíveket, a számráhatóívek helyett félkörívek és kosárívek lettek. Az átépítések folyamánya volt a kupolára felhúzott laterna, amit időközben lebontottak.

A 18.század végéig a jezsuita rend használta, majd a feloszlásuk után magánház lett. 1822-ben már török zarándokhelyként funkcionált. A török kormány 1885-ben Grill Lajossal helyreállította. Majd Wagner János, a 19. század második felének briliáns építésze, villát épített köré. A sírt budai bosnyákok karbantartották, és a pesti török konzul is rendszeresen járt a türbében. Az 1960-as években Pfannl Egon, építészmérnök tervei alapján alakították át. A kilencvenes évek második felében a terepszint rendezésre került, a pergolákat, a kutakat, teljesen restaurálták. A sírkápolna miniatűr mása fellelhető az isztambuli Miniatürk parkban. [1]

A század második felében az épületet a budapestiek újították fel, dearbantartása továbbra is a magyar állam feladata.

A legutolsó nagyszabású felújítása 2016-ban kezdődött el. A magyar és a török kormány közösen 2,5 milliárd forintos beruházást hozott létre, felelve a költségeket. Eredetileg 2017-re készült volna el, de a megnyitását 2018 őszére halasztották. 2018. október 9-én adták át, amikor Recep Tayyip Erdogan török elnök és Orbán Viktor bemutatta a felújított mauzóleumot és kibővített környezetét. A rekonstrukció befejezése után Budapest II. A Mecset utca 14. szám alatti kibővített ingatlanegyüttest a Gül Baba Türbéje Örökségvédelmi Alapítvány kezeli, melynek kezelője és szerződése a Külügyminisztérium és a Külügyminisztérium. A Gül Baba türbéje és körülötte helyezkedő épületkomplexumot az alapítvány működteti.

Az alagsorban kapott helyet egy újonnan létesített intézmény, a Gülbaba Kulturális Központ és Kiállítóhely, ahol a türbe története, a dervisek -és Gülbaba életmódja is megtekinthető. Az időszaki kiállítások számára fenntartott kiállítóterben 3 havonta új kiállítás kerül bemutatásra. A megnyitó után a Hagia Sophiát bemutató kiállítást, majd Suna Selma Kocal kortárs festőművész festményeit mutatták be. A felújított komplexumban egy konferenciaterem is helyet kapott, ahol szakmai és kulturális rendezvények lebonyolítására nyílik lehetőség [1]



4.ábra Részlet a Gül Baba Kulturális Központ és Kiállítóhely állandó kiállításából

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/%C3%81lland%C3%B3_ki%C3%A1ll%C3%ADt%C3%A1s.jpg

3. Műemlékvédelem

A műemlékvédelem a műemlékek tanulmányozásával, megőrzésével, védelmével és restaurálásával foglalkozó kulturális és társadalomtudomány, amelynek szakértői építészek, művészettörténészek, régészek és mérnökök, akik a nemzet kulturális örökségének megőrzéséért dolgoznak. A műemlékvédelmet törvények és rendeletek szabályozzák. [2]

A műemlékvédelem feladatköre több síkú, amelyek egy része hivatalos, tudományos és építészeti jellegű. A hatósági köteleességek közé tartozik a védett épületek nyilvántartásba vétele és nyomon követése, az épületek azonosítása és védelemre méltóvá nyilvánítása, a műemlék épületek használatának szabályozása és felügyelete, javítási munkák elrendelése, valamint az építkezés felügyelete. A munka során az épület feltárásáról leírásokat, rajzokat és fényképeket tartalmazó dokumentumok készülnek. Építészeti feladat az épületek feltárása, tervezése és helyreállítása. Ez magában foglalja a restaurálási munkákat, a festmények (falfestmények) és a műemlékekhez tartozó szobrok restaurálását. A műemlékvédelem garantálja a műemlékek fennmaradásának ideológiai, politikai, városrendezési, jogi és gazdasági feltételeit.

Azt is biztosítani kell, hogy a társadalom egésze felhasználhassa. Ha nem is üzemként, de használatban van: meglátogatják, lakják, van boltja vagy szállodája, elhaladnak mellette, tehát állandó, elkerülhetetlen az amortizáció. A városi műemlékek elkerülhetetlenül ki vannak téve a légszennyezésnek, a felkeresett épületek folyamatos terhelésnek és kopásnak vannak kitéve, valamint páralecsapódás is fenyegeti őket.

Emiatt időről időre helyreállításra van szükség, bár a műemlékvédelem korszerű módszerei lassíthatják az állapotromlás ütemét.

Lehetőség szerint eredeti állapotában meg kell őrizni, és csak akkor kell restaurálni, ha feltétlenül szükséges. (pl. statikai okok miatt).

A javítások bontással és hozzáépítéssel történnek. Bontáskor csak a teljesen elhasználódott, funkciótlan elemeket lehet eltávolítani, ezt tilos esztétikai okokból megtenni. A kopott, előnytelen részeket történelmi értékük miatt meg kell őrizni. [2]

Az áthelyezéseket és a pótlásokat csak nyomós építészeti érvek alapján lehet elvégezni. A hozzáépítés óriási felelősséggel jár, ilyenkor tekintettel kell lenni az építészettörténeti és esztétikai érvekre. Speciális rekonstrukciós forma az antasztilózis, ilyenkor a szerkezetet sem cserélik, sem nem bontják, hanem az eredeti elemekből újra összeállítják a szétesett részeket. (pl. görög oszlopok nagy hézagok nélkül újraépíthetők)

Rekonstrukciót azonban nem, vagy csak rendkívül kivételes körülmények között szabad végezni, hiszen a megsemmisült műemlékek felállítása nem a műemlékvédelem feladata. A romos műemlékek esetében a maradványok megjelenítésére törekszik, és lehetőség szerint az új épület funkcióját, méretét és stílusát beépíti a környezetbe, nem pedig a megsemmisült emlék teljes rekonstrukcióját akadályozza meg. [2]



5.ábra Műemléki védelem alatt álló kastély

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Volt_Zichy-k%C3%BAria_%283974._sz%C3%A1m%C3%BA_m%C5%B1eml%C3%A9k%29_3.jpg

3.1. Az emlékek csoportosításai

építészeti emlék: szerkezet-, építészet- és településtörténeti nézőpontból megőrzésre érdemes, nem feltétlenül esztétikai értékű. (pl. Pest egykori városfala)

néprajzi és mezőgazdaság-történeti emlék: egy régió és nemzet társadalmi, kulturális és gazdasági képeinek eszközei.

ipar- és közlekedéstörténeti emlék: történelmi és hagyományos értékű, az ipari közlekedés fejlődésének fontos időszakait dokumentálva, esetenként esztétikai értékűek. [2]

régészeti emlék: államalapítás előtti kultúrák tárgyi maradványai, például római kori maradványok Magyarországon. [2]

történeti emlékek: minden olyan komplexum, építmény és műemlék (például sírkövek), amelyek hazánk történelmének és kultúrájának fontos eseményeihez kapcsolódnak. Erkölcsi, lakossági tudatformáló hatása van (pl., Móra Ferenc szülőháza stb.) [2]



6. ábra Móra Ferenc emlékház

https://www.termalfurdo.hu/upload/images/Galeria/cikk/mora_ferenc_emlekhaz_kiskunfelegyhaza/mora_ferenc_emlekhaz_1.jpg

3.2.A műemlékvédelem története

A régi idők épületei gyakran a következő nemzedék áldozataivá válnak, egyszerűen nem veszik figyelembe, hogy az építészeti emlékek fontossá válhatnak majd. Néha teljesen lebontották, vagy nagymértékben újjáépítettek valamit, ami csak később alapozta megtörténelmi értékét. Nehéz példát találni a régi épületek megőrzésére az új korszak előtt (Raffaellonak a pápa engedélyezte a római kor emlékeinek megőrzését, Mátyás király egyes rendeletei), de a francia forradalom után bizonyos épületek deklarálásra, megőrzésre és védelemre szorultak. A dolgok rendszerszintűek. 1830-ban alapították az első nemzeti műemlékvédelmi szervezetet, Victor Hugo kezdeményezésére, Franciaországban. Akkoriban Prosper Mérimée író is, az országot járta, hogy építészeti emlékeket találjon és dokumentáljon. A középkori műemlékek helyreállítása gyorsan megkezdődött, Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc tudományos módszerével. [2]

A leglényegesebb helyreállítások közé tartozott a Párizsban található Notre-Dame, a Vézelay, és a Szent Magdolna apátsági templom. Ezekkel egyidőben már a német térségben is elkezdtek felmérni a gótikus templomokat, kimagasló a századok óta félbehagyott kölni dóm eredeti tervrajzainak felfedezése. Ezek a tervek hozzájárulásával sikeresen befejezték a templomot.

Alapvető megközelítése a 19.század műemlék védelmének a purizmus volt. Sajnos ez az időszak alatt végzet restaurálások erősen helyteleníthetőek, mivel minden nem gótikus elemet kidobtak a gótikus épületekből, pl: barokk szentélyeket, reneszánsz síremlékeket.

Ez történt a Belvárosi- és a Mátyás-templom esetében is.

A jelenkori műemlékvédelem már nem követi ezeket az elveket, törekszik az épület történetiségének megtartására, azaz próbálja nyomon követni az épület stílus-, és építéstörténetét. Hazánk alapvetőnek tekinti a Velencei Cartában megfogalmazott műemlékvédelmi elveket. [2]

3.3.A magyar műemlékvédelem története:

A neoabszolutizmus időszakában próbálkoztak először a régi korok, kiváltképp a középkor építészeti emlékeinek felkutatására, leírására. Rómer Flóris, Ipolyi Arnold és Henszlmann Imre indította el a szervezett műemlékvédelmet. Tevékenységük során megalakult a Műemlékek Országos Bizottsága, ami 1850-esek évek után szervezetter kutatta fel a műemlékeket. Ebben az időszakban már népszerűek voltak a nyugat-európai államok műemlékvédelmi nézetei, köztük a mai szemmel kifogásolható purizmus. Szószólója Steindl Imre és Schulek Frigyes voltak. Ezen elvek alapján építették át a várakat, középkori templomokat; amik tekinthetőek emiatt a saját produktumaiknak.

Kitöröltek mindent a középkori épületekből, ami nem középkori és neostílus jegyekkel ruházták fel az építményeket, amiket akár mai is megnézhetünk.[2]

Möller Istvánnak munkájának eredményeként a purizmus elvei népszerűtlenné váltak.

1881-ben létrejött a Műemlékek Országos Bizottsága, a MOB; amikor megalkották az első magyar műemlékvédelmi törvényt.

A második világháború vége után is működött, modern restaurálások történtek (Székesfehérvár, Ópusztaszer).

Az 1950-es évek során megpróbálták hazánk összes műemlékét nyilvántartásba venni, ismertetésére. Ezt a folyamatot Dercsényi Dezső kezdte el, de projekt 1960-as évek alatt megszakadt. Csupán Sopron, valamint környéke, Heves megye, Pest megye, valamint Buda műemléki topográfiája készült el. 2016 végéig a műemlékvédelmet a Forster Gyula Nemzeti Örökségvédelmi, továbbá Vagyongazdálkodási Központ felügyelte. [2]

4. Fotogrammetria alkalmazása az örökségvédelemben

Az örökségvédelem magába foglalja a régészetet, műemlékvédelmet, kulturális javak védelmét, és az emlékhelyek védelmét is.

Az örökségek megkeresése, kiértékelése, számbavétele, megőrzését és a régészeti helyeket védettség alá helyezése, a régészet feladatköre.

Minden olyan régészeti lelet, ami Magyarország területén a föld alatt, föld felett, folyók és tavak medrében, vagy más honnan előkerül, az állam tulajdonában és védelemében van.

Műemléki érték: Épület, múltbéli kert, sírhely, műemléki terület, ezek megmaradt részei és megfelelő módon egybetartó egysége. [3]

A jogilag védett és számon tartott régi értéket nevezzük műemléknek. [4]

Három fokozattal rendelkezik az itthoni örökségvédelem: nemzetközi, országos, helyi [4]

A múzeumokban, könyvtárakban, zenetudományos intézetekben, képgyűjteményekben lévő nagyon muzeális tárgyakat más néven elérhető kulturális javaknak nevezzük. [3]

Ide tartozik még az építményekben, létesítményekben lévő nem rögzített tárgyak és a minimum ötven éves tárgyak. [3]

A régészetben alkalmazzák a földi és légifotogrammetriai technológiákat is, a víz alatti régészetben, és a talajrégészetben is alkalmazzák. Nagy tisztelettel tekint vissza a fotogrammetria használata a régészetben. [11]

A légi régészet során nem károsul a környezet, ahol az ásatást kívánjuk végezni. Előnye, hogy a régészeti nyomok sokkal jobban átláthatóbbak, mint a földön készült felvételek esetén, mivel nagy területről történik az adatnyerés rövid idő alatt. Meg lehet találni földalatti tárgyakat, ásatási helyeket, feltárasokat dokumentálni lehet a helyszínen, tárgyak és épületek 3 dimenziós modell elkészítése a képekből, ortofotó és terepmodell készítése. [7]

Az első légi felvétel, amit régészetben is felhasználtak 1896-ban készült Forum Romanumról. De ezelőtt már készültek már légi felvételek. Az első felvételek között volt Boston-ról készült kép 1860-ban. Ekkor még csak hőlégballonok voltak. A légirégészet mint fogalom 1906-ban alakult ki, amikor Lieutenant Philip a Stonehenge megmaradt részeit fényképezte le egy ballonról. Az első világháborúban galambokat segítségével készítettek képeket. [9]

A repülőgépek gyorsan fejlődtek és ezzel szintén a légirégészet is gyors fejlődésnek indult, az I. világháborúnak köszönhetően. Az 1920-as években jelentős volt az Észak-Afrikáról készült régészeti térképek mennyisége. A két világháború idején rengeteg kép készült, amiket Angliában a TARA gyűjtött összes és tárol 1945 óta. Az 1950-es években Otto Braasch-nak köszönhetően több mint 700.000 felvétel készült. Az 1990-es években az informatika adatbázisok és az internet fejlődése további mérföldkő volt a légirégészetben. Napjainkban pedig a 3D modellezés és LIDAR technológia révén kialakult a digitális régészet.

Hazánkban 1919-ben jött létre a Magyar Katonai Térképező Csoport Neogrády Sándor közreműködésével. 1931-ben saját képei mutatta be a Régészeti Társulat ülésén. 1938-ban Radnai Lóránt írásban ismerteti a régészetben betöltött szerepét a légi felvételeknek. A második világháború után a légi fényképek készítését csak az állam végezhette. Az 1970-es évektől indultak el a régészethez a repülések. Ezt a vízügyi légiszolgálat végezte, ami saját légiszolgálattal rendelkezett. 2006-tól cserélték le az analóg kamerákat digitális mérőkamerákra. [9] [7]

Használt repülőgépek:

Merevszárnyú: Ez a legjobbak a légi régészet szempontjából, az ára és a felépítése alapján. Két kormány található benne, és 2 vagy 4 személyes változata van.

A pilóta hely mindenféle képen bal oldalt van. Felsőszárnyas kell, hogy legyen, mert ezáltal nincs akadályozva felvételek készítése és a kilátás is szabad. 3-4 óráig lehet velük repülni, 150 m és 2000 m között van a repülési magassága, az utazósebessége pedig 175-210 km/óra. Közel függőleges és ferde képek készítésére alkalmas ez a gép. Ma a Cessna-150, 152, 172, amiket leginkább használnak. Régebben közkedvelt volt a Zlin-142

műrepülő, ami régészethez nem volt éppen megfelelő. Használatban volt még a szovjet típusú AN 2-es gép. Drága és a felvételek készítése nehéz volt. [6]

Ultrakönnyű repülő: Sokan alkalmazzák felvételek készítéséhez, mivel kisebb magasságra és sebességre is képes. Használata az időjárástól függ. Inkább ásatások és lelőhelyek területei fényképezhetőek vele. Hosszútávú repülés nem kivitelezhető. Függőlegeshez közeli és ferde irányú képek készíthetők. Motoros sárkányrepülőt és siklóernyőt használnak leginkább. [9]

Helikopter: Idehaza ritkán használnak mivel igen drága. Ettől függetlenül elkészíthetők vele a szükséges felvételek. [6]

Hőlégballon: Manapság már nem igen használnak mivel, időjárástól függ a használata. Maximum 5 m/perc erősgű szélben használható. [6]

Pilóta nélküli repülőgép:

Robothelikopter: Kicsi méretű, távirányítóval lehet irányítani, könnyen a területhez szállítható német gyártmány. 4m/perc erősgűtől nagyobb szélben nem használható. [6]

UAV: Gyorsan fejlődnek és terjednek el nem csak más ágazatokban de a régészetben is egyre többször használnak már őket. Idő és költséghatékonyabb, szemben a hagyományos repülőről történő légi felvételek elkészítésével. A kívánt objektumról vagy területről élesebb és jobb képet lehet készíteni, jobban megközelíthetőbbek, így a 3D modell is pontosabb lesz. De elő lehet állítani sztereó képpárt is. Használnak még ősi helyeknek a digitális rekonstrukciójukhoz és a lopások elkerülésére végezt is. Az épületek pusztulása is nyomon követhető. Gyorsabb adatgyűjtés végezhető. A drónok használata előtt nem túl jó minőségű műholdfelvételek vagy drágább helikopteres fotózás állt rendelkezésre a régészeti térképekhez. A repülési útvonalat előre bele lehet programozni a GPS vevőnek köszönhetően. [10]

Mérőkamerák:

A digitális kamerák térhódítása egyértelmű, de egy objektum tisztábban jelenik meg ha nagy felbontásban szkenneljük be a negatívot. A civil és katonai légi felvételek is filmekre készülnek. Ezek kisfilmes (24x36) és nagyfilmes (4,5x6, 6x6, 6x9) kamerákkal készülnek. A filmek tónusérzékenyek és finom szemcsések, így az elkészült képek jó

felbontásúak. Három kamerát is szoktak magukkal vinni: fekete-fehér negatívok, diafilmes, színes rollfilmes. A diafilm közkedveltebb, de a negatívok olcsóbbak. A legjobb színes film a Kodak Professional elite color 400. [6]

A digitális kamerák felbontása legalább 10 megapixelesnek kell lennie, jó objektív, zoom funkció, expozíciós beállítási lehetőség.

A légi repülést két részre oszthatjuk régészeti szempont alapján:

Felderítés: A területen található régészetre alkalmas helyek felderítése egy megadott útvonalon.

Célzott repülés: Már ismert ásatásokról felvételek készítése. [6]

A fontosabb megfigyelések:

Talajjel: Hóolvadást követően lehet képeket készíteni amíg a növények kikelnek. Tehát tavasztól. Megszántott földön jelenik meg legjobban a talaj színének a megváltozása. Ebből azt lehet tudni, hogy valamikor a múltban a talajt felásták pl: házépítés céljából. Ez több ezer év után is látható. Várak is megtalálhatóak, amiknek a föld felszínén már nem léteznek. Lelőhelyek fokozatos eltűnése is nyomon követhető, ha minden évben készül felvétel. [6]

Hó jel: Földváraknak láthatóvá válnak az árcai, sáncai, ha van súrolófény. Ez olyan területen vehető észre, ami dombos, erdős sűrűn benőtt. Ha felszínt vastagon benőtt aljnövényzet borítja ott is megfigyelhető. Maximum 10 cm vastag hó lehet, mert a sáncot a sok hó elfedi. A már nem látható falakat is megmutat a hó, mert a falak megmaradt részei más hőt bocsájtanak ki.

Növényjel: Leggyakoribb jelenség. Az eredeti föld megváltozására utal. Gabonafélék jelzik az árkokat, már nem álló falakat, a sötét zöld színnel. Ezek tavasszal észlelhetőek. Nyáron pedig az aratás előtt a növény fejlődéséből lehet következtetni nyomokra. Ahol falak voltak ott nem nő olyan nagyra, mint a humuszos talajban. Legelőn is lehet nyomot találni. A fű sötét zöld színnel jelzi. A humuszban gazdagabb földben az érett gabona jobban nő. Ez az egykori várakat jelzi. [6]

Talajrégészet:

A nem romboló tevékenységek közé tartozik. Az 1950-es években jelentek meg azok a technológiák, amikkel lehet geofizikai méréseket végezni. Használt mérési technológiák: talajradar, fémdetektoros keresés, mágneses mérés, elektromágneses vizsgálat, elektromos rezisztencia. Ezekkel a módszerekkel nagy területet lehet vizsgálni és nem költséges. Térképet lehet készíteni, amikből kiderül van-e régészeti lelet a földben. Domborzatmodellt is lehet az eredmény. [8]

4.1 Földi fotogrammetria a régészetben:

Leginkább ásatási régészetnél alkalmazzák, amikor a leletet kiássák. Vagyis fotódokumentáció készítésére. Elvégzésére fotogrammetriában jártas ember szükséges. Tükörreflexes digitális gép szükséges, amelynek fényerősségét és exponálási idejét magunk tudjuk állítani. Alkalmazzunk normál vagy nagy látószögű lencsét. Ha több részben készítünk képeket akkor 70-80 %-os átfedést kell biztosítani. Minden képről kell egy feliratos példány. A felvételeket állványról kell elkészíteni és a megvilágításhoz fotólámpát használjunk. Metszetalak, felszínek, és talajminták dokumentálására is használják. A végén a leletről lehet 3D modellt alkotni, ami valósághűen ábrázolja. Egy 3D nyomtatóval ki lehet nyomtatni, ha nem túl nagy és ki lehet állítani múzeumokban és az eredeti biztonságban marad. [6]

Ha egy nagyobb volumenű feltárás folyik, akkor sok száz, akár ezer kép is készülhet. Ezeknek a képeknek a fotóirányát és sorszámát meg kell jelölni a helyszínrajzon és így könnyebb azonosítani később. De a terepbejárásnál is ezt a megjelölést használják. A feltárások során készül fotónyilvántartás, amiben munkarészekről, haladásról vannak képek. És fotónapló, amiben a képekről szerepelnek leírások. [6]

Víz alatti régészet:

Az 1900-as évek közepétől van jelen és különleges ismereteket igényel. Sekélyebb vízben légi képek készítése segíti a felderítést. Tengerekben dokumentáció elkészítésére alkalmaznak fényképezőgépet, viszont tavakban és folyókban ritkán alkalmazzák a

látásiviszonyok miatt. Amikor szűk a látótér általában videokamerát is használnak. Három dimenziós modellt és fotómozaikot lehet készíteni képek alapján. Ezen kívül használnak szeizmikus radart a 3D modell előállításra. Az első olyan sztereó fényképezőgépet, ami víz alatti felvételek készítésére is alkalmas volt 1966-ban gyártották. 1991-től használják a fotogrammetriai technológiákat. [6] [12]

5. Fotogrammetria

Görög eredetű szó, a jelentése fényképen való mérés. A fotogrammetria használatával, az objektumok fizikai jellemzőit is meg tudjuk határozni. Metrikus adatokat nyerünk ki elsősorban a feldolgozások során. [13]

A fotogrammetria a fényképezés lehetőségével egy időben jött létre. Az első dagerrotípiát Louis Daguerre és Joseph Nicéphore Niépce találta fel 1837-ben. Petőfi Sándorról az egyetlen fénykép is ezzel a módszerrel készült. Notre-Dame torony magasságát már megtudták határozni fényképek segítségével 1859-ben. Miután a fotogrammetria megszületett az elején csak az építészetben alkalmazták. Később lett önálló ágazat. A földi fotogrammetria után a légi fotogrammetria az első világháborúban kezdett el gyorsan fejlődni és elterjedni. Elsősorban katonai felmérésekre használták pl: topográfiai térképek készítése. [13] [14]

A fotogrammetriát többféle képen felosztható. A felvétel helye szerint: földi, légi és űr fotogrammetria. A felvevő és a fényképezett objektum távolsága szerint tovább osztható a földi fotogrammetria. [13]

Földi fotogrammetria: Kiértékelésre és mérésre tervezett mérőképek, amiket földi bázispontról készítenek el.

Előnyei: a képek sok adatot tartalmaznak, a feldolgozás gyors, a terepen történő felmérés gyorsan elvégezhető, a mérendő objektumhoz nem kell közel menni. [16]

Munkafázisai:

1. Mérés megtervezése és adatgyűjtés: Meghatározzuk a legalkalmasabb mérési módot a feladathoz. A következőket kell figyelembe venni a módszer kiválasztásához: Mérés célja, a kívánt pontosság, az objektum helyzete, milyen mérőkamerát és kiértékelő műszert használunk, munkarészek fajtái. [16]

2. Illesztőpontok kitűzése: Geodéziában tanultak szerint kitűzzük az álláspontot, vizsgálati pontot és illesztőpontot. Festéssel jelöljük meg a vizsgálandó és illesztőpontokat. A végén pedig az álláspontunkat állandósítjuk.

3. Geodézia mérés: Meghatározzuk az illesztőpontok és álláspontok koordinátáit helyi rendszerben vagy országos rendszerben. Attól függ melyikben kérjük az adatokat. Az álláspontokat GPS-el is meg lehet határozni. Az illesztőpontokat pedig részletméréssel. [16]

4. Felvételek elkészítése: Ikerkamerával, földi mérőkamerával és digitális kamerával is rögzíthető a felvétel. A kész felvételeket elő kell hívni a földi kamera esetén. [16]

5. Kiértékelés műszerrel: Vonalas kiértékeléssel egy vonalas rajzot készítünk épületekről pl: homlokzat rajz, metszet. Pontonkénti eljárás során a mérendő pontok koordinátáit határozzuk meg. Amikor egy épületről torzulásmentes, mérethelyes képet állítunk elő akkor az tónusos kiértékelés.

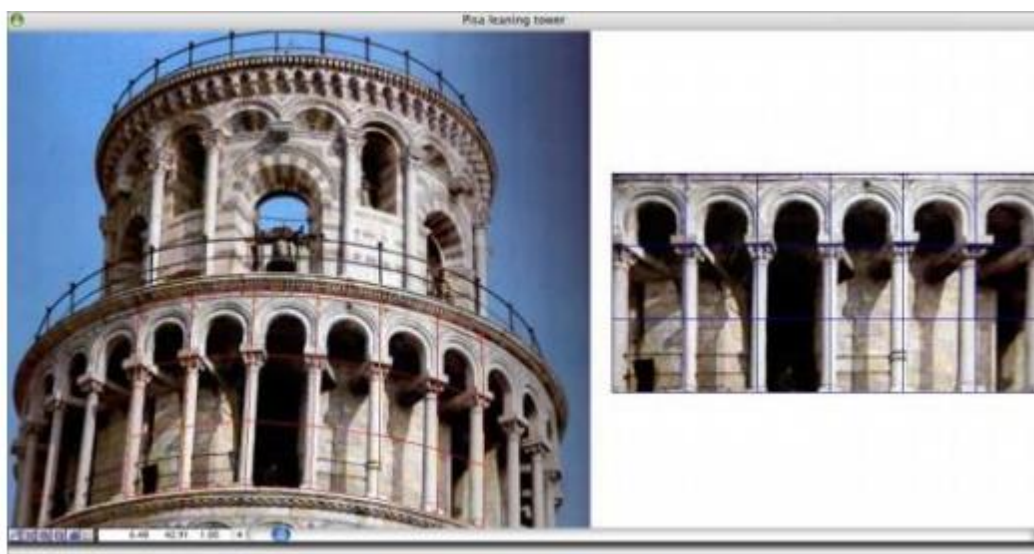
6. A mérések további feldolgozása más szakterületen. [16]

Azokat a kamerákat, amik fixen állnak és nem mozognak a földön az expozíció bekövetkeztében, földi mérőkameráknak nevezzük. [15]

A következők a földi kamerák tulajdonságai: a belső tájékozási adatokat tudjuk, rögzíthetők a műszerállványon, ha szükséges, az optikájuk jó minőségű, információkat és adatokat a fényképekre rá lehet fényképezni, a belső információkat tartósan megőrzi, a külső adatokat meghatározása gyorsan és pontosan történik, az elkészült képek lehetnek nagyméretűek is (13 x 18, 10 x 12). [15]

Beszélhetünk továbbá sík és térfotogrammetriáról is. Ez a két felosztás a felvételek száma és a kinyert adatok dimenziójából származik. Síkfotogrammetriában csupán egyetlen kép

alapján végezzük el a feldolgozást, ez a képátalakítás. Térfotogrammetriában egymást átfedő képeken történik a kiértékelés. Az analóg, analitikus, digitális fotogrammetria különböző fajtái is megtalálhatóak a sík és térfotogrammetriában. A következő felosztás ezekkel foglalkozik. [13]



7.ábra A Pisai ferdetoronyról készült ortofotó

<http://t0.gstatic.com/>

5.2 Digitális fotogrammetria

Digitális fotogrammetria: Digitális képet értékelünk ki számítógép segítségével. Ezeket a számítástechnikai eszközöket digitális munkaállomásoknak hívják. Sok képet tudnak tárolni és a kiértékelés több folyamatát automatizált szoftver végzi el. A feldolgozandó kép/képek készülhetnek digitális mérőkamerákkal és amatőr kamerákkal.

Lehet vektoros és raszteres állomány a kiértékelés eredménye. Pontosságukat csupán a digitális képek felbontása (pixelméretük) határozza meg. [13]

Alkalmazott koordináta-rendszerek:

Képkoordináta-rendszer: Kezdőpontját M -el jelöljük és ez egyben a kép közepe. A két koordinátatengely merőleges egymásra (ζ , η). A H képfőpont a vetítési középpont vetülete merőleges a képsíkon. Ez a képfőpont nem esik egybe a kép közepével (M), ezért ζ_0 , η_0 koordináták jellemzik. [17]

Pixel koordináta-rendszer: A kezdőpontja az érzékelő bal felső sarkában található. Két koordináta tengelyének (u , v) nincs mértékegysége. A koordináták értékei az érzékelőben a sor és index szerinti érték. Olyan pixelek halmaza alkotják ezt a koordináta-rendszert, amiből a digitális kép is felépül.

Kamera koordináta-rendszer: Ez egy térbeli koordináta-rendszer. Kezdőpontja a vetítési centrumban, van jele: O . Ezen a ponton halad át a Z_k tengely, amely merőleges a képsíkra. Minden olyan képpont, ami erre a tengelyre esik a kameraállandó értékével fog megegyezni annak a koordinátája. A ζ , η párhuzamos az X_k és Y_k tengelyekkel. [17]

Modell koordináta-rendszer: Azokat a képeket viszonyítjuk egymáshoz, amik a képpárt alkotnak. Térben helyezkedik el ez a koordináta-rendszer. A baloldali vetítési középpont (O_1) lesz a kezdőpontja. Az Y_M és Y_m tengelyek párhuzamosak η_1 és ζ_1 tengelyekkel. [17]

Tárgykoordináta-rendszer: Azoknak az illesztőpontok koordinátáit ismerjük, amik a megméréndő tárgyon vannak. Szintén térbeli koordináta-rendszer. A még nem ismert pontoknak a koordinátáit is ebben a rendszerben számoljuk ki. Lehet helyi és geodéziai rendszer is. [17]

A digitális kamerákat kettő részre lehet bontani:

Digitális amatőr kamerák:

Ha az amatőr kameráknak meghatározzuk a belső tájékozási elemiet és ezeket eltávolítja a kamera, valamint az objektív elrajzolási hibáját is számoljuk, akkor mérőkameraként használhatóak. Az amatőr kamerák azok a hétköznapi fényképezőgépek, kamerák, és okostelefonokban lévő kamerák, amik nem fotogrammetriára lettek gyártva. Az alábbi

tulajdonságok szükségesek, hogy fotogrammetriai szintű munkára alkalmasak legyenek: Legalább 3 megapixel felbontás,

A fókusztávolság értéke állandó legyen, Az optikai zoom esetén a kameraállandó rögzíthetőnek kell lennie, A záridő, ISO, és a blende értéke manuálisan állítható legyen, A kamera kalibrációs adat ne változzon a cserélhető objektívval rendelkező kamerák esetén. [17]

A következők szerint lehet felosztani:

Az Okostelefonnak a kameráját nehéz kalibrálni, ezért, nagy a pontosságot kívánó fotogrammetriai feladatok elvégzésre nem alkalmasak. CMOS szenzor találhatóak bennük, aminek az előállítási költsége alacsony.

A kompakt kamerának az objektíve nem cserélhető. A nagyítási lehetőség hátrány a kamera kalibrációnál, ezért a legjobb, ha nincs benne. [17]

Többféle kompakt kamera létezik:

A fix fókuszu ultrakompakt, aminek a súlya és mérete kicsi. A felbontása kicsi, átlag alatti. Otthoni használatra alkalmas. [17] [19]

A bridge kamera a tükörreflexes és a kompakt kamera között van. Az objektívét nem lehet cserélni. [19]

A kompakt kamerának sokféle változata van. Egészen az egyszerűtől a profibb verzióig. Mérete és súlya elég kicsit. [19]

A tükörreflexes kamerákban (SLR és DSLR) már olyan objektív van, ami megfelel a fotogrammetriában alkalmazott feladatokra. A kép fordítva érkezik a kamerába és egy tükör irányítja a keresőbe, amit egy prizma fordít a megfelelő irányba. Súlya és mérete igen nagy, valamint az ára is. [17] [19]

A MILC kamerákban nincs tükör és kereső. Az elkészült kép minősége megközelíti az SLR kamerákét. Az objektív cserélhető. Szintén alkalmas fotogrammetriai célokra. Az autofókusz kikapcsolható és teljesen állítható minden funkció. [17]

Digitális mérőkamerák:

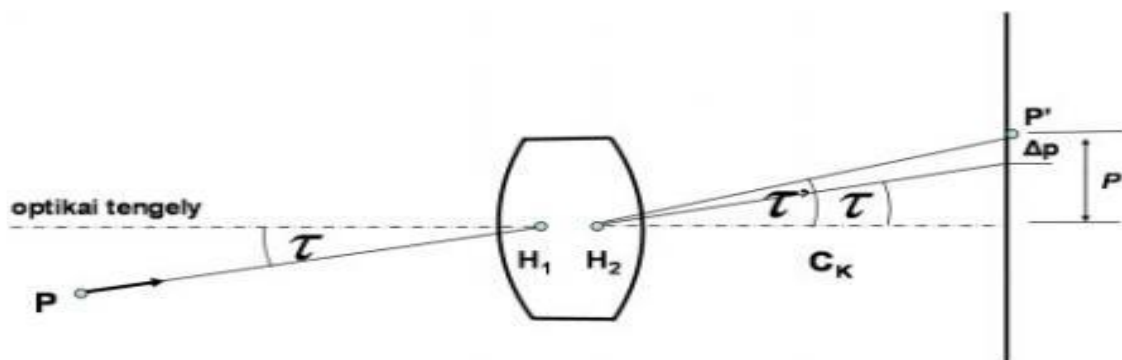
A Digitális mérőkamerák csak fotogrammetriára feladatokra lettek készítve. A belső adatokat és a kamera hibáit tudjuk a hozzáadott kamerakalibrációs jegyzőkönyvből. Felbontásuk, pontosságuk sokkal jobb, mint az amatőr kameráknak. Légi és földi kamerák is lehetnek a digitális kamerák. [17]

A belső tájékozási értékek: A kameraállandó vagy is a C_k . A H főpont koordinátái a képsíkon η_0, ζ_0 . Ezeket tudva már helyreállítható a képalkotó sugárnyaláb. [17]

Ezekhez a belső elemekhez tartozik az elrajzolást okozó lencsehiba értéke is. Ez a hiba azt okozza, hogy egy P pont máshol fog leképeződni a képsíkon, az optikai tengelytől egy Δp távolságra P' lesz. Mivel a vetítő sugár, ami a P pontból indul az optikai tengellyel egy τ szöget zár be. De mivel áthalad a lencsén ezért fénytörés lép fel és a másik oldalon kilépve egy τ' szöget fog bezárni az optikai tengellyel. Ki lehet számolni a τ ismeretében. A hiba hatása a kép szélei felé növekszik a főponttól, vagyis radiális irányú a hiba. [18]

$$P = C_k \cdot \tan \tau + \Delta p$$

az elrajzolási hiba: $\Delta p = P - C_k \cdot \tan \tau$



8. ábra: Az elrajzolási hiba.

https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/7992/0027_FOT3.pdf?sequence=1&isAllo
wed=y

Mérőkamerák fajtái:

A digitális kameráknál megkellett oldani, hogy közelítsék meg a hagyományos légi felveő analóg kamerák felbontási képességét. Az Lecia által gyártott DMC III digitális mérőkamera a legjobb felbontású kamerák között van.

Felbontása 375 megapixel, egy pixel mérete 3.9 μm , CMOS érzékelő mérete 100.3 mm x 56.9 mm, fókusztávolsága 92 mm. Öt szenzor található a kamerában. [17]

Egy másik mód, hogy a CCD szenzorok, amik a kamerában találhatóak egy mozaikká állnak össze. Egy kép annyi részre osztható fel, ahány CCD szenzor van a kamerában, átfedés kell a képek között. A képek darabjait egy algoritmus egyesíti.

A Lecia RCD30-as kamera ezen az elven működik. 80 megapixeles felbontással rendelkezik, egy pixel mérete 5.2 μm , érzékelő mérete 53.7 mm x 40.3 mm. Háromféle objektív létezik hozzá. [17]

Harmadik kategóriába tartozó kameráknál már nem az expozíció alatt készül egy kép, hanem folytonos szőnyegszerű képet állít elő vonalban történő letapogatással.

Az így elkészült felvételek torzulásoktól nem mentesek. Ez abból adódik, hogy a vonalban pásztázott képek nem illeszkednek egymással.

A torzulásokat utólag szüntetik meg. Ilyen kamera a Lecia ADS 100, amin 13 db CCD szenzor van, amik 2000 pixelnyi szélesek fejenként.

Léteznek hibrid kamerák, amik filmre rögzítették a felvételeket, de tettek rá digitális szenzorokat utólag. Ilyen a Rollie 6008D mérőkamera. Felbontása 60.5 megapixel, egy pixel mérete 6 μm , CCD szenzor mérete 53.9 mm x 40.4 mm. [17]

Látószög alapján a kamerákat feloszthatjuk:

kis látószögű: 40 fokig

közepes látószögű: 40-70 fok

nagy látószögű: 70-100 fok

igen nagy látószögű: 100 foktól felfele [17]

6. A 3D modell felhasználása különböző szakterületeken

Ezek a modellek alkotják meg és jelenítik meg a valós világ mását számítógépen. Rengeteg információt tudunk kinyerni belőlük. Ezáltal azt a kényelmet is biztosítja, hogy nem kell feltétlenül terepre menni. A fotogrammetriának egy külön ágazata a 3D modell előállítás és kiértékelés. Térinformatikai rendszerek használatával szokták még egybekötni. De nem mindenhol kell egy adatbázis létrehozása, elég maga a modell. A földi és légi kamerákon kívül lehetőség van még lézerszkennerek használatára. Ilyenkor pontfelhőt hozunk létre a modellhez. Légi, földi és mobil változat is elérhető, mint a hagyományos kamerák esetén. A régészeten kívül még számos helyen alkalmazzák a háromdimenziós modellek előnyeit. [21]

Bűnügyek, helyszínelés: A 3D szkennerek és pontfelhő használata gyorsabb, pontosabb és olcsóbb, mint a régi módok. A helyszínen megvizsgált nyomok így biztonságosabban és időtállóan meglehet őrizni a gépi tárolást követően. A baleseti helyszínre elég egyszer kimenni a felmérés idejére és utána számítógépen meglehet nézni és ezzel időt lehet nyerni. Továbbá használják a modellezést: ballisztikában, halotti szemlén, vér és DNS minta keresésére. [22]

Bányászat: Kilehet váltani azokat a módszereket, amiket eddig használtak. Feltárásnál nem kell emberi életet kockáztatni. A bányaureg modelljét meg lehet alkotni, külszíni bányák esetén drón segítségével lehet felmérni a területet és a bánya bővítésére is használható. Kitermelt nyersanyagok mennyiségét meg lehet határozni. [23]

Egészségügy: Fogszabályzó, fog implantátum készítése. Művégtagok, protéziseknek az elkészítése. Belsőszervek szkennelése és megjelenítése. [11]

Építészet: Lézerszkennerek segítségével az épületet kívül-belül fel lehet mérni és a környezetét is. Homlokzatirajz és alaprajz készíthető. Épületeken távolság és szög mérés is végezhető később pontfelhőből és területszámolás is. Épületek változásai, alakváltozásai nyomon követhetőek mozgásvizsgálatokkal. Ha Időközönként újra

elvégezzük az épület felmérését majd a virtuális modellt szemléljük láthatóvá válik, hogy van-e mozgása az épületnek. Előnye a lézerszkenneres méréseknek, hogy a pontosságuk jobb, mint a geodéziai műszereknek. [24]

Ipar, gépészet: A lézerszken használata az épületgépészetben is használható. Gyorsabb, biztonságosabb, pontosabb, költség hatékonyabb, mint a hagyományos módszerek. A feladatok elvégzését hatékonyabbá teszi. Vezetékek és csőrendszerek nyomvonalai dokumentálható. Elektromos vezetékek vizsgálata végezhető. Részletes és pontos pontfelhő hozható létre olyan gépészeti rendszerekről, amiket veszélyes és nehéz megközelíteni pl: távezeték, szellőző rendszer, vízvezetékek. A gyártásra megtervezett gépipari terméket ellenőrizhetjük még a végleges gyártás megkezdése előtt, ha 3D nyomtatóval kinyomtatjuk. A pontfelhőből még további munkarészeket lehet készíteni: alaprajz, homlokzati rajz, metszetek, látványterv. [25]



9. ábra Tércskenner gyártelepen

<https://terszkenneles.hu/3d-lezerszkenneles-epuletgepeszetben/>



10. ábra IPone 12.

https://www.deccanherald.com/sites/dh/files/styles/article_detail/public/articleimages/2020/11/23/aiphone12mini-cov-shot-sel-1-918798-1606128770.jpg?itok=hcjbvkkC

A felhasznált képeket egy Iphone 12 mini mobiltelefonnal rögzítettem, aminek a kamerája megfelelő volt, hogy megfelelő minőségű felvételek készülhessenek

Kamera adatok:

Felbontás:	12 megapixel
	1440*1920
Képarány:	4:3 és 16:9
Érzékelő típusa:	CMOS
Szenzor mérete:	1/3.4
Érzékelő gyártója:	SONY IM372
Pixel méret:	1.40 μ m
Fókusz távolság:	26 mm
Zoom:	digitális ötszörös, optikai kétszeres
Fényerő:	$f/1,6$
Időzítő:	3 és 10 mp
Expozíció	Van
Vaku:	Beépített
Videó felbontás:	1280 × 720 30 fps
	1920 × 1080 25-30-60 fps
	3840 × 2160 30 fps
Rögzítési képformátumok:	Kép: JPEG, HEIF
	Videó: HEVC, H.264
Méret:	131.5 x 64.2 x 7.4 mm
Súly:	133 g

I.táblázat Iphone technikai adatok <https://www.kimovil.com/en/apple-iphone-12-mini/camera>

7. A fényképek elkészítése a modellhez és távolságmérés

Ideális időjárási körülményekre és megfelelő napszakra törekedtem a felvételek elkészítésekor. Egy iphone 12 telefont használtam, aminek a kamerája megfelelő felbontással rendelkezik. Az képeket 70%-os átfedéssel készítettem, hogy a 3D modell megfelelő legyen. A telefonban lévő gps vevő segítségével a képek koordinátákkal lettek ellátva. A pontokat tetszőlegesen választottam ki a síremléken. A távolságokat a kiválasztott pontok között mérőszalaggal mértem le. Mivel nem rendelkezem saját műszerrel és segítséget sem tudtam kérni, így ezt a módszert kellett választanom. A távolságok későbbi beazonosítására a telefonom volt segítségemre, amin az elkészült képeken meglehetett jelölni a távolságokat egy vonallal. A műemléknek három oldalán voltak olyan, jellegzetes részletek, amikről lehetett távolságokat levenni. Így 19 db távolságot tudtam mérni. 7 db vízszintes, 6 db függőleges, és 6 db átlós távolságot. Utána az internetről töltöttem le képeket a műemlékről. Csak a nappal készült és vízjel nélküli képek voltak megfelelőek. A legtöbb lementett kép nem tartalmazta, hogy mekkora fókusz távolsága van. Próbáltam minden oldaláról készült képeket keresni. A legtöbb kép, amit sikerült találnom szemben a bejáratnál készült.

Három modellt állítottam elő, illetve egy negyediket is csupán érdekességként. A végén összehasonlítottam egymással a három modellt.

Első modell: Az első csak a saját készítésű képekből lett létrehozva

Második modell: Vegyesen saját és weboldalakról felhasznált képekkel együtt. Egyes részen a webes képek voltak hangsúlyban.

Harmadik modell: Szintén mindkét fajta kép felhasználásával készült.



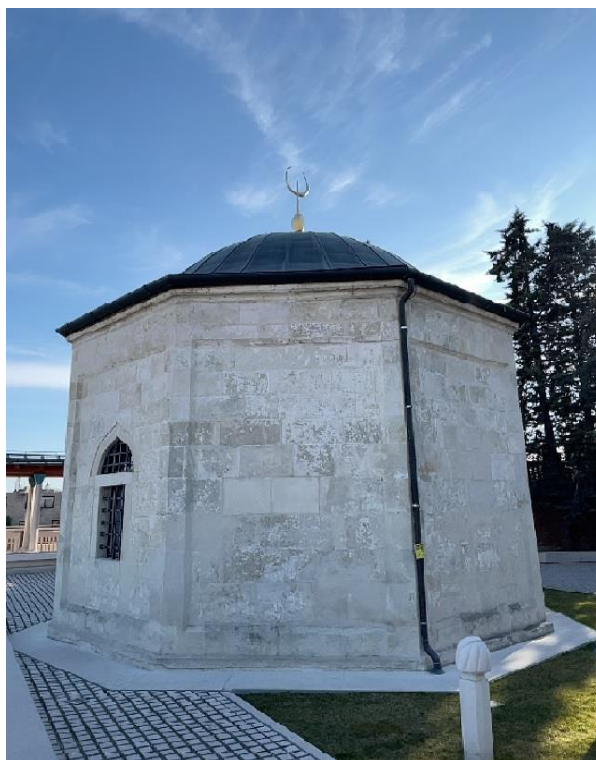
11. ábra Internetről letöltött kép 1



12. ábra Saját kép 1



13. ábra Internetről letöltött kép 2



14. ábra Saját kép 2



15. ábra Internetről letöltött kép 3



16. ábra Saját kép 3

Az elkészült képekből állítottam elő a 3D modellt, az Agisoft Metashape Professional nevű programmal. Ez egy orosz fejlesztésű program. 2006-ban került a piacra Photoscan néven, majd 2010-től Metashape néven vált elérhetővé. Linux, macOS, és Windows alapú operációs rendszereken telepíthető a szoftver. 30 napig lehet használni ingyenesen, és a professional mellett van a standard verzió is. A programnak a hardverek közül leginkább ramra és tárhelyre van szüksége a megfelelő működéshez. 32 GB ram szükséges ahhoz, hogy a 3D modellt a legjobb minőségben előlehesen állítani. Ennek hiányában előfordul, hogy egy hibaüzenettel abbamarad az éppen futó folyamat.

A professzionális verzióban több funkció érhető el: pontfelhő készítése, légiháromszögelés alkalmazása, elektromos vezetékeket felismeri automatikusan, 3D modell előállítás és textúrázása, sztereoszkópos mérés, digitális domborzat modell és digitális felszín modell előállítása, terület távolság térfogat mérés, Python and Java API sricptek írása, felhőbe való mentés.

A standard verzióban csupán négy funkció van: légiháromszögelés alkalmazása, pontfelhő készítése, 3D modell előállítása és textúrázása, panoráma készítése.

A háromdimenziós modellt sugárnyaláb kiegyenlítéses légi háromszögelési módszerrel állítja elő a program. Földi és légi fotogrammetriában lehet alkalmazni. Nem szükséges a program használatához, hogy szakemberek legyünk laikusok számára és könnyen használható. [26]

Felhasználási területek: Helyszínelés, bányamérés, tárgydokumentáció, műemlékek és műtárgyak felmérése, mezőgazdaság, légifelvételek feldolgozása.

Kezelőfelülete jól átlátható és könnyen használható. Kilenc fülből épül fel a menürendszere:

File: új project létrehozása, meglévő munka megnyitása, összefűzni másikkal, felhő használata, ki lehet menteni különböző adatokat (koordináták, 3d modell, általános jegyzőkönyv), belehet hívni meglévő adatokat (pontok, modell, textúrák,videók). A kimentett modell további felhasználásra is alkalmas pl: AutoCad

Edit: művelet visszavonása, fordított kijelölés, növekvő és csökkenő terület kijelölése, kijelölés eltávolítása.

View: nagyítás és kicsinyítés a modellen, nézet alaphelybe állítása, funkciók láthatóságának ki/be kapcsolása.

Workflow: képek hozzáadása, a modell létrehozásához szükséges feladatok (képek tájékozása, sűrű pontfelhő, TIN háló, textúra építés, felület és domborzat modell, ortomozaik. Itt lehetőség van beállítani, hogy a megadott folyamatok automatikusan fussanak le.

Model, Orto: navigáció, téglalap/kör/szabad kijelölés, pont/vonallánc/alakzatok rajzolása, távolság mérés, funkciók láthatóságának ki/be kapcsolása, megjelenítési módok.

Photo: intelligens olló, intelligens rajz, varázspálca

Tools: jelölések, kamera kalibráció, scriptek futtatása, egyéb kinézeti beállítások

Help: Frissítések, Program aktiválása.

A modellalkotás és feladat végrehajtás nyolc lépésben történt

1. Add Photos

Mielőtt hozzá adtam volna a képeket először új projektet hoztam létre és el is mentettem. Legelőször kiválogattam a képeket. A homályos és az egyforma képeket kitöröltem. A másik két modellhez vegyesen hívtam be a képeket. Képek hozzáadását a Workflow / Add Photos menüpontban lehet elvégezni. Az általunk használt vonatkoztatási rendszert állítsuk be, ami a WGS 84. A képeknek a koordinátáit tudjuk, mivel a telefon rögzíti azokat. Oldalt lehet látni minden kép koordinátáit. A Show camera ikon megnyitásával megjeleníti, hogy honnan lettek készítve a lépek. Ezeket kék ponttal jelöli. A tájékozás elvégzése után már az adott képet is megjeleníti.

2. Align Photos

Mielőtt elvégeznénk a tájékozást állítsuk be a videokártya használatát a gyorsabb munkához. Ezt a Tools / Preferences / GPU-ban tehetjük meg. Válasszuk a videokártyát és kapcsoljuk ki a CPU, és ha van az integrált videokártya használatát a megfelelő teljesítményhez. Képek tájékozása, vagyis, azok összekapcsolása a Workflow / Align

Photos-ban érhető el, itt a lehető legjobb minőséget választottam ki, a többi lehetőséget az eredeti megadott értékeken hagytam.

Ekkor a kamerát rögzíti a képeknek megfelelően eredeti pozícióba. Ekkor egy ritka pontfelhőt kapunk, ami, a TIE points vagyis a kötési pontok. Ezután a létrejött pontthalmazból kitöröltem mindent, ami nem szükséges. Ezáltal még kevesebb pont maradt, ami gyorsítja a feldolgozás idejét.



17. ábra Ritka pontfelhő

3. Build Dense Cloud.

Sűrített pontfelhő létrehozása, kapcsolópontokból állítja elő. Ezt is a Workflow menüben érhetjük el Build Dense Cloud-ra kattintva. Itt magas minőséget választottam ki, a legjobb minősben (ultra high) nem tudott lefutni kevés ramom van hozzá. Másik fontos beállítás a mélységi szűrő (depth filtering).

Itt háromféle beállítási lehetőség van:

Agreesiv: Légi felvételek készítésekor használatos, ahol a részletek nem számítanak annyira, mint egy közeli tárgy, épület felmérésnél pl: mező felmérése. Gyengébb minőség, gyors feldolgozás.

Mild: Közelről készült felvételeknél használható, ahol számít minden egyes apró részlet a felméréndő objektumon. Jó minőség, lassú feldolgozás.

Moderate: Az előző két szűrő közötti szűrés. Közepes minőség, közepes feldolgozás.

Ebből már jobban kivehetőek a tárgyak, így a további nem szükséges dolgokat töröltem. Ez a folyamat tart a leghosszabb ideig.

4. Build Mesh

Ezzel hozza létre a felszínmodell, ami egy TIN modell (háromszögekből álló háló). A korábban készült pontfelhőre hozza létre a felületmodell. Ezzel, már kapunk egy modellt, aminek a felülete még életlen, szemcsés. A Workflow menüből érhető el szintén.

Beállítások:

Source data: a modellt miből hozza létre: ritka/sűrített pontfelhőből vagy mélységi térképből.

Surface type: a felület típusa: tetszőleges (3D), Height field (2,5D)

Quality: minőség

Face count: meghatározza, hogy a modellben mennyi sokszög legyen.

5. Build Texture

Ezt is Workflow-ban érjük el. Az elkészült felületmodellhez illeszti a textúrát, amit képekből nyer ki. Ezzel kapjuk meg az elkészült 3D modellünket, ami a terep valóságghű modellje, ami már a végleges forma. Itt már tisztán kivehető minden részlet. A kész modellemnek hiányos a teteje, mivel nem tudtam minden oldalról megfelelő képeket készíteni. Sajnos egy fa igen zavaróan takarta az épület egy részét. Illetve más oldalán pedig nem tudtam eléggé hátra menni mivel mellette már szakadék volt. A felhasznált képekkel együtt sem lett meg az emlékmű teteje.

Itt az első és harmadik modell textúrája nem sokban tért el egymástól, viszont a második már feltűnően eltért. Az internetes használt képeket használva a program feltudta építeni a második modellt, de a minőség leromlott. Kíváncsi voltam, hogy csupán az internetről felhasznált képekből lehetséges-e modellt alkotni. Egy részéről sikerült, a bejáratát részét modellezni, bár nagyon gyatra minőségben. Csak ehhez a területhez volt elegendő kép.



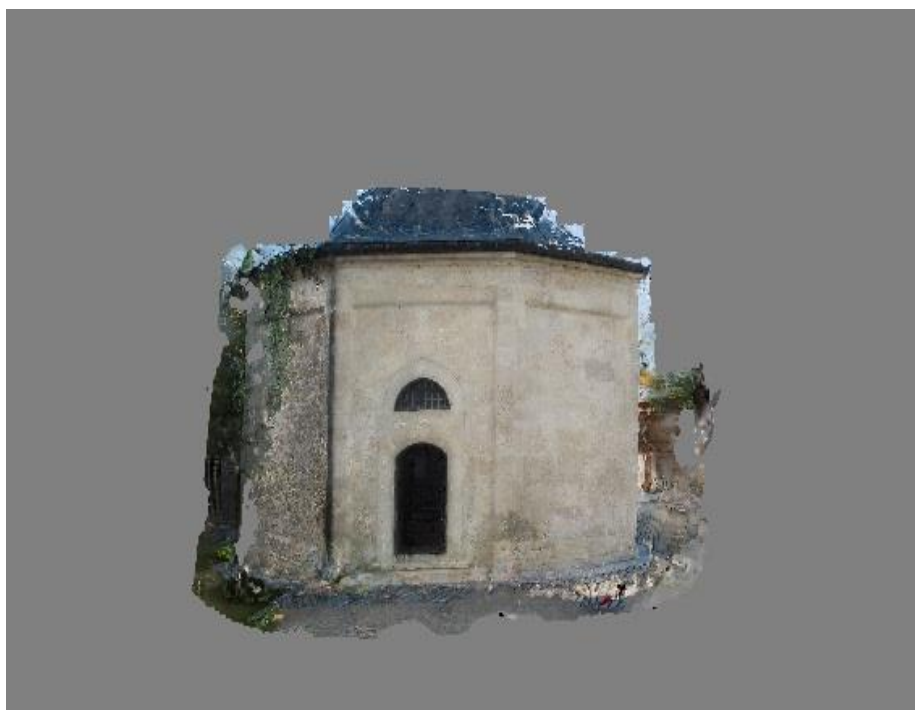
18. ábra Első modell textúrája



19. ábra Második modell textúrája



20. ábra Harmadik modell textúrája



21. ábra Csak az internetes képekből generált modellrészlet

6. Build Tiled Modell

Csempézett, illeszkedő modell létrehozása. Sokkal élesebb modellt kapunk, mint a sima textúrázott modellnél. Így, ha van tábla, mint itt a szöveg olvasható lesz. (képeket az összehasonlításához). A csempe méretét a tile size-nál tudjuk megadni pixelben. Minél kisebb méretet választunk annál rövidebb ideig tart elkészítenie a modellt. Ezt a hat lépést végre lehet hajtani úgy is, hogy nem kell a gép előtt ülni és várni amíg befejeződik az adott folyamat, hanem előre megadott sorrendben és beállítással automatikusan lefutnak. A Workflow / Batch Process-t kell megnyitni. Az add gombbal lehet hozzá adni a folyamatot és a hozzá való beállításokat is. Automatikus mentés is a listában szerepel. Sorrendben futnak le a lépések az elsőtől kezdődően. Ez a funkció időtakarékos, mivel nem kell állandóan várni míg egy hosszabb folyamat készen lesz, elég reggel vagy esete elindítani azt.



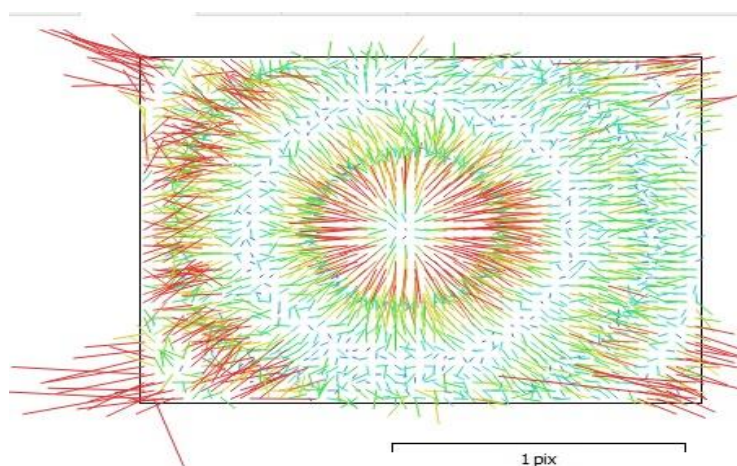
22. ábra A második modell csempézett változat

7. Kamera kalibráció

A képeket amatőr digitális kamerával készítettem, ezért nem ismertek a kamera belső tájékozási elemei. A C_k (kameraállandó), és a $\begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix}$ (képfőpont koordinátái). Csak, a kalibrálatlan fókusztávolság ismert. A program 50 mm-es fókusztávolsággal számol, ha a képekből ezt nem lehetne megállapítani azt. Ha tudnánk ezeket az adatokat, akkor csak megkérné adni a programnak azokat, de mivel nem ismertek ezért a kamera kalibrációt el kell végezni. Amint elvégeztük a képek tájékozását már futtatható is a kalibráció. Előtte már számol előzetes belső tájékozási elemeket: fókusztávolság (f) és c_x , c_y (főpont koordináták), pixelben megadva. Ezeket az adatokat a Tools / Camera Calibration-on belül az Initial-ban találjuk meg. A kalibrációt a Tools / Optimize Camera-ban indíthatjuk el. Meg lehet adni milyen értékeket számoljon: f , c_x , c_y , b_1 , b_2 (affin transzformációs paraméterek), k_1 , k_2 , k_3 , k_4 (radiális elrajzolási paraméterek), p_1 , p_2 , p_3 , p_4 (tangenciális elrajzolási paraméterek). Számomra az f , c_x , c_y , b_1 , b_2 , k_1 , k_2 , k_3 , p_1 , p_2 paraméterekre volt szükségem. A számított értékeket a Tools / Camera Calibration / Adjusted fülben találjuk meg. Bal felül van egy kamera ikon, amire, ha ez egér jobb gombjával kattintva a Distortion -t választjuk, akkor több láthatjuk a becsült torzulási értékeket. [26]

Distortion: A torzítási fül, a kamera torzítását mutatja meg.

Residuals: Kamera kalibráció maradék hibái. A képek szélein jelenik meg a hiba, a radiális irányú torzulásból adódóan.



23. ábra Kalibrációs maradék hibák

Profile: Radiális és tangenciális torzulási hibákat adja meg a távolság függvényében, amik a kép közepéből erednek. Pixel méretben vannak ábrázolva. A tangenciális hibának nevezzük, ha a kamera lencse el van csúszva vagy dőlve. Ezzel a hibával csak az amatőr kameráknál kell számolni. A radiális torzulásnál a képsík nem merőleges az optikai tengelyre és az objektív lencsési központi hibákkal terheltek. A belső tájékozás során vesszük figyelembe. A tangenciális disztorzió merőleges a radiális disztorzióra.

Correlation: Korrelációs mátrix értékeit adja meg. A korreláció megmutatja, hogy két változó mennyire függ egymástól. A korreláció értéke -1 és +1 között lehet. Ha az eredmény nulla akkor a két változó teljesen független egymástól, ilyenkor a legnagyobb az eltérés. Ha +1 akkor teljesen meggyeznek. [26]

Vignetting: A radiometrikus torzítást adja meg.

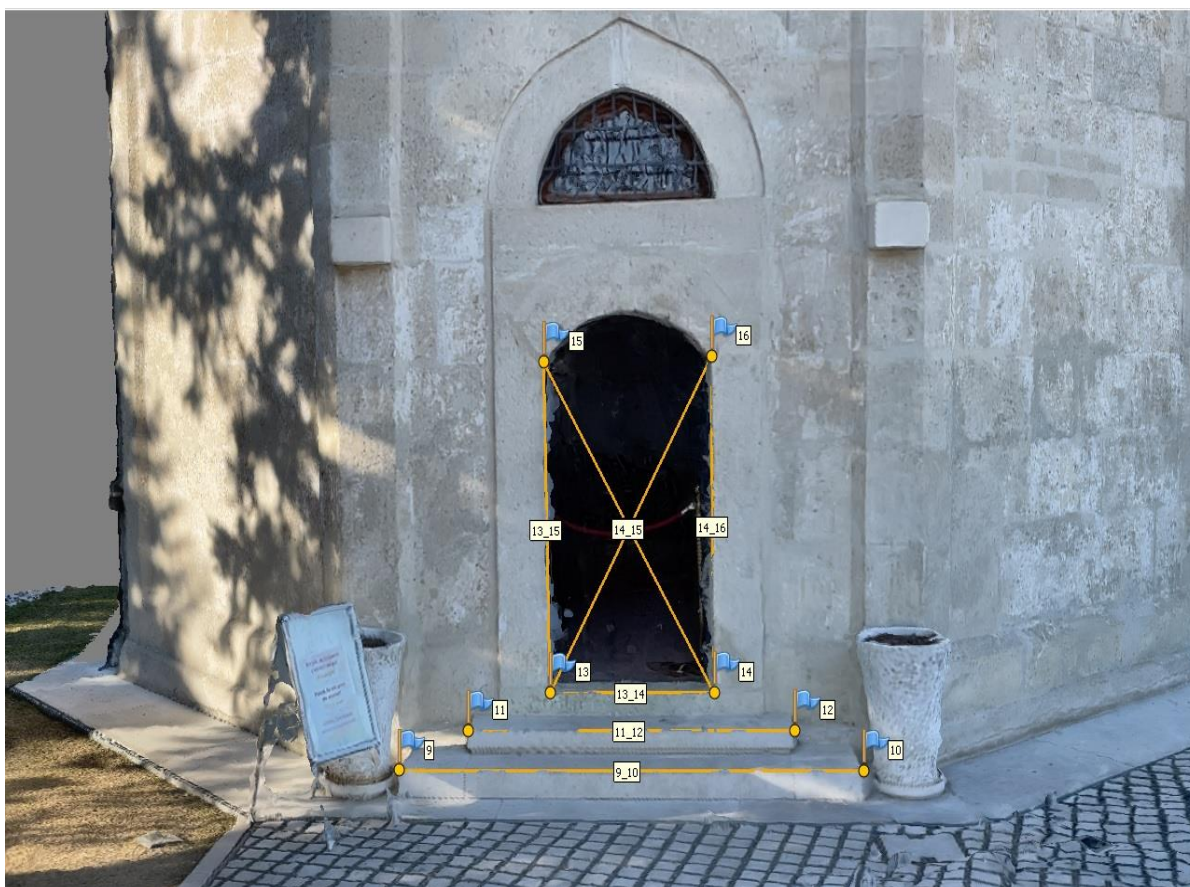
8. Mért pontok felvitele a modellre

Először a képeken kell elhelyezni a jelöléseket az add marker-rel, amit a jobb egér gomb nyomásával tehetünk meg. Zöld zászlóval és egy pontszámmal fogja jelölni a felvitt pontot. A pontszámozás tetszés szerint átnevezhető. Figyelni kell, hogy a pontok pixelhibája egynél ne legyen több. Ez a pontok elhelyezéséből adódó hiba. Ezután a többi képen elhelyez a program kék színű zászlókat számítás alapján, ezeket nekünk kell a pontos helyére húzni, majd zöldre váltanak. Voltak nehezen azonosítható pontok, ahol nehéz volt eldönteni, hogy jó helyre kerül-e a pont.

Ilyenkor a gép általi kiszámított helyet tekintetem megfelelőnek. De ki is lehet vonni a számításból. Miután felvittük az összes pontot már megadjuk a mért távolságokat. Ehhez modellnézetre kell váltani először, és alul a reference almenüre kell kattintani. Kiválasztunk két pontot, kontrollt nyomunk és itt create scale bar-al megadhatjuk a távolságot. Milliméter pontosan kell méterben megadni. Meg is mutatja az eltérést a program által számított távolságtól. A view estimateden belül tekinthetők meg a számított távolságok. A végén pedig a kiegyenlítést futtattam le. Az első modellen a távolságkülönbségek között nem volt nagy hiba 2 cm-es volt a legnagyobb, ami

megfelelő. A másik kettő modellen már előfordult akár 20 cm-es eltérés is. Ezek azok a területek voltak, ahol az internetes képek is használva voltak.

A többi helyen mért távolságokban nem voltak ekkora hibák. Megfigyelhető, hogy a 9_10, 11_12, 13_14, 13_15, 14_16, 13_16, 14_15 távolságok között vannak a legnagyobb hibák és eltérések.



24. ábra Távolságok, amelyekben nagy az eltérés

A műemlékről levett távolságok és a program által számolt távolságok közötti eltérést foglaltam össze táblázatos formában.

Távolságok	Mért távolság (m)	Számított távolság (m)	Eltérés (m)
1_2	0.77	0.78	0.00
2_3	1.34	1.35	0.01
1_3	1.11	1.10	-0.00
1_4	1.35	1.36	0.00
2_4	1.10	1.11	0.00
3_4	0.80	0.78	-0.01
5_6	0.38	0.38	0.00
5_7	0.47	0.47	0.00
7_8	0.38	0.38	0.00
6_8	0.47	0.47	0.00
6_7	0.60	0.61	0.00
5_8	0.60	0.61	0.00
9_10	2.46	2.45	-0.00
11_12	1.80	1.79	-0.00
13_14	0.93	0.93	-0.00
13_15	1.56	1.57	0.01
14_16	1.56	1.58	0.02
13_16	1.82	1.84	0.01
14_15	1.81	1.83	0.01

II.. táblázat távolság eltérések az első modellen

Távolságok	Mért távolság (m)	Számított távolság (m)	Eltérés (m)
1_2	0.77	0.78	0.00
2_3	1.34	1.36	0.01
1_3	1.11	1.11	0.00
1_4	1.35	1.36	0.01
2_4	1.10	1.11	0.00
3_4	0.80	0.78	-0.01
5_6	0.38	0.38	-0.00
5_7	0.47	0.47	0,00
7_8	0.38	0.39	-0.01
6_8	0.47	0.48	-0.01
6_7	0.60	0.62	-0.01
5_8	0.60	0.62	-0.02
9_10	2.46	2.69	0.23
11_12	1.81	1.92	0.11
13_14	0.94	1.00	0.06
13_15	1.56	1.63	0.06
14_16	1.56	1.61	0.05
13_16	1.82	1.91	0.09
14_15	1.81	1.87	0.06

III. táblázat távolság eltérések a második modellen

Távolságok	Mért távolság (m)	Számított távolság (m)	Eltérés (m)
1_2	0.77	0.79	-0.01
2_3	1.34	1.37	-0.02
1_3	1.11	1.09	0.01
1_4	1.35	1.37	-0.20
2_4	1.10	1.12	-0.01
3_4	0.80	0.77	0.02
5_6	0.38	0.39	-0.01
5_7	0.47	0.48	-0.00
7_8	0.38	0.39	-0.19
6_8	0.47	0.45	-0.03
6_7	0.60	0.63	-0.26
5_8	0.60	0.58	0.02
9_10	2.46	2.69	0.23
11_12	1.80	1.97	0.17
13_14	0.94	1.02	0.08
13_15	1.56	1.71	0.15
14_16	1.56	1.71	0.15
13_16	1.82	2.00	0.18
14_15	1.81	2.00	0.18

IV. táblázat távolság eltérések a harmadik modellen

A feladat végeztével van lehetőség általános jelentést (generic report) menteni. Ami sok hasznos információt tartalmaz: a képek számát, a területet, a kamera helyzetét megjelölve, tájékozási pontokat, kamera felbontását és fókusz-távolságát, hogy mekkora egy pixel, repülési magasságot, kamera kalibrációs értékeket, koordináta és pixelhibákat, távolságok hibák.

8. Összefoglalás

A 3D modelljeimet a Gülbaba türbéje nevű műemlékről hoztam létre amatőr digitális kamerával.

Az első modellem 194 db képből áll, a pontfelhő pedig 6,134,661 pontból áll össze. A legnagyobb hiba, ami fellép a mért és számított távolságok között az 2.3 cm. A távolságok középhibája nem haladta meg az 1 cm-t, ami megfelelő eredmény. A második modell 206 db képből, 4,178,063 pontszámú felhőből áll. Itt voltak több tíz centiméteres eltérések, a távolságokban legnagyobb 23 cm volt. A középhiba itt közel 8 cm a nagy eltérésű távolságokkal együtt, azokat kihagyva középhiba 0.5 cm lett. A harmadik modellemet 259 db kép alkotja és a pontfelhőt 7,357,542 pont. Itt voltak a legnagyobb hibák a mért és számított értékek közt. A középhiba a nagy távolság eltérések nélkül 1 cm alatt maradt. Ami érdekes, mivel itt vontam be a legtöbb képet a modell előállításához.

A program használata nagyon felhasználóbarát és könnyen átlátható a kezelőfelülete. A vegyes modellek minősége nem sokkal tért el a saját felvételekből előállított modelltől, bár ez a képek számától és minőségétől is függ. Azon a részen, ahol csak internetes képeket használtam, eléggé gyenge volt a minőség és a modell pontossága is rosszabb lett. Ahol fele-fele arányban voltak a képek, bizonyos részekben tartotta a minőséget, bár a pontosság ott volt a legrosszabb. De a műemlék többi részén nem volt ebből adódó eltérés. Tehát létre lehet hozni egy modellt vegyes forrású képekből, vagy akár csak random képekből is, ha van közöttük megfelelő átfedés. A minősége a képek minőségétől függ, viszont a modelltől levett méretek pontossága nem megfelelő mérnöki számításokhoz csupán közelítő értéket adnak.

Földi felvételek helyett lehetett volna alkalmazni drón technológiát, vagy egy lézerszkennert, amivel pontfelhő alapú modellt lehet létrehozni. Illesztőpontok alkalmazásával növelhető a modell pontossága, valamint lehetőséget ad a modell terepi rendszerbe illesztésébe is.

Summary

I created my 3D models from a monument called Gülbaba turbe with an amateur digital camera

The first model consists of 194 images and the point cloud consists of 6,134,661 points. The largest error that occurs between the measured and calculated distances is 2.3 cm. The mean error of the distances did not exceed 1 cm, which is a good result. The second model consists of 206 images with a score of 4,178,063. There were differences of tens of centimeters here, with a maximum distance of 23 cm. The mean error here is close to 8 cm, with or without large distances. My third model consists of 259 images and the point cloud is 7,357,542 points. Here were the biggest errors between the measured and calculated values. Which is interesting because I drew most images here to perform an operation.

The program is very user friendly and has an easy to use interface. The quality of the mixed models did not differ much from the model produced from our own shots, although this also depends on the number and quality of the images. Depends on the part where I only used internet images, the quality and accuracy was also quite poor. Where the proportions of the images in some parts were there, the quality was already there, although the accuracy was the worst there. But the rest of the monument did not differ as a result. So you can create a model from mixed source images or even just random images if there is a good overlap between them. Its quality depends on the quality of the images, but the accuracy of the dimensions taken from the model does not give an approximate value for engineering calculations with inadequate accuracy.

Instead of ground images, it would have been possible to use drone technology or a laser scanner to create a point cloud-based model. Fitting points can be improved by measuring the accuracy of the model as well as the possibility of fitting the model into the field system.

9. Irodalomjegyzék

- [1] https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCl_Baba_t%C3%BCrb%C3%A9je#Kapcsol%C3%B3d%C3%B3_sz%C3%B3cikk
- [2] <https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C5%B1eml%C3%A9kv%C3%A9delem>
- [3] <https://njt.hu/jogszabaly/2001-64-00-00>
- [4] <https://epitesijog.hu/magyarazatok/atulajdonjogkorlatai/1300-01-mi-az-a-muemlek>
- [5] https://hu.wikipedia.org/wiki/Nemzeti_émlékhely
- [6] http://tortenelemszak.unimiskolc.hu/Hallgatoi_anyagok/BA_regeszeti/tereptan_anyagok/R%E9g%E9szeti%20K%E9zik%F6nyv%202011.pdf
- [7] <http://www.interspect.hu/BG-LFGK.pdf>
- [8] <http://szabadsag.ro/-/regeszeti-es-az-uj-technologiak-kora>
- [9] <https://erdelyikronika.net/2019/03/07/repules-a-multba-a-legiregeszeti-tortenete-ismerteto/>
- [10] <http://dronerz.hu/cikk/igy-valtoztatta-meg-a-regeszeti-a-dronipar>
- [11] Fotogrammetria 15. A fotogrammetria speciális alkalmazási lehetőségei Balázsik, Valéria
https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/7678/0027_FOT15.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] https://hajosnep.blog.hu/2021/05/02/hajoroncok_szkennelese_a_viz_alatti_regeszeti_vizualizacios_eszkozok_taranak_fejlolese_napjainkban
- [13] Balázsik Valéria (2010). Fotogrammetria 1
https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/8095/0027_FOT1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Dagerrotípi>
- [15] https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/7923/0027_FOT5.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fotogrammetria 5. Az információszerzés eszközei Dr. Engler Péter

- [16] Fotogrammetria 6. A földi fotogrammetria Dr. Engler, Péter
https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/8070/0027_FOT6.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] Dr. habil Jancsó Tamás: Digitális fotogrammetria, Budapest 2017
- [18] Fotogrammetria 3. A fotogrammetria optikai és fotográfiai alapjai Balázsik Valéria
https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/7992/0027_FOT3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [19] Fotogrammetria 16. Digitális kamerák Dr. Engle Péter
https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/8041/0027_FOT16.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [20] <https://erda.hu/hu/fotogrammetria-szerepe-eddigi-es-jelenlegi-alkalmazasa-egyiptomban-asatasok-muemlekek-felmeresere?fbclid=IwAR1EUHZJZ6dJQbXC8qlOTLwNucr3FYiNcHhc5UI3CdPzP5p1vcrbjD69klk>
- [21] Dr. habil Jancsó Tamás: Digitális fotogrammetria, Budapest 2017
- [22] <https://3dmeres.hu/helyszinelok-munkajat-tamogato-rendszer-21-szazadi-technikaval/>
- [23] <https://3dmeres.hu/banyaszat-3d-szkenner/>
- [24] <https://3dmeres.hu/epuletek-mozgasvizsgalata-3d-szlennerrel/>
- [25] <https://terszkenneles.hu/3d-lezerszkenneles-epuletgepeszetben/>
- [26] https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf

