



ÓBUDAI EGYETEM

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT / DIPLOMAMUNKA

**A FOTOGRAMMETRIA ALKALMAZÁSI
LEHETŐSÉGEI A MŰEMLÉKVÉDELEMBEN**

Konzulens: Balázsik Valéria

Külső konzulens: Veöreös András

**OE-AMK
2021**

Hallgató neve:

Fekete Nándor

Hallgató törzskönyvi száma:

T00310/FI2904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai 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: Sopron, 2021.11.13.

Fekete Károlv

hallgató aláírása



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Alba Regia Műszaki Kar

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Fekete Nándor Farkas

Szaktervezési száma: SZD21020520564801

Törzskönyvi száma: T000310/FI12904/A-G

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: A fotogrammetria alkalmazási lehetőségei a műemlékvédelemben

A dolgozat címe angolul: Possibility of application of photogrammetry in monument protection

A feladat részletezése: Sopron rövid történelmi áttekintésén keresztül mutassa be a város műemlékeit, azok városképre gyakorolt hatását!

Ismertesse a műemlékvédelemben alkalmazott dokumentálási eljárásokat, azon belül részletesen térjen ki a digitális, háromdimenziós modellezés lehetőségeire!

Soproni példákon keresztül mutassa be az eljárás alkalmazásának folyamatát!

Összefoglalóan értékelje a háromdimenziós modellezés jelentőségét az örökségvédelemben!

Intézményi konzulens neve: Balázsik Valéria

Külső konzulens neve: Dr. Veöreös András egyetemi docens

Munkahelye: Széchenyi Egyetem; Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Kulturális Örökségvédelmi Irodája

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 11. 25.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Balázsik Valéria

belső konzulens

Veöreös András

külső konzulens

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	6
2. Személyes motiváció	6
3. Sopron történelme	8
4. 3D modellezés	10
4.1 A 3D modellezés fogalma, célja	10
4.2 Megvalósítás	11
4.3 Alkalmazási területek	13
4.4 Előnyök, a folyamat jelentősége	15
4.5 Hátrányok.....	15
4.6 Szoftverek	16
4.7 Szükséges eszközök, előállítható végtermékek.....	17
5. Műemlékvédelem	17
5.1 Épület dokumentálásának módszerei	17
5.2 Épület dokumentálásának jelentősége.....	19
5.3 Műemlékvédelem elvei és módszerei.....	20
5.4 Műemlékvédelem folyamata, felépítése	21
5.5 Műemlékvédelem Sopronban	22
5.6 Fotogrammetria az építészetben, műemlékvédelemben	25
5.7 A háromdimenziós modellezés jelentősége a műemlékvédelemben	26
6. A felhasznált eszközök ismertetése	27
6.1 Xiaomi Redmi Note 8 Pro	27
6.2 Fényképezőgép	28
7. A terület ismertetése.....	30
8. A munkafolyamatok ismertetése.....	32
8.1 A program ismertetése	32
8.2 A fényképezés részletezése	39
8.3 A feldolgozás ismertetése	41
8.3.1 Az alapvető beállítások elvégzése.....	41
8.3.2 A modellezés folyamata	45
9. A fellépő nehézségek ismertetése és megoldásuk	59

10. Eredmények bemutatása	60
10.1 Az eredmények elemzése.....	61
10.2 A szakdolgozat korlátai, továbbfejlesztési lehetőségek	72
11. Összegzés	73
12. Summary	74
13. Műszaki leírás	75
14. Köszönetnyilvánítás	76
15. Irodalomjegyzék	76

1. Bevezetés

Szakdolgozatom témája a fotogrammetria alkalmazása a műemlékvédelemben, amely során belvárosi kapukat használtam fel térbeli modellezéshez.

Személyes motivációm bemutatását követően röviden ismertetem Sopron történelmét. Pár mondatos áttekintő ismertetés után a szakdolgozat szempontjából releváns (1676-) időszakot tekintem át, az ekkortájt történő változások mai városképre gyakorolt hatását vizsgálom.

Következő fejezetként a térbeli, háromdimenziós modellezést mutatom be, ahol az általános áttekintésen kívül (fogalom, cél, megvalósítás) szemléltetem a folyamat előnyeit, jelentőségét, valamint az eszközigényeket és az előállítható végtermékeket is.

Ezt követően a műemlékvédelem témaköre következik. A dokumentálási lehetőségeken kívül a folyamat jelentőségét, valamint a műemlékvédelem folyamatát és felépítését is vizsgálom, külön kitérve a Sopront érintő konkrét részletekre. A fejezet lezárásaként a fotogrammetria és a műemlékvédelem összekapcsolódását ismertetem.

A program és a fényképezés ismertetése után a feldolgozás irányelveit, folyamatát taglalom, illetve a felhasznált eszközök számunkra releváns műszaki paramétereire is kitérek.

A felhasznált adatok feldolgozásának folyamata által kívánom a modellezés folyamatát áttekinteni, annak gyakorlati alkalmazását bemutatni.

2. Személyes motiváció

Szakdolgozatom esetében mindenképpen lakhelyem, Sopron városához kötődő témát kívántam választani. Célom a modern, 21. századi technológia átültetése és felhasználása a mindennapokba, tanulmányaim kamatoztatása a hétköznapi életben. Városunkban nagyon sok műemlék található, főként a történelmi belvárosban, ezért döntöttem úgy, hogy erre fogom felépíteni szakdolgozatomat.

Sopron egyedülálló történelmi múltjának és a műemlékvédelem területén dolgozó szakemberek munkájának köszönhetően lépten-nyomon történelmi értékekre bukkanhatunk a városban, és

nem csak a történelmi belváros területén. Példának elég csak a most épülő Árpád utcai parkolóházra gondolni, ahol az építkezés kezdetén II. világháborús tömegsírt tártak fel.

Már nagyon sok helyen jártam külföldön és belföldön is, azonban gyakran rácsodálkozom, hogy Sopron műemlékekben egyedülálló. Nagyon kevés város büszkélkedhet ilyen gazdag épített örökséggel, illetve a hasonlóan gazdag történelmű városok kis hányada volt csak képes megőrizni az épületeket történelmi formájukban.

Sopron történelmi belvárosának egyes utcáiban (Szent György utca, Templom utca, Kolostor utca, Új utca) szinte kivétel nélkül minden ház műemléki védeltséget élvez, múltidéző hangulatuk és kinézetük napjainkban is történelmet varázsol a hétköznapiakba. Ezen épületek legszebb, legdíszesebb és legkidolgozottabb eleme a kapu, és a hozzá tartozó. kőből kirakott boltív, valamint a keret. **(1. ábra)**



1. ábra: Sopron, műemlék épület, Templom utca 2. (saját fénykép)

Ezeket a műemlékeket szemlélve döntöttem úgy, hogy a korszerű technológiák műemlékvédelemben való hasznosításáról fogom írni szakdolgozatomat, a múltbeli épületek jelenkori jelentőségére különös hangsúlyt fektetve.

Hipotézisem szerint a kapu egyedi ismertetőjele egy épületnek, valamint jellegzetesebb része, mint a homlokzat. Így egy nyílászáró asztalosszerkezetével ellentétben helyzetük valószínűsíthetőleg a felújítás után se változik, és hasznos támpontként szolgálhat egy esetleges felújítás esetén.

A belvárosban kapukat, kapubejáratokat kerestem annak érdekében, hogy ezekből háromdimenziós modelleket tudjak készíteni.

A modellezésen felül igyekszem a szakágak közötti fúzióban rejlő potenciális lehetőségekre rámutatni, vizsgálva miként szolgálhat más tudományterületek segítségére a térbeli modellalkotás.

3. Sopron történelme

Sopron Győr-Moson Sopron megyében, Magyarország nyugati részén, az Alpokalján, a Kisalföld és a Soproni-hegység között található. Megyei jogú város, történelmét jelentősen befolyásolja földrajzi elhelyezkedése, közelmúltját és jelenét pedig az osztrák határhoz való közelsége. [3.]

Sopron területe az időszámításunk előtti 2.-3. évezredből származó régészeti leletek alapján már az őskor óta lakott. A Soproni-hegység egyik csúcsán, a Várhelyen a mai napig megtalálható a vaskori földvár és sánc, valamint a halomsírok maradványa is. A római korban a Scarbantia nevet viselte a város, áthaladt rajta a Borostyánkő út is. Ennek egy szakaszát a mai napig meg lehet tekinteni a mostani felszínhez képest több mint 4 méterrel mélyebben. [28.]

A 4. században 3-4 méter magas városfalat emeltek a külső támadások elhárítása érdekében, azonban ez a fal a népvándorlás során elpusztult. [1.]

A város a népvándorlás idején lakatlanná vált, és csak a honfoglalást (időszámításunk után 895-900 tájáán) követően népesült be ismét. A régi városfal kiegészítésre került, és a várat is megépítették.



2. ábra: Sopron történelmi belvárosa a Tűztoronnyal, a római várfallal, és a római kori főtérrel (2.)

1277-ben Sopron szabad királyi városi címet kapott IV. László királytól, amely számos kiváltságot biztosított. Ezen státuszban lévő városok fallal vehették körbe a települést, valamint árumegállító joggal is rendelkeztek. A városon áthaladó árusokat megállásra kényszeríthették, ezáltal számos terméket meg tudtak vásárolni a város javára.

Szakedolgozatom során elsősorban az újkor (1492-) történelmét kívánom áttekinteni, hiszen Sopron mai képe ekkortájt alakult ki.

Az 1500-as években először a török csapatok, majd az 1600-as évek elején Bocskai István hadai okoztak jelentős pusztítást Sopronban, ezért ezt követően a védelmi rendszer további megerősítése kapott kiemelt jelentőséget.

1676-ban két gyerek gesztenyesütése miatt hatalmas tűz keletkezett, amelynek köszönhetően a fa tetőszerkezetek meggyulladtak. A város jelentős része a tűz áldozatául esett, ezzel erőteljesen átalakítva Sopron képét. Szinte az egész történelmi belváros, köztük a Tűztorony is, valamint még a külváros egyes részei is leégtek. [8.]

Sajnálatos módon számos, több évszázados ház is a tűz martalékává vált, a középkori épületek helyére barokk épületek kerültek. Egy-egy ház (például a Fabricius-ház) kivételével a legtöbb háznak mindössze a falai és az alapja maradt meg, azonban ezeket felhasználták az újjáépítéshez. Ezek bár emlékül szolgálnak a tűzvész előtti állapotoknak, pusztán praktikussági célból kerültek megtartásra.

Így a mai történelmi belváros a 17. század után nyerte el mai formáját (**2. ábra**) (a II. világháború pusztításait, és a XIX. századi beépítéseket nem számítva). A város újjáépítése jórészt önerőből, a polgárok adományainak köszönhetően valósulhatott meg.

Bár Sopron napjainkban nem iparvárosként ismert, mégis magyarországi viszonylatban viszonylag hamar indult fejlődésnek. Brennbergbányán nyílt meg 1793-ban az első magyar szénbánya, amely bezárásakor is még az ország egyik legnagyobb szénbányája volt.

Magyarországon az 1970-es években egy nagy műemlék felújítási, illetve műemlékvédelmi program keretében az épített környezet jelentős hányada megújulhatott. Három terület kapott kiemelt figyelmet, ezekre fordították a legtöbb pénzt, időt és energiát. Megújult a Balaton-felvidék, Hollókő település a felújítások elismeréseként az UNESCO Világörökség része lett, valamint Sopron műemlékei is jelentős átalakításokon estek át. [29.]

4. 3D modellezés

4.1 A 3D modellezés fogalma, célja

A háromdimenziós modellezés célja egy adott objektumról (például épület) fotó, tervrajz, skicc alapján valóság-hű, realisztikus virtuális modell előállítás. (**3. ábra**) A kétdimenziós kiinduló adatot virtuális térben háromdimenziós objektumként jelenítjük meg. A háromdimenziós modellezés története már az ősi Egyiptom koráig visszavezethető, mivel a piramisok építéséhez és a Nílus által elöntött területek helyreállításához térbeli modellezést végeztek. [7.]

Manapság a folyamat számítógép és szoftverek segítségével történik, valamint háromdimenziós nyomtatók segítségével akár fizikai formában is elkészíthető a modell. A modell automatikusan, illetve manuálisan is előállítható. Annak érdekében, hogy a végtermék megfelelő minőségű legyen, fontos az aprólékos és részletes adatgyűjtés. Nagyon fontos a megvilágítás, a láthatóság, ugyanis a módszer alapját a fényképezés adja. Rossz kiinduló adatokból nem lehet jó minőségű végterméket készíteni. [13.]



3. ábra: Kapumodell (3.) (saját kép)

A térbeli megjelenítés célja, hogy minél valóságosabb legyen az ábrázolás, a felhasználó számára ezáltal realisztikus szemlélet, valamint méretek levételét lehetővé téve. A valóságban még nem létező tárgyakat is tudunk modellezni, előre fel tudunk készülni a tervezés során esetlegesen fellépő hibákra. A modellezés célja ezen felül korrekciók szolgáltatása, egy projekt során fellépő kisebb-nagyobb változások szemléltetése, ezek nyomon követése, valamint ezek hatásának modellezése a beruházás költségeire.

4.2 Megvalósítás

A térbeli modellezéshez szükségünk van valamilyen digitális állományra, lehet ez például AutoCAD állomány (DWG/DXF), vagy lehetnek képfájlok (JPG/PNG). Emellett hasznos, ha papír alapú terveink is vannak egy adott területről, amit beszkenelve fel tudunk használni a munkafolyamathoz, ezáltal digitális állományt készítve belőle. A folyamat sikerességének fontos feltétele ezen felül még az alkalmazási terület és a cél meghatározása, amely során a részfolyamatokat is meg kell tervezni. [6.]

A mi esetünkben a felvételezés során készített JPG képek fognak digitális állományként szolgálni. **(4. ábra)** Szemléletes modell megalkotására törekszünk, amely során a technikát egy érintett kapuról készített fényképek felhasználásával készítjük el és mutatjuk be.

	IMG_20210409_111155	Típus: IfanView JPG File Méret: 2136 x 4624	Méret: 5.85 MB
	IMG_20210409_111201	Típus: IfanView JPG File Méret: 2136 x 4624	Méret: 5.97 MB
	IMG_20210409_111214	Típus: IfanView JPG File Méret: 2136 x 4624	Méret: 4.86 MB
	IMG_20210409_111224	Típus: IfanView JPG File Méret: 2136 x 4624	Méret: 4.82 MB
	IMG_20210409_111229	Típus: IfanView JPG File Méret: 2136 x 4624	Méret: 4.62 MB

4. ábra: a készített fényképek egy részének adatai (felbontás, kiterjesztés, méret)

A folyamat megvalósítása számos részfolyamatból tevődik össze, azonban ezt alapvetően 3 nagy munkafolyamatra bonthatjuk fel.

A háromdimenziós modellezés előfeltétele a terepi mérések végrehajtása. Először kiválasztjuk a kapukat, majd felvételeket, fényképeket készítünk róluk. Célszerű nagyjából azonos felvételezési távolságot alkalmazni a képek esetében, ezt a távolságot nagyban befolyásolják a fényviszonyok, az érintett kapu közelében található zavaró tényezők (autók, járókelők). Amennyiben végrehajtottuk a fényképezést, úgy el is tudjuk kezdeni a feldolgozást.

A modellezés során első lépésben a képek összekapcsolása történik, amely a légiháromszögelést is magába foglalja. A program megkeresi a képek jellemző pontjait az összetartozó vetítősugarak metszéspontjaiból, minden kép esetében a kamera pozíciót meghatározza, valamint meghatározásra kerülnek a kamera **külső** (vetítési középpont koordinátái $\{X_0, Y_0, Z_0\}$, forgatási szögek $\{\varphi, \omega, \kappa\}$) és **belső** (képfőpont koordinátái $\{z_0, \eta_0\}$, kameraállandó $\{C_k\}$) **tájékozási elemei, paraméterei**.

Következő lépésben felszínhálót készítünk, ahol a valósághű megjelenítés érdekében a modell textúráját is tudjuk állítani. A program pontfelhőt generál az összetartozó vetítősugarak metszéspontjaiból, a kamera pozíciók felhasználásával.

Így jön létre a ritka pontfelhő, ami tovább sűríthető, ily módon sűrű pontfelhő készíthető belőle. A térbeli pontokra felszínmodell generálható, amely magassági adatokat szolgáltat ahhoz, ha az objektum ortogonális vetületét, ortofotóját (torzulásmentes fénykép) szeretnénk előállítani. Ez hasznos lehet például egy homlokzatrajz elkészítésénél.

Mind a háromdimenziós modellt, mind az ortofotót georeferálhatjuk, (adatok vonatkoztatási rendszerbe való illesztése) amihez szükségünk van a feldolgozás rendszerében ismert koordinátájú pontokra. A georeferált terméket felhasználhatjuk további elemzésekhez alapréteggént azonos rendszerben lévő egyéb digitális állományokkal

4.3 Alkalmazási területek

A modellezéshez már az adatgyűjtés előtt fontos tisztázni, hogy mi a célunk a folyamattal, hol kívánjuk felhasználni, hasznosítani a begyűjtött adatmennyiséget. Az épített környezet adatait számos területen felhasználhatjuk.

A háromdimenziós modelleket hasznosítja az építészet, valamint a műszaki tudományok, de illusztrációs céllal is elkészíthető. Gyártási technológiáknál előzetes modelleket hoznak létre, a háromdimenziós modellezés a nyomtatáshoz képest olcsóbb, így általánosságban elterjedtebb módszer az automatizáció megtervezésére. [10.] [11.]

Tudományos célokra, például időjárás előrejelzésre, károk megelőzésére is használható a folyamat. Teljesen átalakítható az időjárás elemzése, meghatározható a környezeti katasztrófák természete, előfordulási helye, valamint modellezhető a romboló, környezetre gyakorolt hatása is. Az orvostudomány is nagy hasznát veszi a térbeli modellezésnek, a műanyag csontvázakat és a fizikai modelleket a számítógéppel generált képek és modellek fokozatosan váltják fel. [16.]

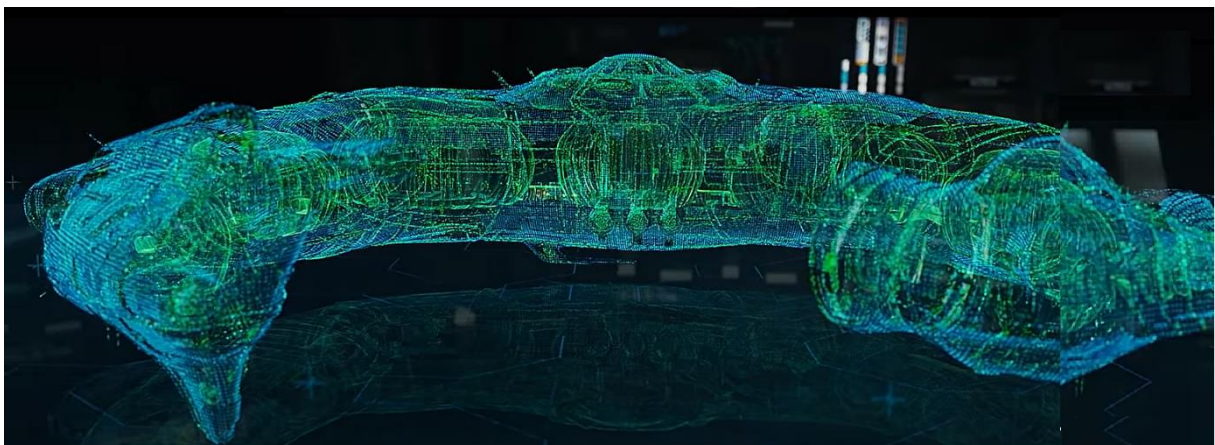
Ezzel a megközelítéssel az emberi test folyamatainak megértése egyszerűbbé válik, valamint a tanítás is szemléletesebb, kézzel foghatóbb.

A háromdimenziós modellezés a filmművészetet is megihlette, napjainkban számos filmben köszön vissza eszközként. A Prometheus című filmben drónokat engednek el egy távoli univerzum ismeretlen bolygóján, ezekkel feltérképezve az ismeretlen környezetet. **(5. ábra)** A film ezzel előrevetíti a jövő felmérési technológiáját, a térbeli modellezést.

A felmért pontokból szépen-lassan összeáll egy pontfelhő, végül pedig létrejön a térbeli modell, jelen esetben egy űrhajó. (6. ábra) [5.]



5. ábra: Feltérképezéshez használt drón (5.)



6. ábra: Létrejött térbeli modell (űrhajó) (6.)

A térbeli szemléltetés a geodéziai feladatok között is előfordul, például épületek, vagy csővezetékek felmérése esetében egy térbeli modell szemléletesebb képet ad.

Dolgozatomban a régészet, illetve a műemlékvédelem területén történő hasznosítási lehetőségeket szeretném ismertetni. Műemlékek esetében is fontos a részletes és pontos felmérés, modellezés, hiszen mind a dokumentáció, a tervezés és a kivitelezés során is jelentősége van az apró részletek ábrázolásának, az egyszerűsítés, stilizálás nem megengedett.

4.4 Előnyök, a folyamat jelentősége

A térbeli modellezés egyre nagyobb népszerűségnek örvend, és egyre nagyobb igény van rá, amely abból fakad, hogy számos előnnyel kecsegtet a kétdimenziós megjelenítéshez képest. Valóság-hű és komplex rálátást biztosít tárgyakra, munkafolyamatokra, mindezt rövid idő alatt. Könnyebbé válik az újratervezés, javítás, és az előretervezés. Az előzetes modellezés lehetővé teszi, hogy minél kevesebbszer kelljen menet közben a projekten változtatni, ezáltal csökkentve a projekt teljes időtartamát, és előre fel lehet készülni a menet közben fellépő nehézségekre. [12.]

A rövidebb időtartam mellett további előnyként a nagyobb pontosság, és az automatizáció is megemlíthető. Az emberi munkaerő számos területen kiváltható gépekkel, csökkentve a hibák számát, ezzel is hozzájárulva az olcsóbb és eredményesebb munkavégzéshez. A háromdimenziós modellezés lehetővé teszi a térbeli szemléltést is, a 360 fokos forgatási lehetőségnek köszönhetően minden részlet megtekinthető, elkerülhetőek a kellemetlen meglepetések, amelyek a részletek feletti elsiklásból adódhatnak. A tetszőleges szemléltési irány és megjelenítési lehetőségek is szemléletesebb, átláthatóbb összképet biztosítanak. [14.] [17.]

4.5 Hátrányok

A térbeli modellezés során számos korláttal kell szembenéznünk. A kétdimenziós megjelenítéshez képest (ez alatt az érintett tárgyról készített rajzot értjük) ez a módszer még kevésbé ismert, és jelentős háttértudást igényel, ezáltal kevésbé elterjedt. Bár napjainkban már egyre gyakrabban, lépten-nyomon láthatunk háromdimenziós modelleket, még mindig közel sem olyan elterjedtek, mint a klasszikus kétdimenziós ábrázolás.

Egy modell elkészítése összetett folyamat, a technika jelentősége nagyon részletes és aprólékos ábrázolás esetén érzékelhető igazán.

A modellezéshez szükséges szoftverek általában költségesek, valamint a feldolgozás hardver igénye is jelentős, így nagyobb teljesítményű, drágább számítógépnek kell a rendelkezésünkre állnia. Az adott munkát megrendelő egyén nem minden esetben tart igényt térbeli modellre, illetve nem minden esetben képes megfizetni azt, így nagyon fontos figyelembe venni, hogy lesz-e érdeklődés a térbeli modellezésre, egyáltalán szükség van-e rá az adott munka során.

4.6 Szoftverek

Számos szoftver áll napjainkban rendelkezésünkre, amennyiben háromdimenziós modellezést szeretnénk végezni. A legmegfelelőbb szoftver annak függvénye, melyik területen kívánjuk hasznosítani. Játékok és filmek esetében a MAYA nevű szoftver, ipari felhasználásra az INVENTOR és a FUSION 360 programok a legmegfelelőbbek. Amennyiben építészethez és tervezéshez akarunk térben modellezni, akkor az AUTOCAD és a REVIT programok a legideálisabbak, ugyanis ezek speciális eszközkészlettel rendelkeznek a mérnöki munkákhoz.

A fotogrammetriai felvételek feldolgozásánál a PhotoModeler, valamint az Agisoft Metashape és ennek egy változata, az Agisoft Photoscan a legelterjedtebbek. (7. ábra)



7. ábra: Fotogrammetriai felvételek feldolgozásához használt szoftver (7.)

Szakdolgozatom során az Agisoft Photoscan szoftvert használtam. Földi felvételek alapján digitális térbeli modelleket készítettem, és ezen modellek műemlékvédelemben történő hasznosítási lehetőségeit vizsgáltam. Hő- és multispektrális kamerák képeit is fel tudjuk dolgozni, az utófeldolgozás során az árnyékokat ki tudjuk zárni. A multispektrális szenzorok nem csupán a látható hullámhossztartományban (400-700 nm) készítenek felvételeket, hanem más színsávokban, eltérő tartományokban is rögzítenek értékeket.

Mivel számos folyamat automatizált, így a fotogrammetria területén kevésbé jártas emberek számára is használható a program.

4.7 Szükséges eszközök, előállítható végtermékek

A jó minőségű végtermék előállítása érdekében számos feltételnek eleget kell tennünk, megfelelő eszközöknek kell a rendelkezésünkre állni. A mi esetünkben elengedhetetlen a kapuk felvételezéséhez egy fényképezőgép, vagy egy megfelelő kamerarendszerrel rendelkező mobiltelefon. Utóbbi esetében fontos követelménynek gondoltuk, hogy az autofókusz kikapcsolható legyen, hogy eleget tudjunk tenni a legfontosabb fotogrammetriai feltételnek, miszerint rögzített fókusz távolsággal (kameraállandó) dolgozunk. Később, a feldolgozás során bebizonyosodott, hogy akár autofókusszal is képesek vagyunk részletes modell előállítására.

A feldolgozás esetében szükség van erős számítógépre, háromgombos egérre, illetve a modelltér forgatása érdekében numerikus billentyűzetre. A megfelelő és szemléletes eredmény létrehozása érdekében egy térbeli modellalkotásra alkalmas szoftverrel kell dolgoznunk.

5. Műemlékvédelem

5.1 Épület dokumentálásának módszerei

A dokumentálás fontossága napjainkban egyre jobban felértékelődött, nem csak emléket állít a múltnak, hanem más tudományterületek számára is hasznos alapként szolgálhat. Első lépésben az épület jelenkori állapotát rögzítjük, ezt az aktuális geometriát a felmérési terv dokumentálja. Bemutathatóvá válnak a terven a korábbi évszázadok során épült épületrészek, pontos geometriai felmérés esetén az építéstörténetről is kaphatunk értékes információkat. Az elkészített terven a műemléki értékleltár is ábrázolható, ezzel szintén újabb információkkal ellátva a dokumentum felhasználóit.

A felmérési terv alapját képezi a tervezett beavatkozásokat ábrázoló tervdokumentációnak is, így a pontos dokumentáció jelentősége még jobban felértékelődik. [22.]

Az épületek dokumentálására számos módszer áll rendelkezésünkre. **(8. ábra)** A korábbi analóg dokumentációs technológiákat a technika előrehaladtával felváltották a digitális módszerek, amelyek pontossága messze felülmúlja a korábbi lehetőségek által biztosított pontosságot. A hagyományos felmérés esetében a helyszínen készítünk egy vázlatot, manuálét, amelyet szöveges információkkal is elláthatunk. A terepi rajzok felhasználásával az irodában számítógépes tervező programokkal műszaki rajz és digitális modell készíthető. Ez a klasszikus módszer pár centiméteres pontosságot tud biztosítani, azonban céljainknak ez teljesen megfelel.



8. ábra: Épület alaprajza (8.)

Amennyiben egy épületet képeken, digitálisan szeretnénk ábrázolni, akár drónokat is felhasználhatunk ehhez, így a kevésbé látható, fizikailag nehezen megközelíthető területekről is képesek vagyunk adatot gyűjteni. A modern kor egy másik térhódító vívmánya a lézerszkennelés, amely segítségével kizárhatjuk az emberi hibákat, és szemléletes képet kaphatunk az épületekről, illetve egyéb objektumokról. A kibocsátott lézersugár az érintett tárgyról visszaverődve érkezik vissza a műszerbe. Geodéziai módszerekkel is felmérhető egy épület, ilyenkor mérőállomással irányokat és távolságokat mérve határozzuk meg az objektum

jellemző pontjainak térbeli koordinátáit. A módszer pontos, de időigényes, valamint nem jutunk olyan részletes adatokhoz, mint az előzőekben említett módszerek alkalmazásával. Szakdolgozatomban a fotogrammetriai módszerekre kívánok kitérni, azon belül is a háromdimenziós modellezésre. A fotogrammetrián belül az amatőr kamerák alkalmazását választva is elvégezhető a felmérés, amelynek eredményét egy arra alkalmas szoftverrel feldolgozzuk. A módszer legnagyobb előnye, hogy rövid idő alatt nagy területről lehet fényképeket készíteni, ezáltal a helyszíni felmérés gyorsan végbemegy.

Fontos megemlíteni, hogy a felmérés integrált felhasználást is lehetővé tesz, nem csak egy tudományterület lesz képes hasznosítani a dokumentációt. A más stílusú ablakok, épület egy hányadán a többi részétől eltérő építészeti megoldások mind-mind lehetőséget adnak arra, hogy az épületen elvégzett változtatásokat, átalakításokat feltárjuk, ezzel fontos információkat szerezve a vizsgált épület múltjáról. Ebből adódik, hogy a pontos épületfelmérés a helyszíni építéstörténeti kutatás egyik fontos módszereként is szolgál egyúttal.

A felmérés eredményeképp megállapítható mely területeket indokolt átépíteni, mely területeket érdemes felújítani. Az érdekek és az engedélyezés függvényében alakulnak ki a felújítás fő irányvonalai.

5.2 Épület dokumentálásának jelentősége

Korábban a felmérést a magyar kultúra szolgálataként értelmezték, míg később előtérbe került a dokumentálás, megörökítés jelentősége is. Sokan alulértékelik a felmérés jelentőségét, és később, a feldolgozásnál derülnek ki az elnagyolt munkából adódó hiányosságok. Pontos és részletes felmérés hiányában a feldolgozás munkafolyamata sokkal bonyolultabbá válik, és a helyszínelés során megspórolt idő többszörösét kell az utómunkákra fordítani. Az elnagyolt felmérésből adódóan az épület múltjára vonatkozóan jóval kevesebb következtetést tudunk levonni.

Megfelelő mennyiségű és minőségű adat hiányában sokkal nehezebb a felújítás során helyes döntéseket hozni, a meghozatal időigénye is jelentősen megnövekszik, valamint a valóságot torzító/azt nem megfelelően ábrázoló felmérés eredményeképp az épület helyreállítása helyett annak ellenkezőjét, károsodást és pusztulást idézünk elő.

5.3 Műemlékvédelem elvei és módszerei

A műemlékvédelem célja egy közösség múltját és kultúráját bemutató emlékek védelmének biztosítása. A 19. századtól kezdve, a technikai vívmányok és a népességrobbanás következtében egyre nagyobb kihívást jelentett a műemlékek védelme.

A műemlék helyreállítása során alapvetően két eszközt, módszert használhatunk fel a folyamat végrehajtásához: a bontást, illetve a hozzátételt. [27.] (9. ábra)

Az érintett épületeken elvégzett mindennemű változtatás a műemlék értékét jelentős mértékben befolyásolhatja. Az idő múlásával, az évszázadok előrehaladtával a szerkezeti anyagok pusztulása következik be, amely folyamatot egyes esetekben lelassítani kívánunk, azonban amennyiben már nagyon rossz állapotban van az adott elem, úgy cserére van szükség. A bontást nem csak az elhasználódás, hanem adott esetben a felesleges épületelemek megszüntetése is indokolhatja. Az értékek eltorzítását eredményező részeket ezért el kell távolítani, azonban az esztétikailag csúnya, de történelmi értékkel bíró részek az esetek többségében megtartásra kerülnek.



9. ábra: Felújítás Sopron belvárosában (9.)

A második módszer, a hozzátétel egy rendkívül kényes munkafolyamat, amely a tudományos és esztétikai folyamatokat is számításba veszi a változtatások során. Ideális esetben a helyreállítandó épületrész eredeti elemeit felhasználva megy végbe a restaurálás. Általában a fokozatos elhasználódás következtében az eredeti anyagok egyes részei hiányoznak, így azok új anyagokkal kiegészítve kerülnek visszahelyezésre. Nem csak az elpusztult anyagok pótlásának céljából, hanem az épület védelmének biztosítására, valamint sok esetben a megváltozott funkcionális igények kielégítése érdekében is helyezhetünk el új elemeket.

A műemlékek fennmaradását számos tevékenység veszélyeztetheti, beleértve a turizmusból adódó környezeti terhelést, a rongálás veszélyét, valamint a környezeti terhelést (savas eső, hőmérséklet ingadozása).

Amennyiben a fent említett elveket és módszereket megfelelően alkalmazzuk, a műemlékeink védelme, ésszerű használata, valamint a hétköznapi élet körforgásába való bekapcsolása sikeresen megvalósítható.

5.4 Műemlékvédelem folyamata, felépítése

A műemlékek helyreállításának folyamata lépcsőzetesen, több lépésben történik. Első lépésben kutatásokat kell végezni, amelyek célja az épület múltjának megismerése, annak feltárása. Ez egyrészt a precíz felmérés eredményeképpen is megállapítható, azonban a könyvtárban, levéltárban történő adatgyűjtés is hozzájárulhat a részletek pontos feltárásához. A felmérés során megállapított apró részletek (befalazások, falvastagság) mind-mind értékes részletként szolgálhatnak az épület múltjára vonatkozóan. Előfordulhat olyan eset, hogy nem állnak rendelkezésre dokumentumok, tervek, ez esetben kizárólag a helyszíni felmérés eredményeire tudunk hagyatkozni. Ilyenkor a pontos munka jelentősége még nagyobb, azonban odafigyeléssel és megfelelő szakértelemmel a hibák száma szinte nullára csökkenthető.

Következő folyamatként vizsgálatokat végzünk a minél pontosabb műszaki terv elkészítésének érdekében. Meghatározzuk a szerkezetek statikai állapotát, felvázoljuk a szükséges épületvédelmi óvintézkedéseket. Akár műszeres, akár laboratóriumi vizsgálatokat végzünk, mindkettő fő célja a károsodás mértékének és nedvességtartalom meghatározása lesz.

Ennek meghatározása után megfogalmazzuk a célkitűzéseinket, az igények és erőforrások tekintetében megpróbáljuk meghatározni az épület hasznosítására vonatkozó tervezési programot.

Tervdokumentációt készítünk, amelyben a problémák megoldására teszünk javaslatokat, valamint a költségvetést is elkészítjük.

A terv ellenőrzéséhez kapcsolódó visszacsatolás az engedélyezés folyamata, ahol az épület értékeinek megóvása és a szakmai érdekek egymás melletti megférését vizsgáljuk. Műemlékek esetében a beavatkozás az örökségvédelmi hatóság engedélyével, vagy örökségvédelmi bejelentéssel valósítható meg. Figyelembe kell venni a változások környezetre gyakorolt hatását, valamint a jogszabályokat, az általános jogi környezetet. [25.]

Amennyiben minden korábban említett feltétel adott, a kivitelezés folyamata következik. Különös részletességgel kell kitérni a megóvandó területek megvédésének módjára, ismertetve az erre szolgáló lehetőségeket. Amennyiben nem várt változás lép fel, akkor a munkafolyamat során apró korrigálásokat, módosításokat végzünk.

A restaurálás megvalósítása a helyszíni felmérés során készített rajzok alapján tervezhető meg, nagy méretarányban ($M=1:10$), ritka esetekben akár alakhű 1:1-es méretarányban.

A helyreállítás folyamata a felújítással nem fejeződik be, ugyanis a karbantartás és üzemeltetés folyamata állandó feladat marad. Célszerű az esetleges javításokat és beavatkozásokat dokumentálni, azokat írásba foglalni.

5.5 Műemlékvédelem Sopronban

A magyarországi műemlékvédelem egyik legrégebbi emléke is Sopron városához kötődik. Már II. Lajos király 1526-os oklevele is tilalmat rendel el a középkorban a főtér egyik házának (ma: Patika-ház) lebontását illetően, ugyanis a bontás a város képét, esztétikáját és szépségét rontaná. [2.]

Ez a szemlélet végigkíséri Sopron egész történelmét, ugyanis a város lakói maguknak érzik a várost, és szívükön viselik a történelmi és művészeti emlékek sorsát.

Sopron műemlékvédelmi múltja egészen a 19. század végéig nyúlik vissza, ugyanis ekkortájt élt Storno Ferenc **(10. ábra)**. Egy anekdota szerint egy rossz útbaigazítás következtében került a városba, azonban úgy döntött, hogy ez esetben Pozsony helyett itt telepedik le.



10. ábra: Storno Ferenc (10.)

1881-ben, Ferencz József uralkodása idején születik meg az első törvény a műemlékvédelemről, amely írásba foglalja, hogy műemlék minden olyan építmény, amely történeti vagy művészeti értékkel bír.

Storno Ferenc azonban korának látásmódját meghaladva felismerte, hogy nem csak a művészi értékkel rendelkező tárgyak, hanem minden olyan dokumentum is hasznos lehet, amely a történelmi múlt emlékeire való következtetést lehetővé teszi. A jelen kor definíciója szerint ő volt Magyarország egyik első műemlékvédelmi szakembere, aki kéményseprőből vált művésszé.

Nevéhez fűződik a Szent Mihály-templom restaurálása, (1860-as évek), neve mai napig élő emlék maradt Sopron városában. A belváros egyik emblemikus házává vált egykori lakóháza (Storno-ház), ahol a Soproni Múzeum központja működik. Az 1870-es évek elején vásárolta meg a házat idősebb Storno Ferenc, napjainkra a Fő tér egyik nevezetességévé vált ez a barokk sarokház. A helytörténeti kiállítás mellett itt található egy másik jellegzetes kiállítás, a Storno-kiállítás. **(11. ábra)**



11. ábra: Kiállítás a Storno – házban (11.)

Sopronban a 20. században sikerült egy olyan szerv létrehozatala, amely szakmai útmutatást tud adni a város műemlékeinek megóvásában. Sopron volt az ország első városa, amely külön műemléki szabályrendeletet is hozott, ezzel is mutatva mennyire szíven viselték a polgárok a település sorsát.

A műemlékvédelem az 1970-es években arra törekedett, hogy az épületek eredeti állapotát lehetőleg minél jobban megőrizze, a felújítások esetében is ez egy fontos szempont volt. Ennek köszönhetően a belváros (Kolostor utca, Új utca, Szent György utca, Templom utca) egyes utcáiban szinte kivétel nélkül az összes ház műemlék, amelyek közül a felújítottak is az eredeti állapotot tükrözik. 1969-ben Hild-érmet kapott a város a történelmi városmag rekonstrukciójáért, 1975-ben pedig a **Műemlékvédelmi Európa Díj** aranyérmét. 2016-ban a Várfalsétány és a Várkerület is ICOMOS-díjat kapott. Sopron Magyarország műemlékekben leggazdagabb vidéki városa, mindössze Budapesten található több műemlék. [9.]

5.6 Fotogrammetria az építészetben, műemlékvédelemben

A fotogrammetria szó egy mozaikszó, a fotogram (fénykép) és a metria (mérés) szavak összetétele. Ebből adódik, hogy a szó fényképmérést takar, tehát fényképeket készítünk jelenségek és tárgyak szemléltetésére, ezeket az adatokat pedig utólag feldolgozzuk. A fotogrammetria szakterületeit relatív magasság alapján szoktuk általában csoportosítani. 0 és 100 méter között földi, 100 méter és 3 km között légi, 160 és 10000 km között pedig űrfotogrammetriáról beszélhetünk. A szakdolgozatom során vizsgálni kívánt objektumok ezen csoportosítás alapján az első csoportba, a földi fotogrammetria szakterületébe esnek.

Sopronban nagyon sok a díszes kapu, amelyek kivétel nélkül mind egyediek, így egy esetleges felújításhoz támpontként tudnak szolgálni. Míg az ablakok általában hasonlóak, és az átépítés után helyük is változhat, ezzel szemben a kapu helye állandó, és sokkal jellegzetesebb. A felújítás során hasznos támpontként szolgálhat egy részletes térmodell a kapukról is, így nem csak a homlokzatrajz a kiindulási alap.

A fotogrammetria alkalmazása számos előnnyel jár a műemlékvédelem területén. A modellezés segítségével nehezen hozzáférhető területeket is modellezhetünk. Például a falvastagság meghatározását nem minden esetben tudják a régészek és műemlék helyreállítással foglalkozó szakemberek meghatározni, ennek hiányában azonban nehéz megállapítani, hogy az épület mely részei gyengék és omlásveszélyesek. A geodéziai módszerekhez képest, fotogrammetriai módszerek alkalmazásával sokkal gyorsabban tudunk nagyobb területet felmérni, ezáltal időt és pénzt tudunk megtakarítani.

A térbeli modell lehetővé teszi az eredeti állapot rekonstrukcióját, az épületen végrehajtott változtatások, átépítések feltárását. Hasonlóan az épület fenntartásának, a jövőbeli üzemeltetés meghatározásának kérdésében is megállapítható, hogy a műemlékvédelmi erőfeszítések megfelelőek-e, avagy drasztikusabb lépésekre van szükség. A térbeli modellezés segítségével meghatározható, hogy az épület mely részei vannak jobban kitéve a környezet viszonyosságainak, így megelőzhető az épület idő előtti összeomlása, valamint az esővíz által okozott repedések kiküszöbölése.

5.7 A háromdimenziós modellezés jelentősége a műemlékvédelemben

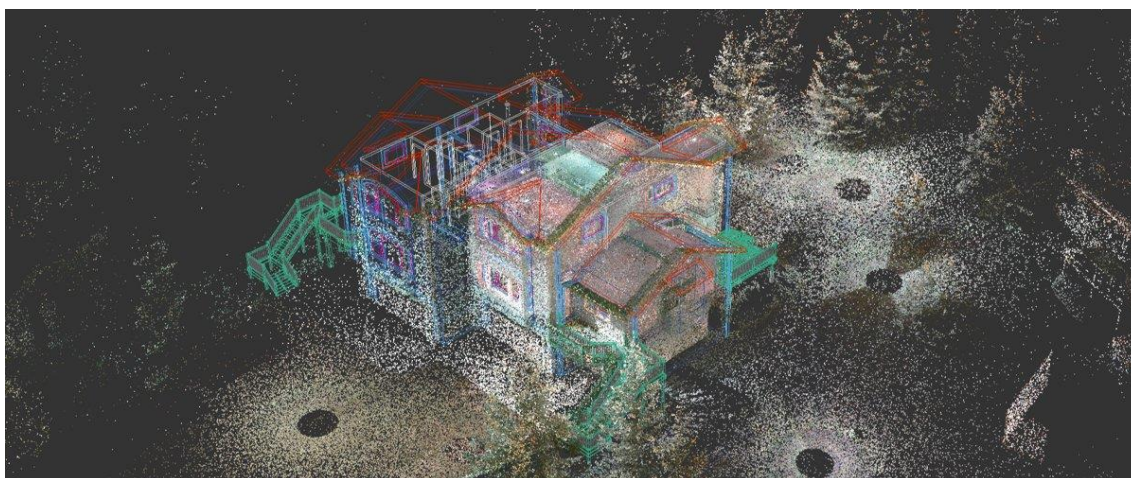
A műemlékvédelem területén a háromdimenziós modellezés jelentőségének nagymértékű növekedése figyelhető meg az utóbbi években.

A korábbi módszerek megújítása a modern kor előrehaladtával elkerülhetetlenné vált, a megnövekedett igények, megrendelések modern megoldásokat kívántak.

A háromdimenziós modellezés az analóg, rajzi dokumentációs módszerekhez képest sokkal nagyobb pontosságot biztosít, mindezt sokkal rövidebb felmérési idő mellett. Amennyiben az apró részletekről külön fényképeket is készítünk, úgy a létrehozható modell pontossága megnövelhető.

A felmérés során készített fényképeket számítógép segítségével tudjuk feldolgozni, és ebből térbeli, háromdimenziós modellt vagyunk képesek előállítani. Ennek a folyamatnak köszönhetően a létrejött állomány szemléletesebb képet ad a valóságról, mint a korábban alkalmazott, tradicionális (analóg) módszerek. A készített fényképek és modellek alapján olyan emberek (legyen az szakember, vagy laikus) számára is átláthatóak a műemlék részletei, akik nem jártak a felvételkészítés helyszínén. [21.]

A létrejövő pontfelhőből készíthető el a térbeli modell, amely a klasszikus megjelenítési lehetőségekhez képest sokkal szemléletesebb, részletesebb képet ad, ezzel is megkönnyítve a felújítás, illetve az esetleges rendeltetés változás megoldásait, részletfolyamatait. (12. ábra)



12. ábra: Pontfelhő (12.)

A létrehozott térbeli modell felhasználhatósága széles skálán mozog, számos szakág és tudományterület számára szolgálhat hasznos támpontként. Meghatározhatjuk a legideálisabb üzemeltetési lehetőségeket, a renoválás lépéseit, illetve egy adott munka megvalósulásának a sikerességét is szemléltethetjük. Egy adott szoftver megvétele, illetve a készített fényképek feldolgozásához elengedhetetlen eszközök (számítógép, billentyűzet, egér) megvétele tovább növeli a projekt összköltségét, ezért fontos áttekinteni, hogy az igények megkövetelik-e a térbeli modell létrehozását.

Az aktuális állapot meghatározásának céljából felmérjük az érintett épületet, és a projekt megvalósulását folyamatosan nyomon követjük, annak ellenőrzésére, hogy a kiviteli terv és a megvalósult állapot között milyen eltérések léptek fel.

6. A felhasznált eszközök ismertetése

6.1 Xiaomi Redmi Note 8 Pro

A Xiaomi Redmi Note 8 Pro egy okostelefon, amely az okostelefonok között az egyik legjobb felbontású kamerarendszerrel rendelkezik ár-érték arányt tekintve. **(13. ábra)** Kiváló minőségű képeket lehet vele készíteni, gyenge fényviszonyok mellett is. 4 kamerával rendelkezik, ezek egyike 64 megapixeles, kettő 2-2, egy pedig 8 megapixeles. Kiváló kamerarendszerének köszönhetően megfelel a projektmunka által igényelt fotogrammetriai követelményeknek is, amennyiben a professzionális beállítást választjuk. Itt mi magunk tudunk manuálisan fókusz távolságot állítani. **[4.]**



13. ábra: Xiaomi Redmi Note 8 Pro okostelefon [13.]

Részletgazdag, dinamikus képeket készíthetünk, az apró részleteket kevés fény mellett is ki lehet emelni, azonban ezt a tulajdonságot nem teszteltem, ugyanis fényes nappal készítettem a fényképeket. A telefonnal készített képek nagysága 4624×2136 pixel lett a kapuk fotózása során. Minél nagyobb a pixelek száma, annál részletesebb lesz az elkészített fénykép. Ennek értéke megadható megapixelben, vagy a szélesség és magasság szorzataként, ahogyan a mi esetünkben is így került fentebb megadásra.

6.2 Fényképezőgép

A kapu modelljét elkészítettem fényképezőgéppel, állvány alkalmazásával készített felvételek alapján is. Ez lehetőséget adott a modellek összehasonlítására.

A felhasznált eszköz neve Canon EOS 1200D, egy tükörreflexes fényképezőgép, amellyel készített fényképek a mobiltelefonos képekhez képest pontosabbak, részletesebbek, valamint több lehetőség adódik a körülményekhez való megfelelő beállításra. **(14. ábra)** Az elnevezés onnan ered, hogy ez a fajta fényképező típus egy lencse mögött elhelyezkedő tükröt használ, annak érdekében, hogy a fényt a keresőbe irányítsa. [20.]



14. ábra: Canon EOS 1200D [14.]

A fényképezőgép 18.7 megapixeles, a záridő hossza 1/4000 s és 30 másodperc közötti értékre állítható. Rossz fényviszonyok között is garantálható a kiváló minőségű felvétel készítése, ugyanis az ISO érték 100 és 12800 közé állítható, a felhasznált telefon 100 és 3200 intervallumba eső beállításaihoz képest. RAW és JPG kiterjesztésű állomány is készíthető. utóbbi előnye a jobb szerkesztés lehetősége, minőségromlás nélkül.

A maximális képfelbontás értéke 5184×3456 pixel, szemben az említett mobiltelefon által készített 4624×2136 pixellel. [19.] [18.]

Az állvány segítségével azonos magasságra tudtuk állítani a kamerát, valamint a jó fényerejű, és kiválóan látható képernyőnek köszönhetően lényegesen egyszerűbb a képkészítés a mobiltelefonok által biztosított lehetőségekhez képest. Az állványon található szelencés és csöves libella beállításával az állótengelye először megközelítőleg, majd pontosan is függőlegessé tehető.

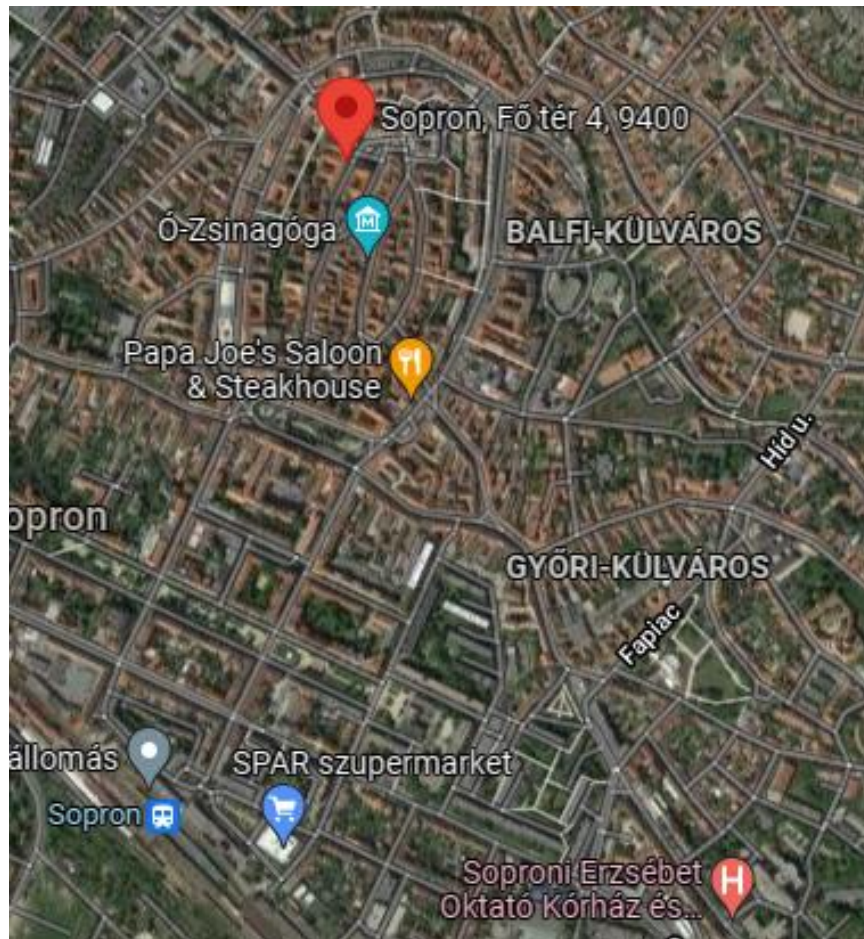
Bár a fényképezőgép autofókuszra is képes, minden képnél azonos kameraállandót (fókusz távolság) választottam, viszonylag rövid expozíciós idővel. Ennek oka a rögzített fókusz távolság felhasználása. A jó fényviszonyoknak köszönhetően viszonylag alacsony ISO értékkel tudtam dolgozni.

A kiválasztott kapu esetében három pont helyzetének meghatározása érdekében ezek egymástól való távolságát lemértem mérőszalaggal, annak érdekében, hogy később a modellnek helyi koordinátákat tudjak adni.

7. A terület ismertetése

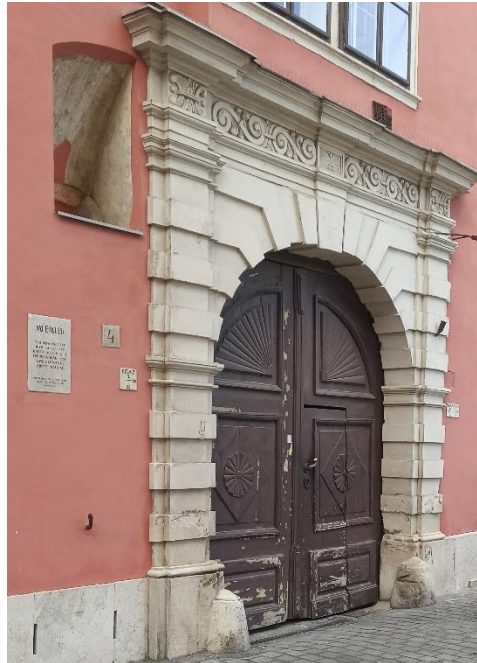
A fényképeket Sopron történelmi belvárosában, a **Fő téren**, a **Szent György utcában**, a **Templom utcában**, az **Új utcában**, valamint a **Kolostor utcában** készítettem. Ezen utcák házai szinte kivétel nélkül mind műemlék épületek, díszes kapukkal és finoman kidolgozott boltívekkel.

Az általam kiválasztott kapu, amelyen a modellezési folyamatot elvégeztem, a Templom utca mellett, a **Fő tér 4-es** szám alatt található műemlék ház kapuja. **(15. ábra) (16. ábra)** Egyemeletes lakóház barokk homlokzattal, majd a 19. században a belső tér átalakításán kívül egy második emelettel is bővült a hátsó oldalán.



15. ábra: A modellezett kapu elhelyezkedése Sopron belvárosában

Az említett épületben egykoron számos híres ember megfordult. A 16. században Lotharingiai Károly, majd a 17. században többek között II. Ferdinánd és I. Lipót is. Erről tesz tanúbizonyságot a kapu jobb oldala mellett található emléktábla is. [24.]



16. ábra: A modellezéshez kiválasztott kapu (saját fénykép)

Később a Széchenyi- család tulajdonába került, majd végül a Kossow-családé lett, innen kapta a Kossow-ház nevet is.

A terület megvilágítottsága a nap nagy részében ideális a fényképek elkészítéséhez, a gyér autós- és gyalogosforgalomnak köszönhetően szükséges esetben nagyobb expozíciós idővel is tudunk dolgozni.

8. A munkafolyamatok ismertetése

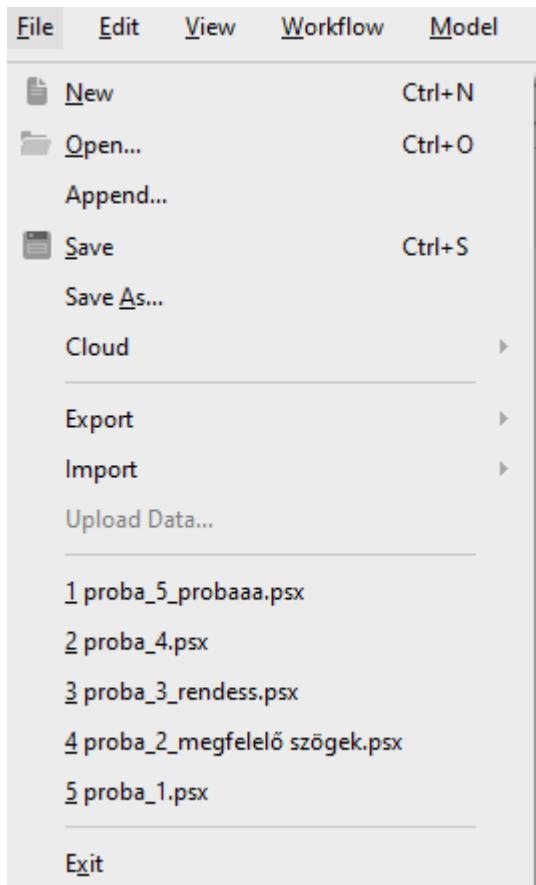
8.1 A program ismertetése

Az Agisoft egy fotogrammetriai képfeldolgozó szoftver, amellyel lehetséges a felszín modellezése, digitális terepmodell előállítása, valamint pontfelhő generálás is. Légi fotogrammetriai célokra, műholdképek feldolgozására is alkalmas, és térbeli adatot tudunk vele generálni.

Légiháromszögeléshez, szintvonal generáláshoz, valamint terület- és térfogatszámításhoz is felhasználhatjuk. Általános és professzionális változata is elérhető, attól függően mire kívánjuk használni a programot. [15.]

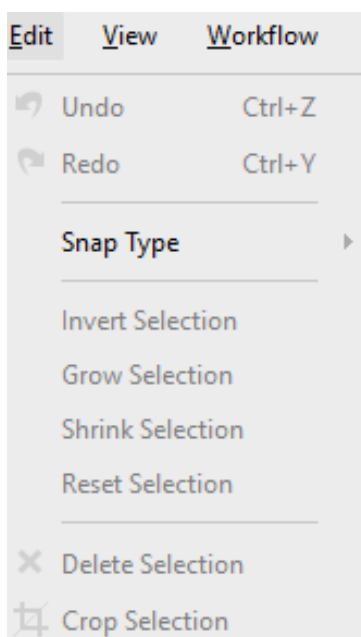
Jelen esetben a fényképek körbevágására, pontfelhő generálásra, valamint térbeli modell létrehozására fogjuk használni a programot.

A **File** menüben az Office alkalmazásokból (Word, Excel, stb) ismert általános parancsok vannak (új munka, megnyitás, mentés, exportálás, importálás). (17. ábra) [26.]



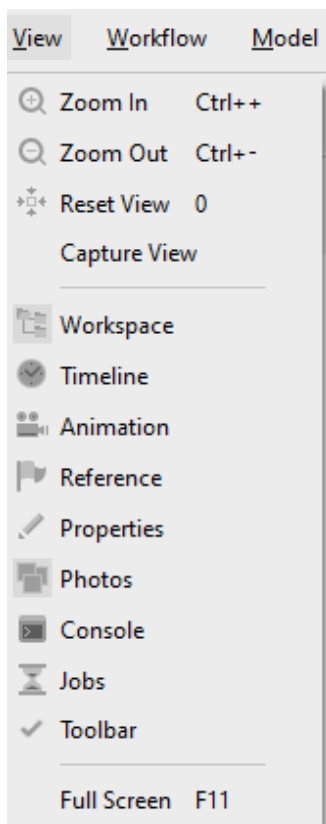
17. ábra: File menüpont (programban készített képernyőfotó)

Az **Edit** fül alatt a visszavonás és a kijelölés funkciókat láthatjuk. (**18. ábra**)



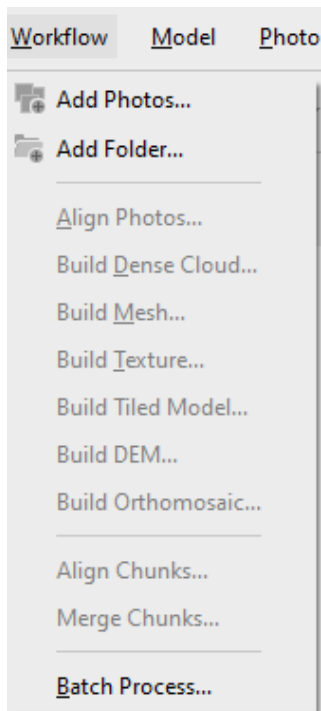
18. ábra: Edit menüpont (képernyőfotó)

A **View** menüben a megtekintés beállításai vannak, többek között a nagyítás, kicsinyítés és a megjelenítés is beállítható. **(19. ábra)** A tulajdonságok, idővonal, és a fényképek megjelenítése is itt kapcsolható ki és be, valamint itt találjuk a munkaterületet és a tulajdonságok menüpontot is.



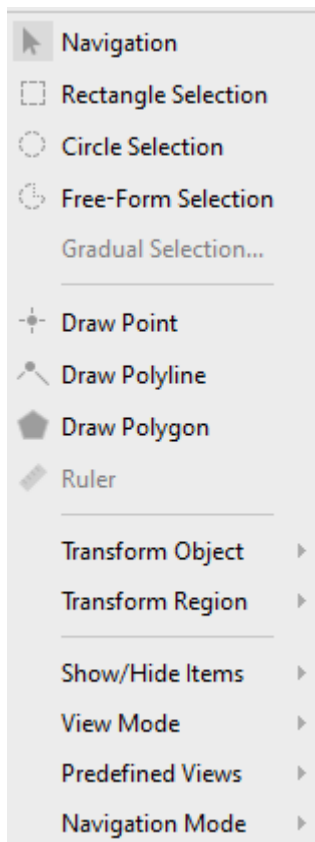
19. ábra: View menü (képernyőfotó)

A **Workflow** menüben a fényképek és mappák hozzáadása, valamint összekapcsolása található. **(20. ábra)** Ugyanitt van még a pontfelhő, a textúra, valamint a modell építésének lehetősége is.



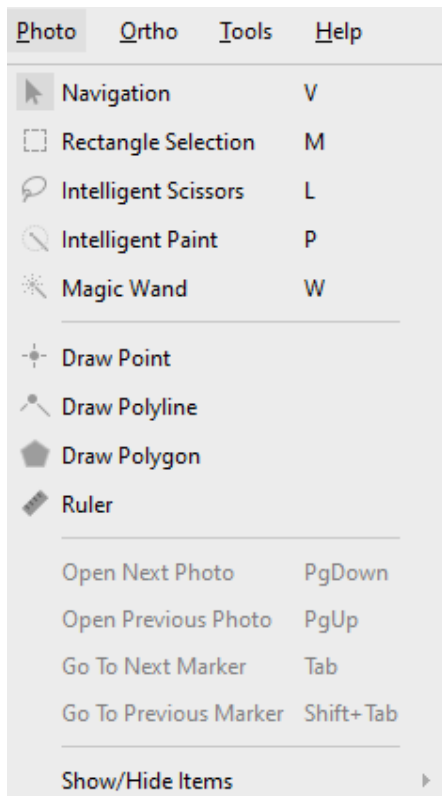
20. ábra: Workflow menü (képernyőfotó)

A **Model** fül alatt a modell kijelöléséhez és megjelenítéshez kapcsolódó parancsok vannak. **(21. ábra)** Mozgathatjuk és forgathatjuk a képeket, valamint poligonokat és pontokat rajzolhatunk. Egyes elemek megjelenítése, elrejtése, valamint megtekintési módok is itt állíthatóak be.



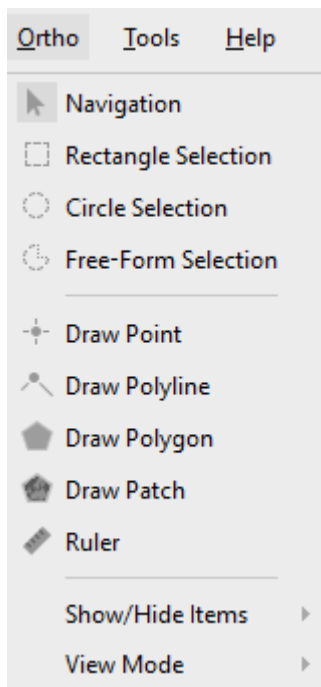
21. ábra: Model menü (képernyőfotó)

A **Photo** parancs alatt a kijelölési lehetőségeken felül a fotók között előre és hátra tudunk léptetni, valamint megjeleníthetünk, vagy elrejtethetünk elemeket (maszkok, intenzitás, mélységtérképek, ellentmondások, címkék, pontok). (**22. ábra**)



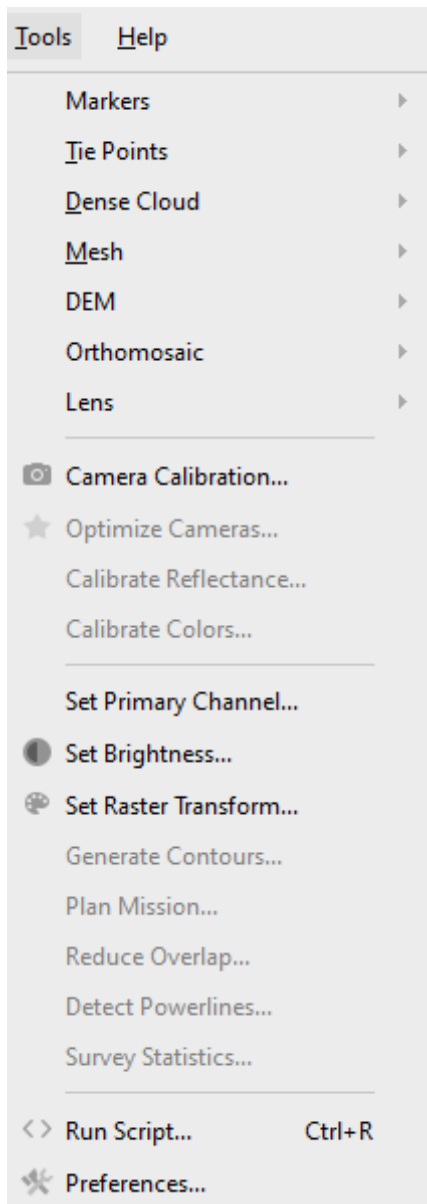
22. ábra: Photo menü (képernyőfotó)

Az **Ortho** fülben] a kamerák és alaptérképek ki és bekapcsolása látható a kijelölési lehetőségeken kívül. **(23. ábra)**



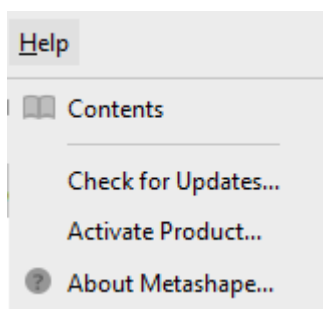
23. ábra: Ortho menü (képernyőfotó)

A **Tools** menüben a kamera kalibrálása, optimalizálása és a reflektancia, valamint a színek kalibrálása is megvalósítható. **(24. ábra)** Fényességet és raszter transzformációt is tudunk állítani, a pontfelhőhöz és az ortomozaikhoz kötődő beállításokat is látunk. valamint filtereket is be tudunk kapcsolni.



24. ábra: Tools menü (képernyőfotó)

A **Help** alatt a program pontos változatának a számát, a szoftver általános áttekintését, illetve a frissítési lehetőségeket találjuk. (**25. ábra**)



25. ábra: Help menü (képernyőfotó)

8.2 A fényképezés részletezése

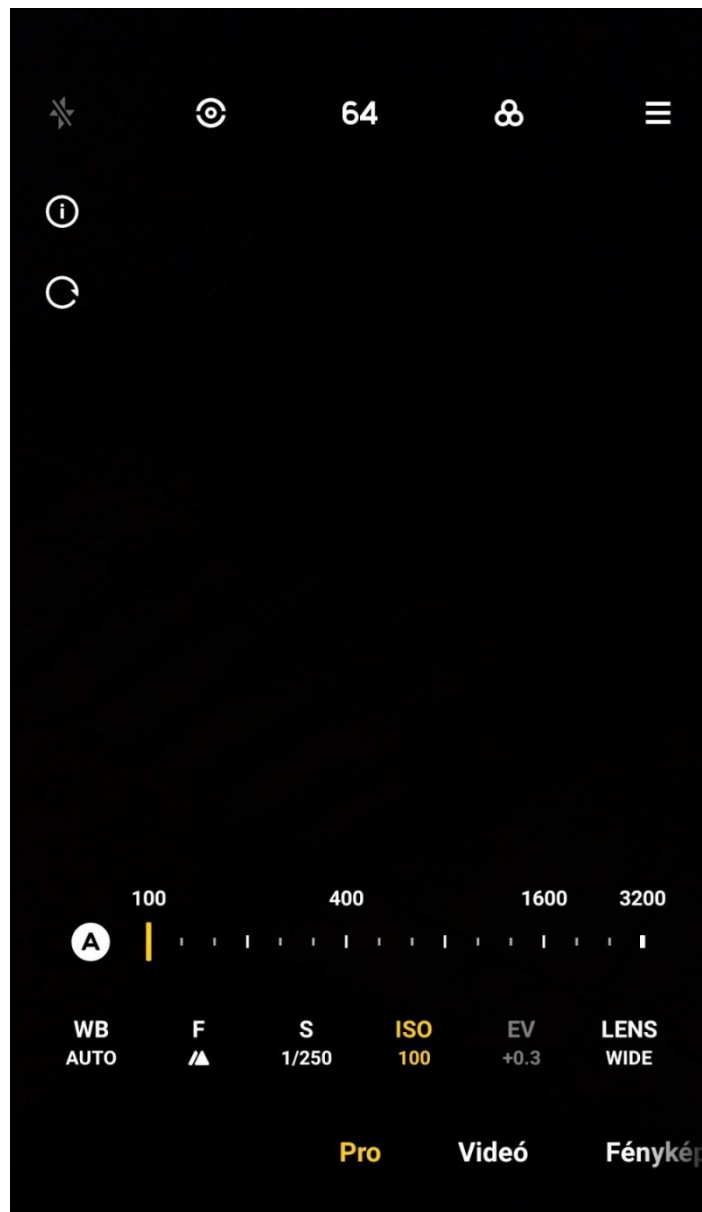
Munkám során a fotogrammetrián belül a földi fotogrammetria (relatív magasság: 0-100 méter) eszközeivel valósítottam meg a célkitűzéseimet. Kapuk háromdimenziós modellezését végeztem el, amelyek fényképezését Sopron belvárosában, amatőr kamerákat felhasználva valósítottam meg.

Ahhoz, hogy egy amatőr kamerát fotogrammetriai célokra tudjunk használni, számos feltételnek kell eleget tenni. Munkám során a telefonomat (**Xiaomi Redmi Note 8 Pro**) használtam fel ezen célra, a telefon kamerájának '**Pro**' menüjében állítottam be a szükséges paramétereket. A kameraállandó beállítása érdekében a fényképezési lehetőségek közül a professzionális módot vettem igénybe. ahol kikapcsolható az autófókusz, valamint a rendelkezésre álló fényviszonyok alapján mi adjuk meg a megvilágítottság mértékét és a záridőt is. Beállítottam egy állandó fókusz távolságot (kameraállandó), amely meghatározásának alapját a kapuk nagysága és a tőlük való fényképezési távolság (felvételezési távolság) adta. Minél jobb a fényviszonyok, annál rövidebb expozíciós időt tudunk választani.

A zársebességet (expozíciós idő) **1/1000 és 1/100** közötti értékeknek választottam a fényviszonyok tekintetében, az ISO értéket (kamera fényérzékenysége) pedig **100 és 400** közötti értékre állítottam. (26. ábra) Ez utóbbi érték nagysága egyenesen arányos az expozíció érzékenységgel. Mivel fényes nappal készítettem a felvételeket, így a megfelelő fényviszonyok miatt alacsony értékeket tudtam választani.

Minden érintett kapuról 6-8 képet csináltam, amelyek mind-mind más előmetsző szög mellett kerültek elkészítésre. A bonyolultabb kapuk esetében egyes részletekről az imént említett hat képen felül még újabb felvételeket készítettem, kisebb felvételezési távolság mellett. Később a modellezés során fellépő nehézségek megoldása érdekében újabb felvételeket csináltam. Kevés

kép alapján nehéz részletes és jó minőségű modellt előállítani, ez indokolta a kiválasztott kapu esetében a közel 40 fénykép elkészítését. Figyeltem arra, hogy több képen is látható legyen a teljes kapu, valamint számos fényképet készítettem, ahol csak egyes részletek, a kapu egyes elemei voltak láthatóak.



26. ábra: Mobiltelefonnal készített képek beállítása a Professzionális módban

Ezen felül CANON fényképezőgéppel is készítettem fényképeket, a nagyobb számú minta rendelkezésre állásának céljából.

Ezt a feldolgozás során fellépő nehézségek is indokolták (elnagyolt, nem elég részletes modell), a modell részletesebbé tétele érdekében szükségessé vált az ismételt fényképezés. Állványt használva biztosítani tudtam a műszermagasságot, a bezárt szöget, valamint a szabad kézből készített fényképekkel szemben itt a mozdulatlanságot is biztosítani tudtuk. A választott kapuról 8 fényképet készítettem, eltérő előmetsző szögekkel, a jó fényviszonyoknak köszönhetően alacsony ISO értékkel. Rögzített kameraállandóval, megközelítőleg azonos felvételezési távolsággal készítettem el a szükséges fényképeket.

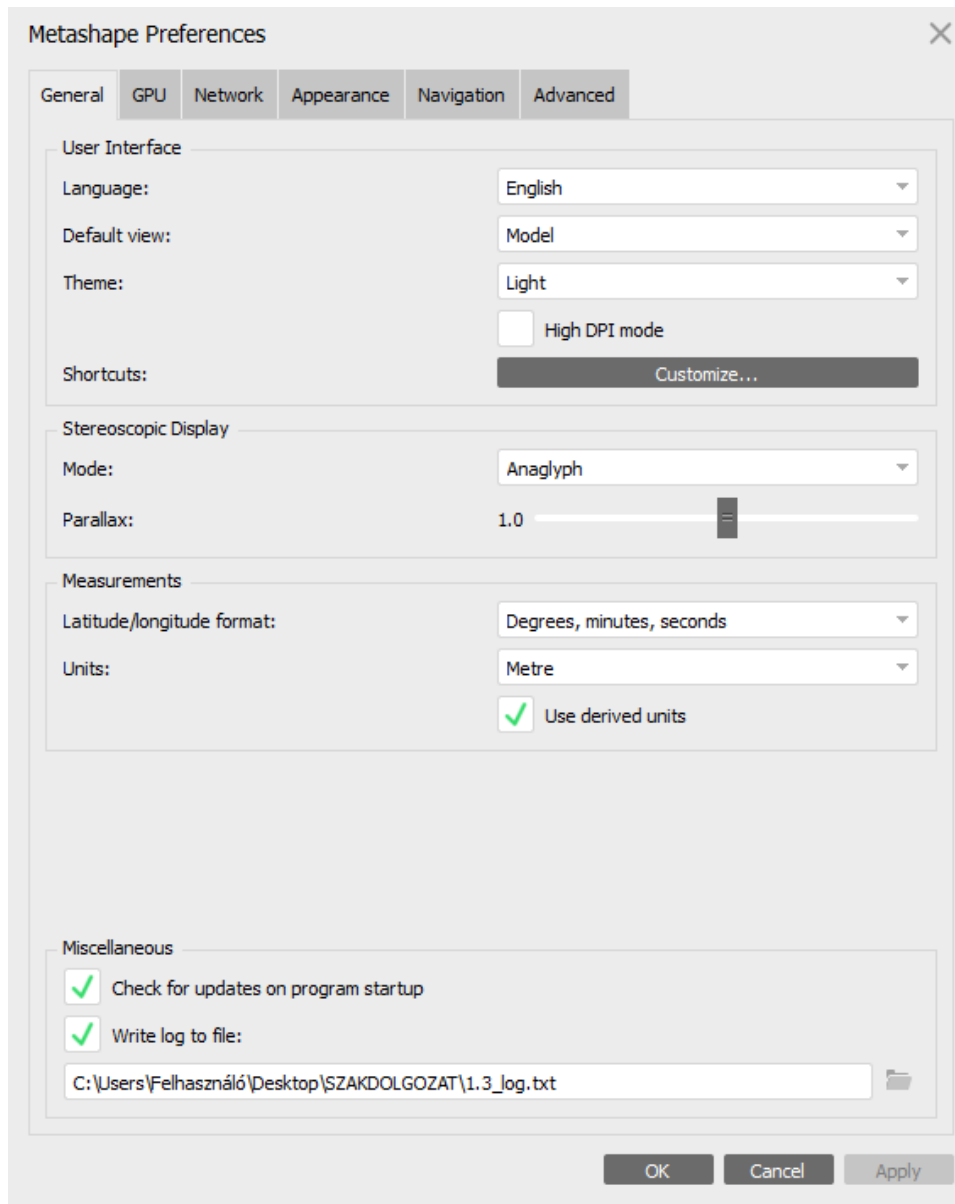
8.3 A feldolgozás ismertetése

8.3.1 Az alapvető beállítások elvégzése

A pontos modellezés érdekében ajánlott több képet is készíteni a végeredmény előállításához, valamint a felvételezést is több szögből kell elvégezni. Ebből kifolyólag a kiválasztott kapu esetében 39 képet készítettem, különböző előmetsző szögekkel

A modellezés folyamatának megkezdése előtt számos előzetes beállítást el kell végezni, amelyek elengedhetetlenek a megfelelő végeredmény elérése érdekében. A fényképek feldolgozását az Agisoft Metashape Professional szoftverrel, illetve ennek egyik újabb változatával az Agisoft Photoscan-nel végeztem, amelyek fotogrammetriai célokra írt programok.

A program elindítása után első lépésben megnyitjuk a **Tools** (Eszközök) menüpontot, ahol **Preferences** (Beállítások) lehetőséget választjuk, és a **General** (Általános) fülön elvégezzük az alábbi beállításokat. **(27. ábra)** Az objektum térbeli modelljének előállításakor a parallaxis értéket pedig 1.0-ra állítjuk. Mértékegységként méter, hosszúságú/magassági formátumként pedig fok, perc, másodpercet állítunk be.



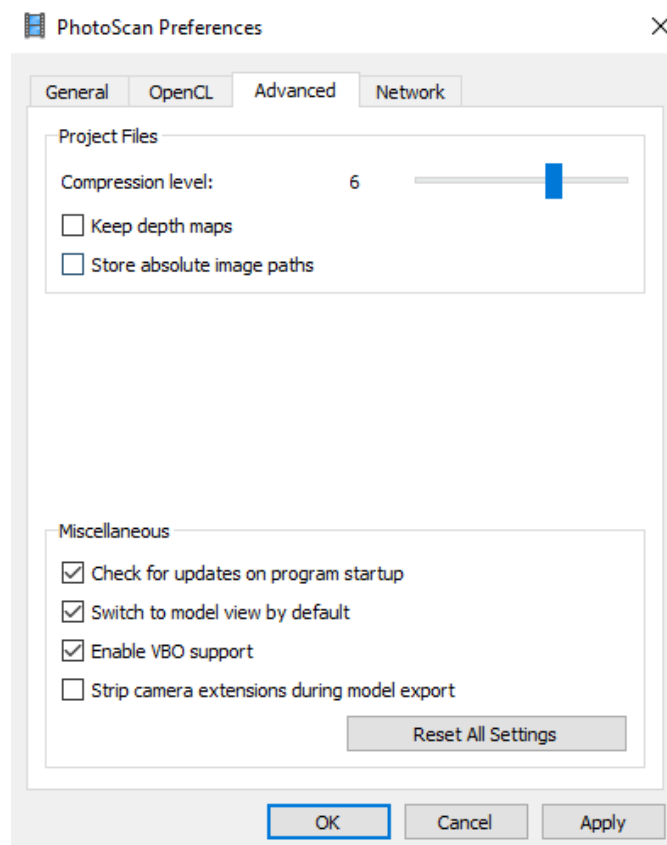
27. ábra: Preferences fül beállításai (képernyőfotó)

Megadjuk a fájlhoz tartozó **log** fájl (napló) mentési helyét is, amely gyakorlatilag naplószerűen mutatja be folyamat lépéseit, a létrejövő pontok számát, és egyúttal a fellépő hibákat is.

Az **Advanced** (Haladó/Fejlett) fülön a **depth maps** (mélységtérképek) és az **absolute image paths** (abszolút kép pályák) készítését és tárolását kikapcsoljuk, valamint a frissítések keresését és a VBO (vertex puffer object) támogatást bekapcsoljuk, engedélyezzük. (**28. ábra**)

Utóbbi lényege, hogy az adatok a videó eszköz memóriájában kerülnek elhelyezésre, nem pedig a rendszermemóriában, Ennek köszönhetően jelentős teljesítménynövekedés és jóval gyorsabb munka válik lehetővé.

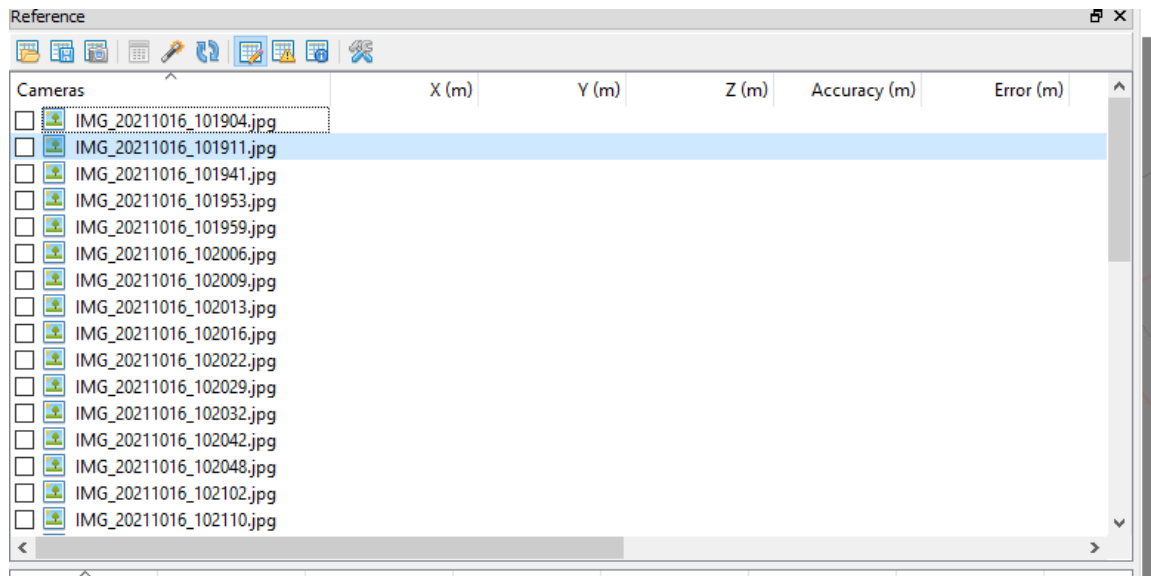
A **Compression level** (Tömörítési szint) beállítást az alapértelmezett helyzetben, hatos értéken hagyjuk.



28. ábra: Preferences fül, Haladó beállítások (képernyőfotó)

A fent említett beállítások elvégzését követően a **Workflow** menü **Add Photos** lehetőséget kiválasztva behívjuk az érintett kapukról készített képeket. Megkeressük az érintett könyvtárat és a képeket kijelöljük, majd megnyitjuk.

A **Reference** fülön látjuk a behívott fényképeket, amennyiben tartozik hozzájuk Y és X koordináta (méter), és hiba, akkor ezek értékét is látjuk számszerűen kifejezve. (**29. ábra**)



29. ábra: Behívott fényképek (képernyőfotó)

A mobiltelefon által készített fényképek neve alapján látjuk a felvétel készítésének idejét, nap óra-perc-másodperc formátumban.

8. 3. 2. A modellezés folyamata

A fényképek behívása után minden képre maszkot használunk. Ennek célja, hogy kiszűrjük a felesleges részleteket (háttér, minden részlet, amely nem a kaput ábrázolja). Az eszköztáron számos lehetőség van, amelyekkel kivághatjuk a szükségtelen részleteket. A ' **Rectangular Selection** ' (négyzet/téglalap alakú kiválasztás) paranccsal négyzet alakú területeket tudunk kijelölni, ezzel kivágva a kapu alatti és feletti háttérret. **Add selection** (kiválaszt) paranccsal ezután a területeket hozzáadjuk a kiválasztáshoz, így a kijelölések eredményeképp végül csak a szükséges területek (kapuk) maradtak aktívak a képen. (30. ábra)



30. ábra: Körbevágott kapu (képernyőfotó)

A kapu íves jellegéből adódóan a boltív mentén szabálytalan, fordított parabola ($\cap$) alakban kell kijelölni a háttérret. Ehhez az **Intelligent Scissors** (Olló) lehetőséget érdemes kiválasztani, így szabálytalan alakú területeket is képesek vagyunk kijelölni, amelyeket akár ki is színezhünk az **Intelligent Paint** (festék) paranccsal. Kis területek kijelölése megoldható a ' **Magic Wand**' paranccsal is. A hibásan kijelölt területet **Substract Selection** (kijelölés megszüntetése) paranccsal lehet ismét aktívvá tenni.

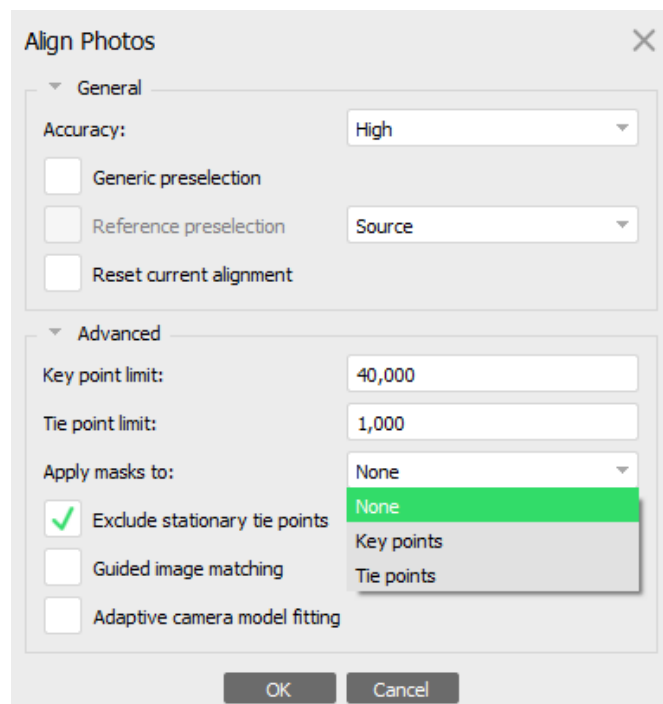
A kapuk kijelölése esetében megoldás lehet a szükséges terület, a kapu körbevágása, majd az **Invert Selection** (kijelölés irányának megfordítása) paranccsal megfordítjuk a kijelölést, ezzel a felesleges háttérret kizárva, majd ezt hozzáadva a kijelöléshez kiszűrjük a felesleges részleteket.

A modellezés elkezdésekor kizárólag a kaput kívántam modellezni, azonban a feldolgozás során nyilvánvaló vált, hogy a hozzá tartozó, kőből készített, művészi értékű keret ábrázolása is fontos. Ez adja meg a kaput teljes egészében, a díszítettségen felül gyakorlati oka is akad a felhasználás fontosságának. Bizonyos előmetsző szögek esetében a keret egyes részleteket kitakar, így helyenként lyukas modellt, egy hiányos kaput kapnánk végeredményként.

Miután ezt a folyamatot minden képre elvégeztük, a képeket összekapcsoljuk a **Workflow** menü **Align Photos** (képek összekapcsolása) parancsával. **(31. ábra)** Ezzel a paranccsal történik a képek összekapcsolása az azonos pontokhoz tartozó vetítősugarak alapján.

Ezek térbeli metszéspontjai adják a ritka pontfelhőt, ezen kívül a kamera pozíciók pontosítása is itt történik.

A **General** fülön a pontosságot magasra állítjuk, így a munkafolyamat tovább fog ugyan tartani, de a végeredmény részletesebb, pontosabb lesz. A képek párba rendezése nagyszámú kép felhasználása esetén felgyorsítja a feldolgozást, azonban jelen esetben nem használjuk, ugyanis az érintett technikát egy kapun, azaz 39 képen végezzük csak el.



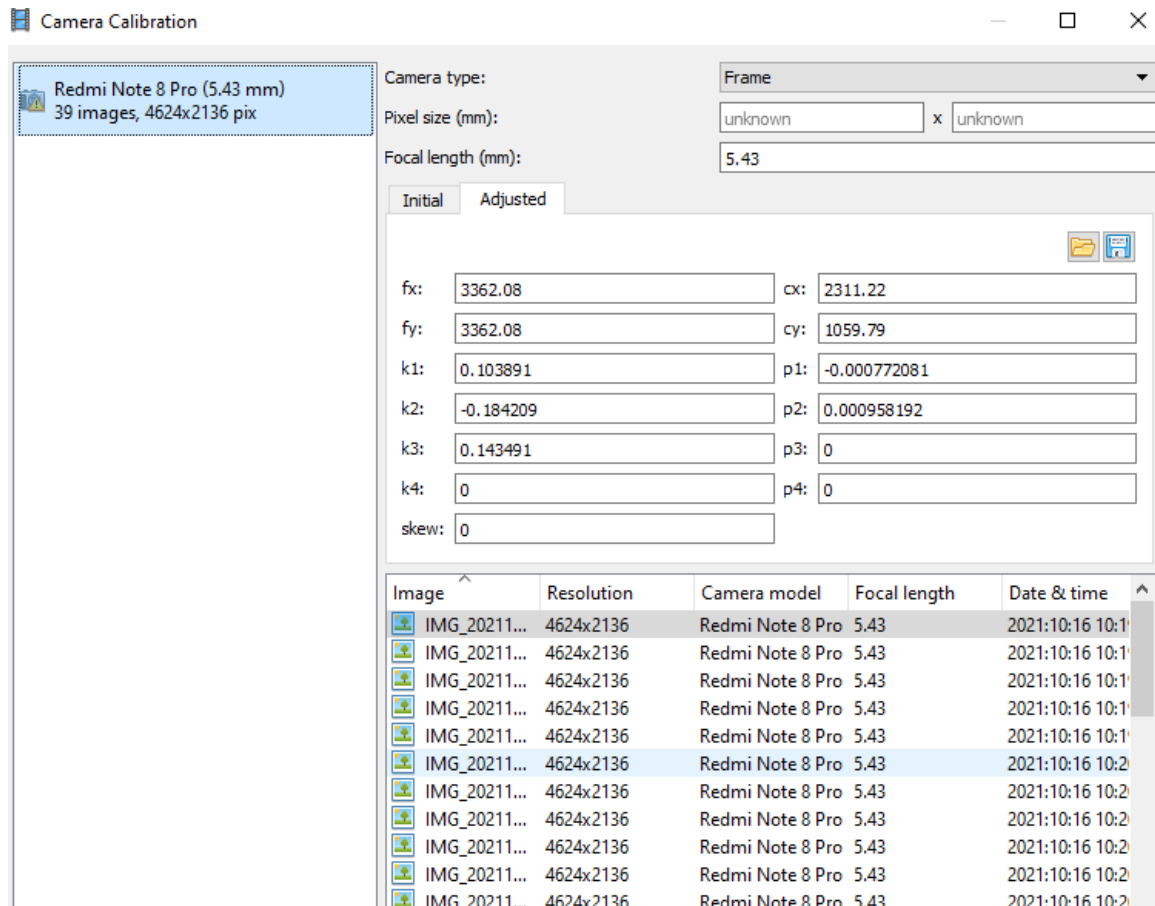
31. ábra: Képek összekapcsolása (képernyőfotó)

Az **Advanced** fülön a **Key point** (kulcspontok/ jellemző pontok) értéket 40 000-re, a **Tie point** (funkciójuk a kapcsolópontokéval megegyező) lehetőséget pedig 1000-re állítjuk. Az **OK** gombra kattintva elfogadjuk a beállításokat, és megtörténik az összekapcsolás folyamata.

Először a program a pontokat észleli, majd ezt követően egyező pontokat (matching points) keres. Következő lépésként a kameraállások becslése, meghatározása következik, ennek végeztével lezárul az összekapcsolás folyamata.

A kamerakalibráció eredményét megtekintve a **Tools** menü **Camera Calibration** lehetősége alatt találjuk.

A k_1 , k_2 , k_3 és a p_1 , p_2 paraméterek értékeit láthatjuk, amelyek közül a k_1 , k_2 , k_3 értékek a radiális elrajzolás koefficiensei, a p_1 , p_2 értékek pedig a tangenciális elrajzolás koefficienseit jelölik. [32. ábra] (23.)



32. ábra: Kamerakalibráció eredménye (képernyőfotó)

Ezen értékeken felül láthatjuk az adott fényképek készítésének idejét, a hozzájuk tartozó felbontást (4624×2136 pixel), valamint a fókusz távolság (5,43) értékét is milliméterben kifejezve.

A sugárnyaláb kiegyenlítést az **Optimize Cameras** paranccsal tudjuk végrehajtani. Ennek eredményeképp a k_1 , k_2 , k_3 és a p_1 , p_2 értékek némileg megváltoznak, a kameraállandó értéke azonban változatlan marad. (33. ábra)

Camera type: Frame

Pixel size (mm): unknown x unknown

Focal length (mm): 5.43

Initial Adjusted

fx: 3353.71 cx: 2305.22

fy: 3360.58 cy: 1070.33

k1: 0.104524 p1: -0.000110445

k2: -0.191085 p2: 0.000607365

k3: 0.150421 p3: 0

k4: 0 p4: 0

skew: -1.42109

Image	Resolution	Camera model	Focal length	Date & time
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:1
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:1
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:1
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:1
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:1
IMG_20211...	4624x2136	Redmi Note 8 Pro	5.43	2021:10:16 10:2

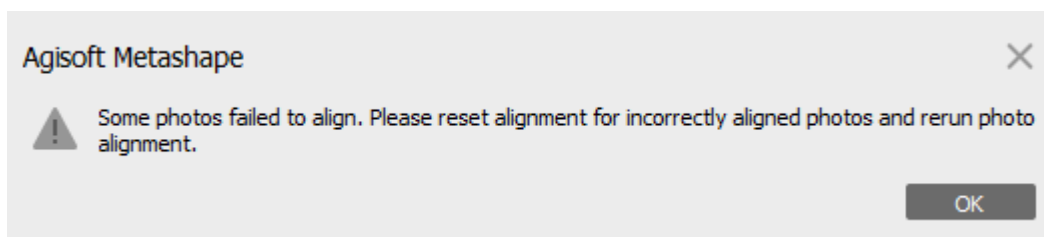
33. ábra: Kamerakalibráció eredménye, pontosított (képernyőfotó)

Amennyiben a folyamat sikeresen végbemegy, a **Photos** fül alatt lévő képek jobb felső sarkában megjelenik egy pipa, ellenkező esetben a program hibaüzenetet jelez. **(34. ábra) (35. ábra)**



34. ábra: Képek sikeres összekapcsolása (képernyőfotó)

A hibaüzenet tájékoztat, hogy az összekapcsolás egyes fényképek esetén sikertelen. Javasolt a folyamat ismételt beállítása, valamint a fényképek összekapcsolásának újbóli lefuttatása.

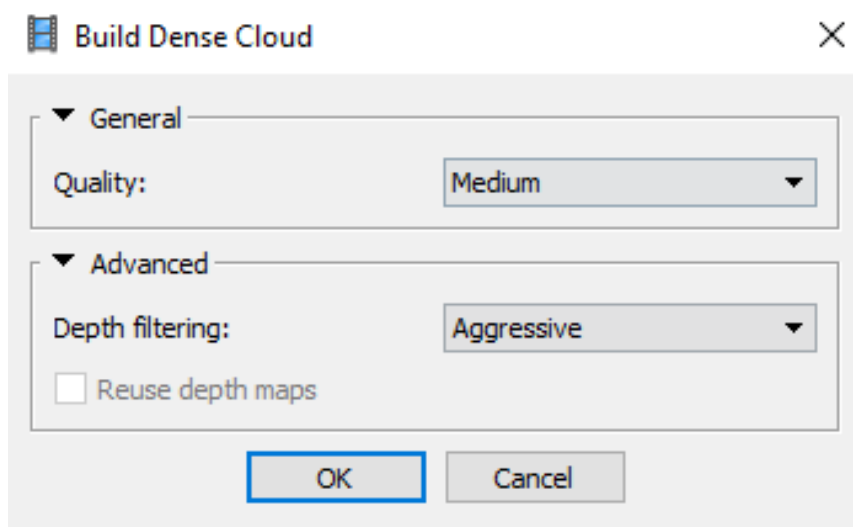


35. ábra: Hibaüzenet, sikertelen összekapcsolás (képernyőfotó)

A folyamat végét követően lehetőség nyílik a pontok szerkesztésére. A kereten belüli pontok alapján kerül elkészítésre a pontfelhő, azonban mivel számos felesleges pont (főként a kapu teteje felett láthatóak a házból részletek) a gondos kivágások ellenére is feldolgozásra került,

célszerű ezeket manuálisan eltávolítani. Ehhez a **Resize Region**  (keret/terület méretezése) és a **Rotate Region**  (forgatás) parancsok állnak rendelkezésre. Ily módon a keret összehúzható, alakítható, és sok felesleges pont kitörölhető.

Amennyiben minden beállítás megfelelő, a **Workflow** menü **Build Dense Cloud** parancsával sűrű pontfelhőt generálunk. **(36. ábra)** A minőséget közepesre állítjuk, ugyanis a magas minőség több időt vesz igénybe, és erős számítógépet igényel. A mélység filterezést erőteljesre (aggressive) állítjuk, majd az OK gombbal jóváhagyjuk a beállításokat. Még közepes minőség esetén is akár 30-40 percet is igénybe vehet a folyamat lefutása, amennyiben 20-30 képet is felhasználunk a modell létrehozásához.



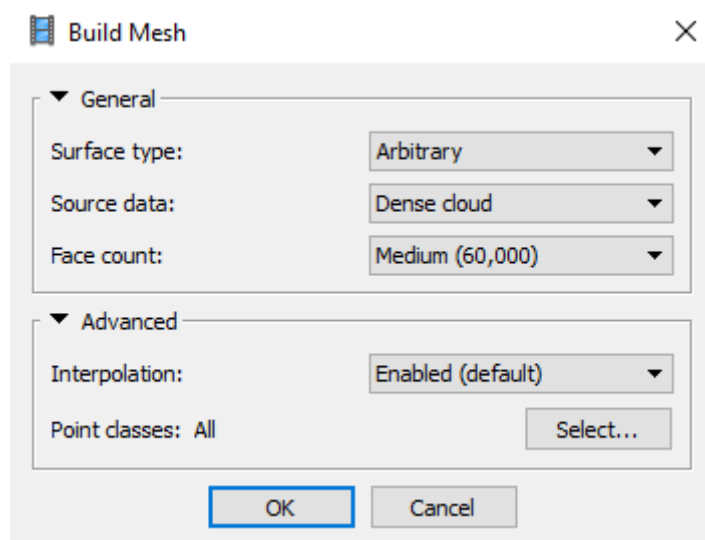
36. ábra: Sűrű pontfelhő készítése (képernyőfotó)

Felugrik egy folyamatablak, amely az egyes részfeladatok állását, valamint a teljes folyamat előrehaladását fejezi ki százalékban.

Először a program betölti a fényképeket, majd pedig a képek esetében a mélységet rekonstruálja. Utolsó lépésként megtörténik a pontfelhő generálása, és véget ér a folyamat.

Következő lépésben a háló megépítését végezzük el, ahol az alább látható beállításokat adjuk meg.

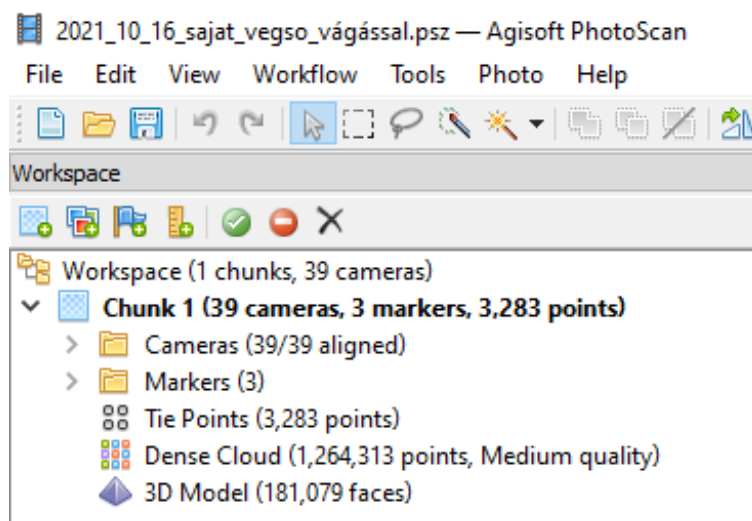
Az **Általános** fülön a felszín típusát tetszőlegesre állítjuk, felhasználandó adatforrásként pedig a pontfelhőt vesszük alapul. A **Face count** lehetőséget közepesre állítjuk, ez a pontok által alkotott poligonok darabszámára utal. Az interpolációt engedélyezzük, a beállításokat az OK gombra kattintva hagyjuk jóvá. (37. ábra)



37. ábra: Build Mesh parancs beállításai (képernyőfotó)

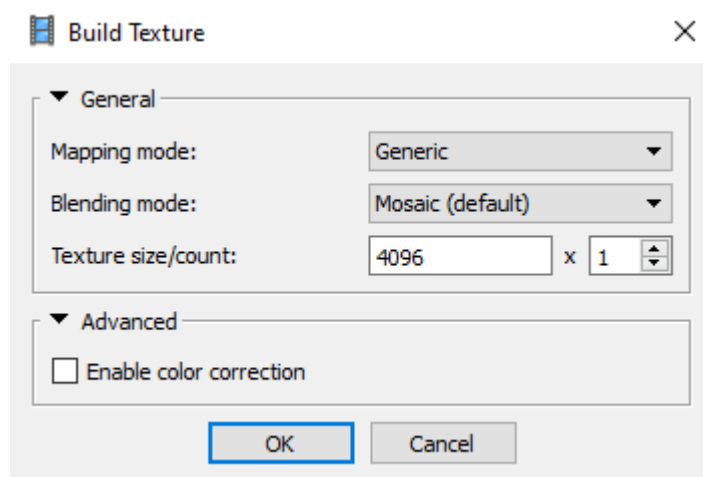
Ez a folyamat még nagyszámú kép esetén is maximum néhány percet vesz igénybe, lefutása rövid idő alatt végbemegy.

A folyamat előrehaladása során folyamatosan látjuk a **Workspace** (munkaterület) fül alatt a változásokat. Látjuk, hogy a 39 kameraállás meghatározása sikeres volt, létrejöttek az azonos pontok (tie points) (3283 darab), és megtörtént a pontfelhő generálás. Egymilliónál is több pontot kaptunk közepes minőség beállítása mellett, és a háromdimenziós modell közel 200 000 poligont adott végeredményként. (38. ábra)



38. ábra: Munkaterület adatai (képernyőfotó)

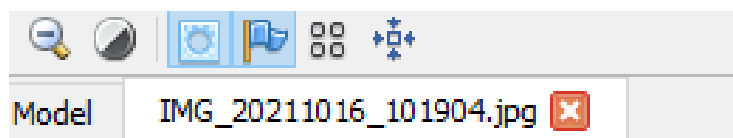
Ezután a textúra (szerkezet, struktúra) beállítását készítjük el. Térképészeti módszerként általánost választunk, keverési módként pedig az alapértelmezett mozaikot használjuk. A szerkezet nagyságát a program által beállított lehetőségen hagyjuk, és nem engedélyezzük a képkorrekciót. **(39. ábra)**



39. ábra: Textúra kiépítése (képernyőfotó)

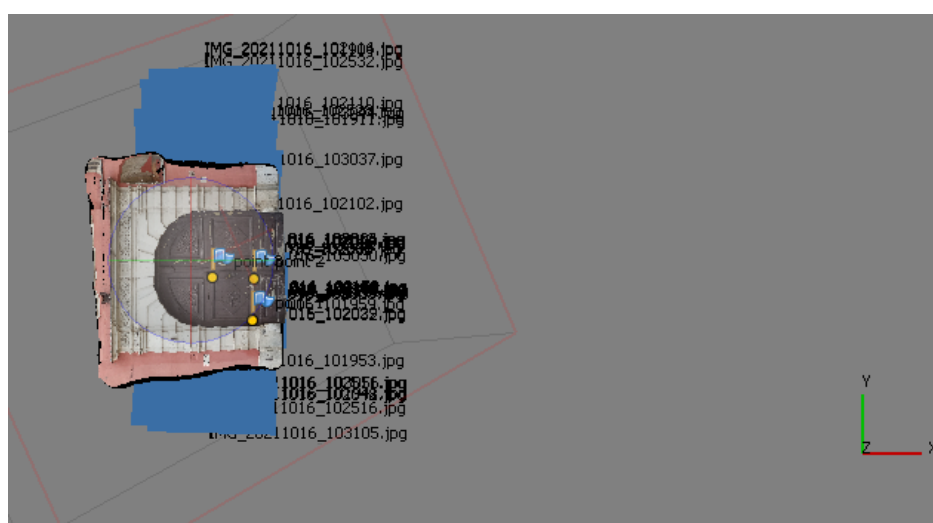
A beállítások jóváhagyását követően jön létre a szerkezet, amely szintén viszonylag rövid idő alatt, pár perc elteltével végbemegy. Először a paraméterezés, majd a szerkezet kialakítása történik, végül pedig lezárul a folyamat.

A **Model** fülön meg tudjuk tekinteni a létrejött modellt, valamint az egyes készített fényképek esetében láthatóak a kameraállások is. **(40. ábra)**



40. ábra: Model fül

Azt tapasztaljuk, hogy a létrejött modell el van forogva, így a kameraállások nem a valóságot tükrözik. **(41. ábra)** Ennek megoldása elsőre bonyolultnak tűnhet, azonban kis gondolkodással, viszonylag rövid idő alatt elhárítható.



41. ábra: A létrejött modell, hibás koordináta-tengely beállításokkal

Mivel nincsenek ismert koordinátájú pontok, így a program tetszőlegesen értelmezte a kapu helyzetét.

A legkézenfekvőbb megoldás EOV koordinátákkal ellátott pontok megjelölése. Szakdolgozatom során sem mérőállomás, sem GPS műszer nem állt a rendelkezésemre, valamint ilyen esetekben hasznos a homlokzat síkjában felvett koordináta-rendszer, így más módszert választottam.

Könnyen azonosítható pontokat kerestem a kapukon, ezeket megjelöltem, illetve egymástól való távolságukat mérőszalaggal lemértem. Ily módon egy helyi koordináta rendszerben, relatív koordinátákkal tudtam dolgozni, ezzel méretezve a modellt, és beállítva a tengelyek állását.



42. ábra: Az illesztőpontok elhelyezkedése, egymástól való távolsága

Az ábrán jól látható, hogy 3 pontot vettem alapul, amelyeket 1, 2, illetve 3-as számmal jelöltem, a távolság pedig rendre 1,10 méterre adódott, mind az 1-es és a 2-es, mind a 2-es és a 3-as pont között is. **(42. ábra)**

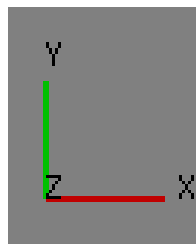
A helyi rendszerben értelmezett koordináták értékét egy jegyzetombben rögzítettem. **(43. ábra)**

 illesztőpontok – Jegyzetömb

Fájl	Szerkesztés	Formátum	Nézet	Súgó
11,10; 10,00; 10,00				
10,00; 10,00; 10,00				
10,00; 11,10; 10,00				

43. ábra: Illesztőpontok koordinátái (X, Y, Z)

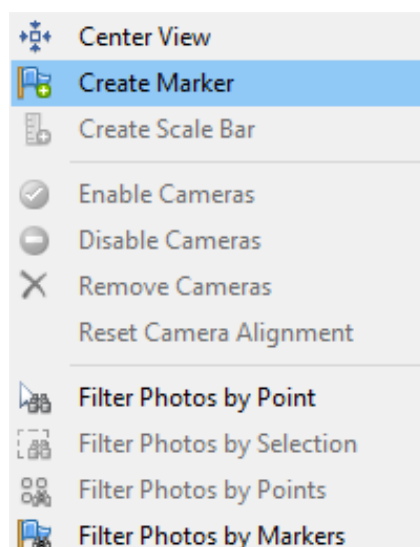
A koordináták megadásánál az XYZ sorrendet vettem alapul, a 2-es pont mindhárom adatát 10-esnek vettem, a másik két pont értéke pedig a lemerő távolságok alapján számítható.



44. ábra: Koordinátatengelyek elhelyezkedése (X, Y, Z)

Ezen az ábrán láthatjuk a tengelyek elhelyezkedését is. **(44. ábra)**

Az adott pontokat megkerestem a képeken, és rendre megjelöltem őket a **Create Marker** (illesztőpont jelölése) funkcióval. **(45. ábra)**



45. ábra: Illesztőpontok elhelyezése

Az elhelyezést követően kis zászlóval kerültek rögzítésre, ezt az alábbi ábrán láthatjuk. **(46. ábra)**



46. ábra: Elhelyezett illesztőpontok

Amennyiben az első képen elhelyeztük az illesztőpontot, úgy a többi képen is meg kell határozni a helyzetét. A program ezt automatikusan elvégzi, azonban ez pontatlan, így szükséges ezt manuálisan javítani.



47. ábra: Illesztőpontok automatikus elhelyezését jelző nyíl

A kép jobb felső sarkában jelenik meg kék nyíllal a jelzés, hogy megtörtént az automatikus illesztőpont keresés. **(47. ábra)** Ezt el is fogadhatjuk, vagy kézzel javíthatjuk, amit követően a zászló színe zöldre fog váltani. Elvégezzük a folyamatot mind a 3 illesztőpont esetében, az összes képre.



48. ábra: Az illesztőpont nem jelölhető meg

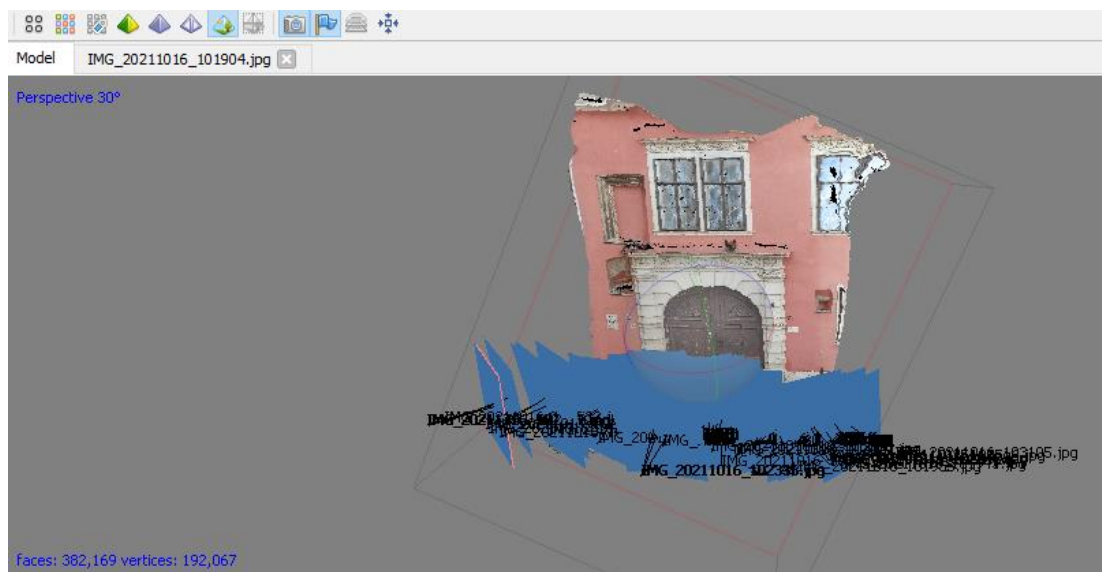
Egyes esetekben, főleg a kapu nem teljes egészét ábrázoló felvételeken, előfordul, hogy az illesztőpont nem jelölhető meg. **(48. ábra)** Egyik oka lehet, hogy takarásban van, vagy pedig egyszerűen nem szerepel a felvételen. Értelemszerűen ilyenkor nem jelöljük meg a pont helyét.

Az illesztőpontok elhelyezésének sikerességéről a pixelben és méterben kifejezett hibaértékek adnak visszajelzést. **(49. ábra)** Láthatjuk ezen felül még azt is, hogy a 39 képből hány képen sikerült a pontokat megjelölni.

Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
0.005000	0.001454	30	0.505
0.005000	0.002053	39	0.460
0.005000	0.001457	38	0.437
	0.001678		0.465

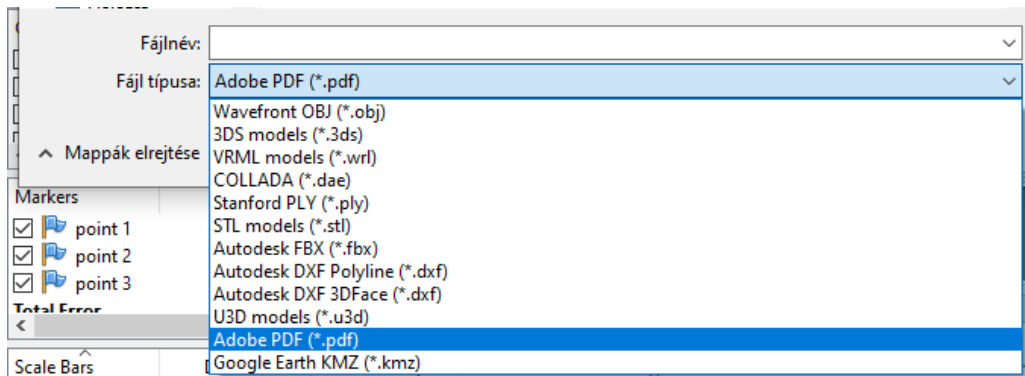
49. ábra: Illesztőpontok elhelyezésének hibája méterben és pixelben kifejezve

Így már a helyes kameraállásokat, és a megfelelő koordináta tengelyhelyzet alapján létrejött modellt láthatjuk, amennyiben az **Update** paranccsal elvégeztük a mentést, frissítést. **(50. ábra)**

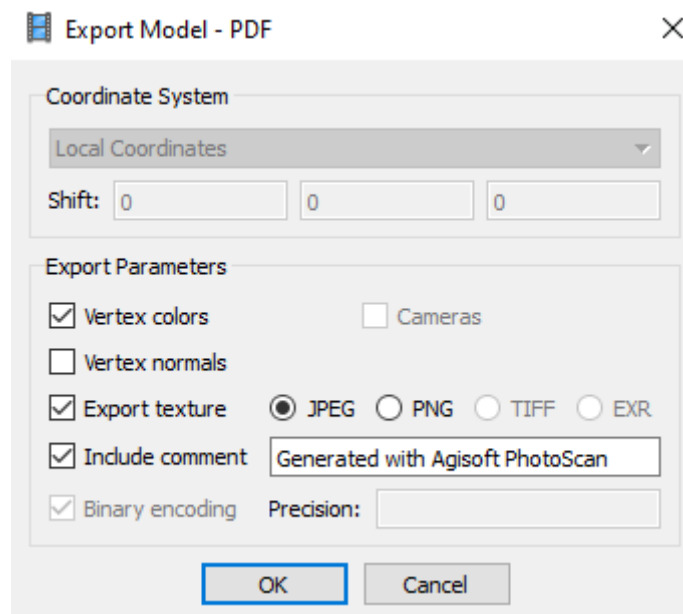


50. ábra: Helyes koordináta-tengely beállítások

A létrejött modellt a **File** menü **Export Model** parancsával tudjuk kimenteni. A mentés helyéhez tartozó könyvtár beállítása után megadhatjuk a kívánt kiterjesztést is. **(51.-52. ábra)**



51. ábra: Exportálás

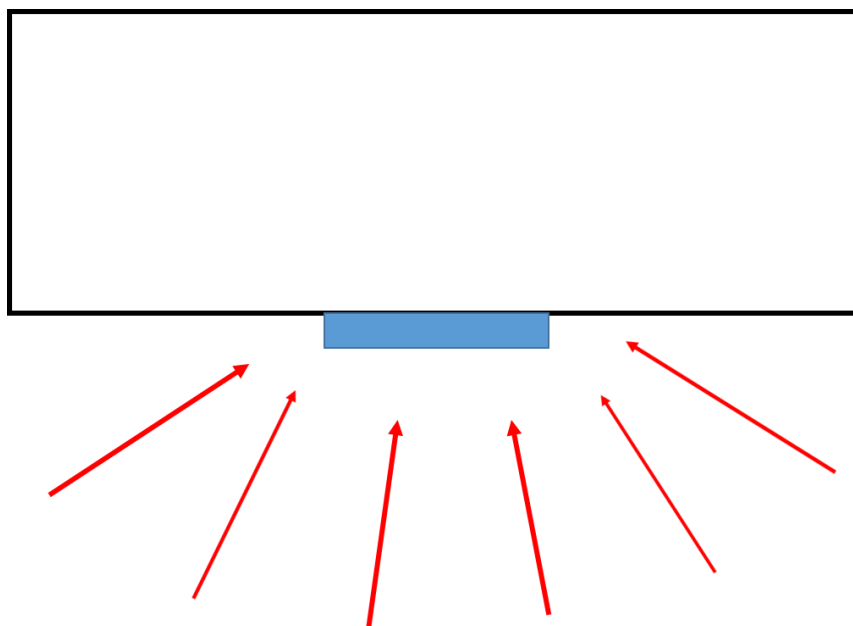


52. ábra: Exportálás, beállítások

9. A fellépő nehézségek ismertetése és megoldásuk

A munkafolyamatok során számos probléma lépett fel, ezek megoldását az alábbiakban kívánom bemutatni.

1. A felmérés során három fényképet készítettem kapunként, rögzített fókusz távolság mellett, a kapukkal szemben állva, azokkal megközelítőleg 90 fokos szöget bezárva. Ez a mennyiség azonban egy kevésbé részletes, elnagyolt modellt eredményezett, így szükségessé vált a felvételek készítésének megismétlése. Ezúttal az adott kapuk részletességétől függően 6-8 fényképet készítettem, eltérő előmetsző szögekkel, a kameratengelyek iránya az alábbi képen látható módon. **(53. ábra)** Ez a képmennyiség azonban még mindig nem bizonyult elegendőnek, így közel 40 képet készítettem. Hozzávetőlegesen 10 képen a teljes kapu és a hozzá tartozó keret szerepel, a többi felvételen pedig részletek láthatóak, nagy átfedésekkel.



53. ábra: Előmetsző szögek szemléltetése

2. További pontatlanságot okozott a fotózás során, hogy állványt nem használtam, így a fényképek készítésének magassága és minősége is eltérően sikerült.

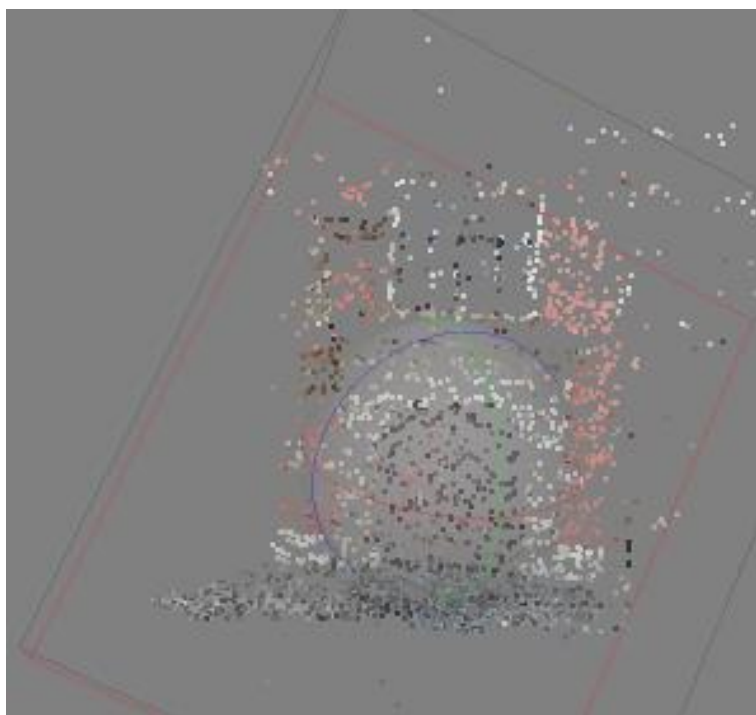
Annak érdekében, hogy ezt kijavítsam, a mobiltelefonon kívül fényképezőgéppel is készítettem fényképeket, és állványt is felhasználtam hozzá. Így a fényképek készítésének magassága állandó volt, valamint a képek élessége is megfelelő lett. A kézben tartott, mobiltelefonnal történő fényképezés esetében a fénykép készítésekor a kézmozgás miatt számos fénykép életlen lett, azonban ezt újbóli felvételek készítésével korrigáltam, és végül ezeket a képeket használtam fel a fényképezőgéppel nyert adatok helyett.

3. A fényképeket a **Workflow** menü **Align Photos** parancsával összekapcsoltam, így a kamera pozíció meghatározásra, a ritka pontfelhő előállításra került. A folyamat lefutása közel egy órába telt az összes kapu képét felhasználva, ezért úgy döntöttem, hogy a modellezés folyamatát inkább csak egy kapun, annak közel 40 fényképén hajtom végre. A modellezés folyamata minden kapun megegyezik, ezért ezt az egyszerűsítést megengedhetőnek gondoltam. Annak érdekében, hogy az összekapcsolás még gyorsabb és egyszerűbb legyen, a felesleges részleteket kitöröltem a fényképről a maszkolási lehetőségek felhasználásával. Ezen módosítások beiktatásával a kameraállások meghatározásának folyamata 10-15 perccel rövidebb időt vett igénybe.
4. A következő probléma a pontfelhő generálásnál lépett fel, ahol a zero resolution, azaz nulla felbontás hibaüzenet ugrott fel. Ennek megoldásaképp a program egy korábbi változatát, az 1.2-es verziót töltöttem le, amely minden hibaüzenet nélkül el tudta végezni a kiadott parancsot. További problémát okozott, hogy a mélységi szűrést (filter) magasra állítottam, ennek eredményeképp a folyamat lefutása hosszadalmassá vált, valamint számítógépem hardvere nem bírta el ezt a magas szintű terhelést. Ezért a közepes filterezést választottam végül, a végeredmény pedig így is megfelelt a projekt igényeinek, hiszen nagy mennyiségű és részletes képmennyiség állt a rendelkezésemre.

10. Eredmények bemutatása

10.1 Az eredmények elemzése

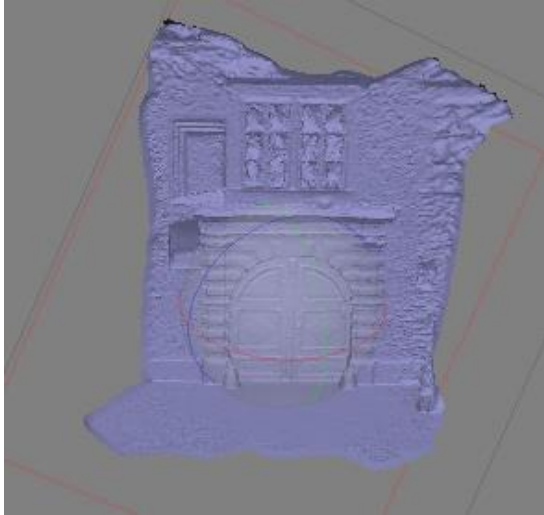
Az eredmények szemléltetésére, megjelenítésére számos lehetőség áll rendelkezésre. A **Point Cloud** (Pontfelhő) lehetőség alatt láthatjuk a pontok elhelyezkedését, azok sűrűségét. A modellezés elején elvégzett utófeldolgozás, a felesleges részletek kiszűrése nem csak sok időt takarít meg, hanem a megjelenítés esetében is sokkal tisztább, esztétikusabb képet ad. Ennek szemléltetésére **mind az eredeti, mind a körbevágott képek feldolgozásakor képernyőképeket készítettem.** Minden esetben az első ábra az eredeti, a második pedig a maszkolt képet mutatja.



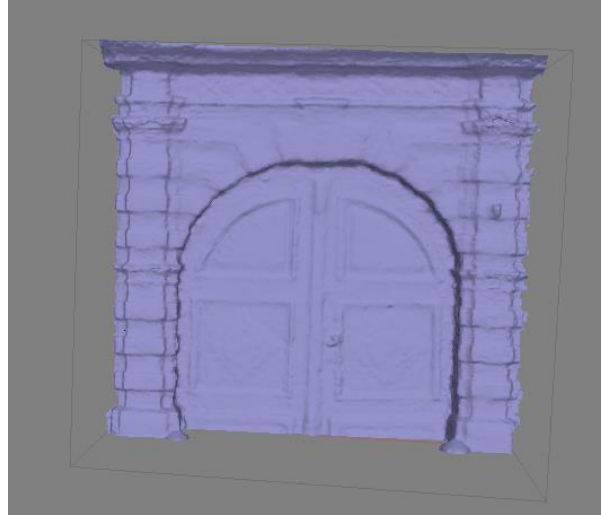
54. ábra: Ritka pontfelhő

Ezen az ábrán a ritka pontfelhő megjelenítése látható, amely alapján egyértelművé válik, hogy a legnagyobb sűrűséggel a kapu és a hozzá tartozó keret, illetve az előtte elhelyezkedő útburkolat került megmérésre. **(54. ábra)** Viszonylag kisebb mennyiségű, azonban jelentős mennyiségű pont áll emellett rendelkezésre a kapu felett található ablakról, illetve a műemlék házról.

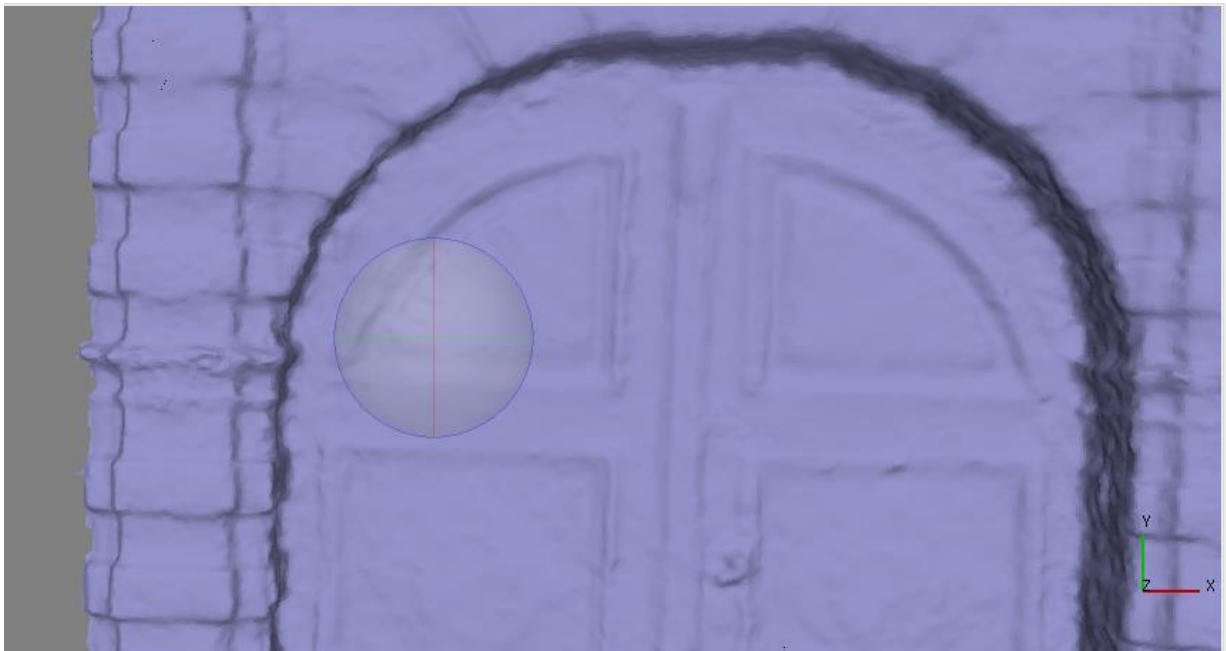
Megjeleníthető a **mesh** (háló) alakzat is, ezen szintén láthatjuk a lefényképezett területet.



55. ábra: Létrejött Mesh eredeti képekből



56. ábra: Mesh (körbevágott képek)



57. ábra: Mesh (körbevágott képek, nagyított)

Szembevető a különbség a két képernyőfotó esetében. Tisztán kivehető, hogy előbbi esetében a járda, a ház falai, és az ablak is szerepel a modellen, holott a szakdolgozat célja kizárólag a kapu és keretének a modellezése. **(55. ábra)** A második képen ezzel szemben gyakorlatilag csak a szükséges részletek vannak ábrázolva, szemléletesebb képet mutatva. **(56-57. ábra)**

A textúra esetében egyes részletek fekete színnel jelennek meg, ezek gyakorlatilag a modell hiányosságára utalnak. **(58.-61. ábra)** Ezen részokról túl kevés pont áll rendelkezésre, így egy lyukat, hibát alkotnak a végeredményben. Szerencsére ezek a kapun kívüli részen, számunkra irreleváns területeken fordulnak elő.



58. ábra: Textúra (eredeti képekből)



59. ábra: Textúra (körbevágott képekből)

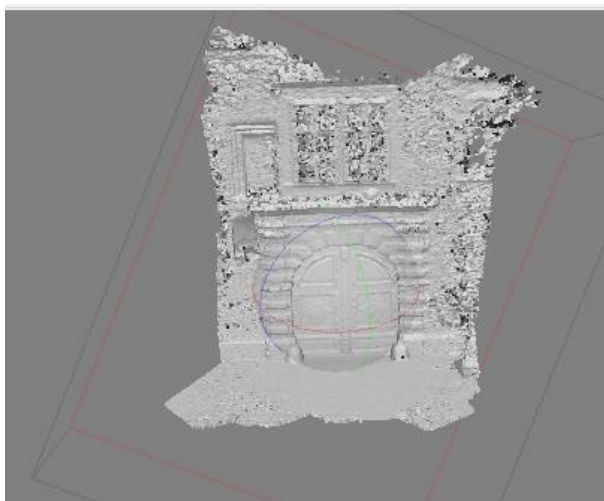


60. ábra: Textúra (körbevágott képekből, nagyított)



61. ábra: Textúra (körbevágott képekből, nagyított)

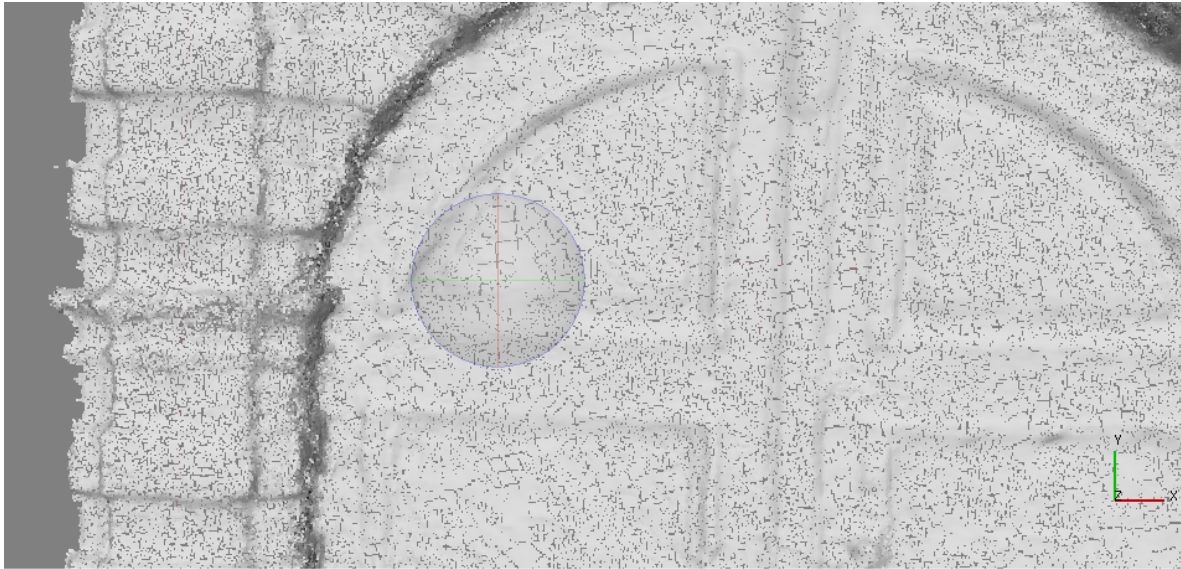
A sűrű pontfelhő elemeinek szemlélésére szintén lehetőség nyílik. (62.- 64. ábra)



62. Ábra: Sűrű pontfelhő (Eredeti képek)

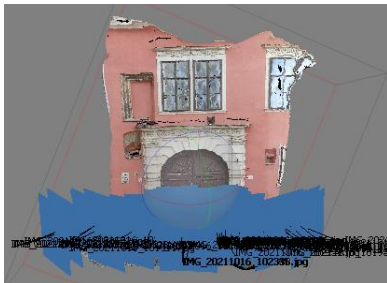


63. Ábra: Sűrű pontfelhő (Körbevágott)



64. Ábra: Sűrű pontfelhő (Körbevágott, nagyított)

Az egyes felvételek esetében meg tudjuk tekinteni a kamerapozíciókat is. (65.- 66. ábra)



65. ábra: Kamerapozíciók



66. ábra: Kamerapozíciók (körbevágott kapu esetében)

Megpróbáltam a modell előállítását 39 kép helyett 25 képből is, és ezúttal a pontfelhő generálásakor a minőséget **Ultra High** (nagyon magas) lehetőségre állítottam. A folyamat lefutása így közel 2 órát vett igénybe, és a laptopom processzorának szinte teljes kapacitását felhasználta. (67. ábra)

Állapot	99% Processzor	77% Memória	21% Lemez	0% Hálózat
Alkalmazások (4)				
Agisoft PhotoScan	47.2%	1 435.3 MB	2.0 MB/s	0 Mb/s
Feladatkezelő	4.2%	29.4 MB	0 MB/s	0 Mb/s
Google Chrome (10)	0%	14.9 MB	0.1 MB/s	0 Mb/s
Windows Intéző	0.3%	20.0 MB	0.1 MB/s	0 Mb/s
Háttérfolyamatok (98)				
64-bit Synaptics Pointing Enhanc...	0%	0.1 MB	0 MB/s	0 Mb/s
A Microsoft Windows Search sz...	0%	1.8 MB	0 MB/s	0 Mb/s
A Windows alapértelmezett záro...	0%	0 MB	0 MB/s	0 Mb/s
Activation Licensing Service (32 ...	0%	0.2 MB	0 MB/s	0 Mb/s
Adobe Acrobat Update Service (...)	0%	0.2 MB	0 MB/s	0 Mb/s

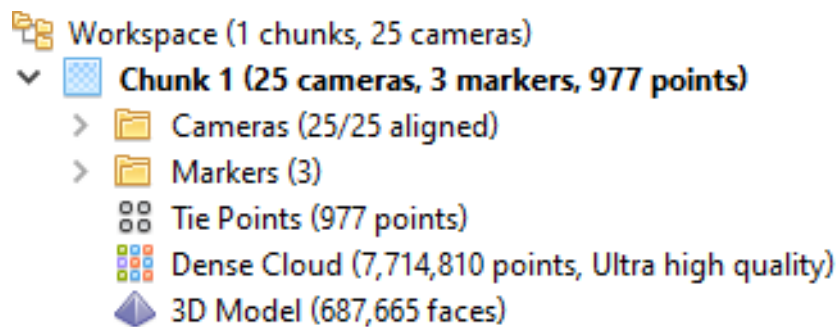
67. ábra: Leterhelt Processzor

A folyamat lefutása után a CPU kihasználtsága jelentősen visszaesett. (68. ábra)

Állapot	41% Processzor	53% Memória	Le...
Alkalmazások (5)			
Agisoft PhotoScan	0.1%	149.8 MB	0 MB
Feladatkezelő	1.0%	30.5 MB	0 MB/s
Google Chrome (10)	0%	50.8 MB	0 MB/s
Paint	0%	27.5 MB	0 MB/s
Windows Intéző	0%	30.7 MB	0.1 MB/s
Háttérfolyamatok (99)			
64-bit Synaptics Pointing Enhanc...	0%	0.1 MB	0 MB/s
A Microsoft Windows Search sz...	1.6%	11.8 MB	0.1 MB/s
A Windows alapértelmezett záro...	0%	0 MB	0 MB/s
Activation Licensing Service (32 ...	0%	0.8 MB	0 MB/s
Adobe Acrobat Update Service (...)	0%	0.8 MB	0 MB/s
Agent Service (32 ...)	0%	0.8 MB	0 MB/s

68. ábra: Processzor leterheltsége a pontfelhő lefutása után

A háló és a szerkezet kiépítése szintén a megszokott időtartam 2-3-szorosára emelkedett. A körbevágott képek által alkotott modellel szemben itt közel nyolcszor annyi, megközelítőleg 8 millió pontot kaptunk a magas minőség beállítása mellett, valamint a létrejövő poligonok száma is több mint háromszorosára, közel 700 000-re emelkedett. **(69. ábra)**



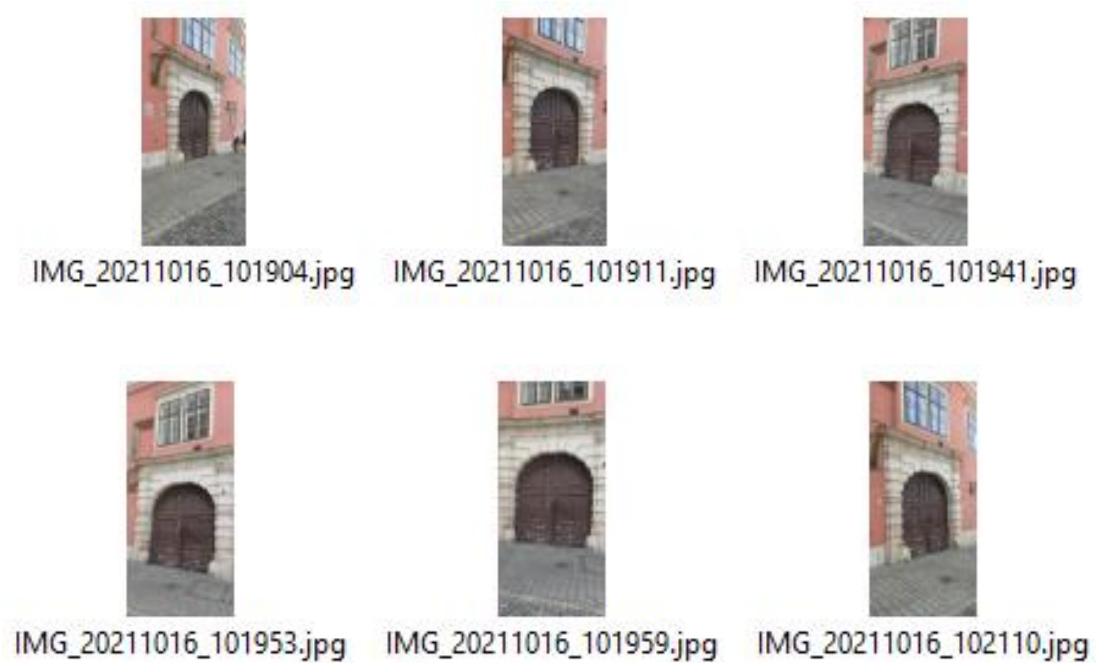
69. ábra: Munkaterület adatai magas minőségű pontfelhő generálást követően

A kapott eredmény minősége mégis elmaradt a korábban bemutatottakhoz képest. **(70. ábra)**



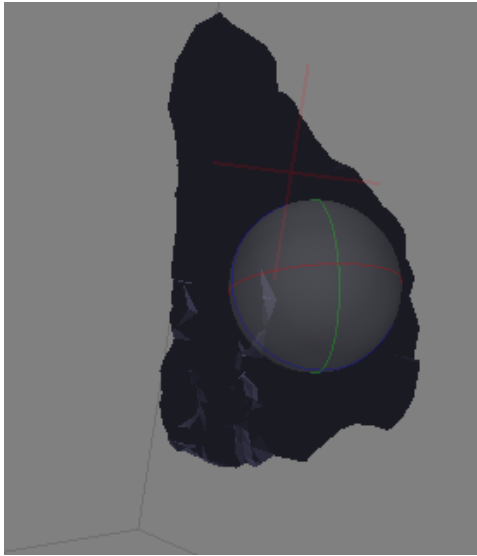
70. ábra: A létrejött, elnagyolt modell

A megfelelő mennyiségű kép fontosságát igazolja az a tény, hogy kevés fénykép alapján nem lehet kellően részletes modellt előállítani. Ennek bemutatására 6 képből is elkészítettem a modellt, amely eredménye messze elmaradt a 39 képből előállított modellhez képest. **(71. ábra)**

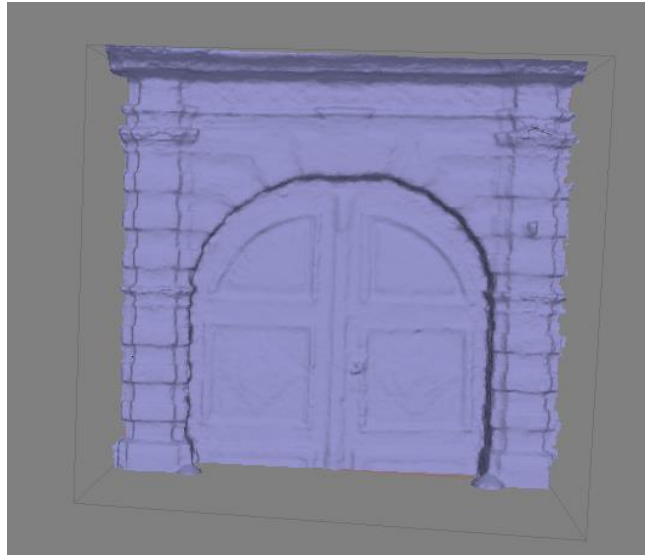


71. ábra: Felhasznált képek a modellezés újbóli lefuttatásához

A **mesh** (háló) teljesen sötét, csak a kapu egy részletét ábrázolja, így gyakorlatilag hasznavehetetlen. **(72. ábra)** A két ábrán látható a 2 kép közötti szembetűnő különbség, mind szín, mind részletesség tekintetében. **(72.-73. ábra)**

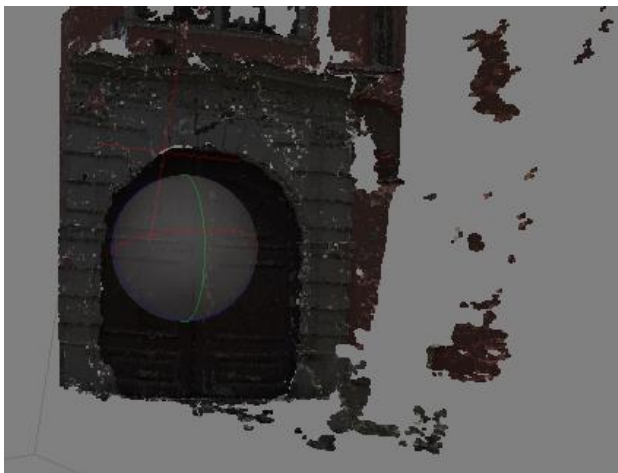


72. ábra: Mesh (6 kép alapján)



73. ábra: Mesh (39 kép alapján)

A sűrű pontfelhő színe is sötét és hiányos, szemléltetési célokra semmiképpen sem alkalmas. A körbevágást a 6 kép alapján létrehozott modellből nem készítettem el, azonban a kapu és a hozzá tartozó keret is lyukas, elnagyolt, hiába láthatóak mindegyik képen ennek részletei. (74.-75. ábra)

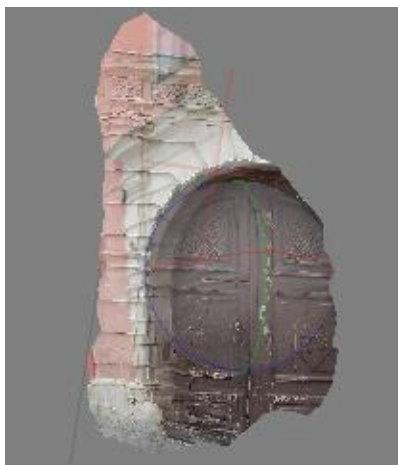


74. ábra: Sűrű pontfelhő (6 kép alapján)
alapján)



75. ábra: Sűrű pontfelhő (39 kép

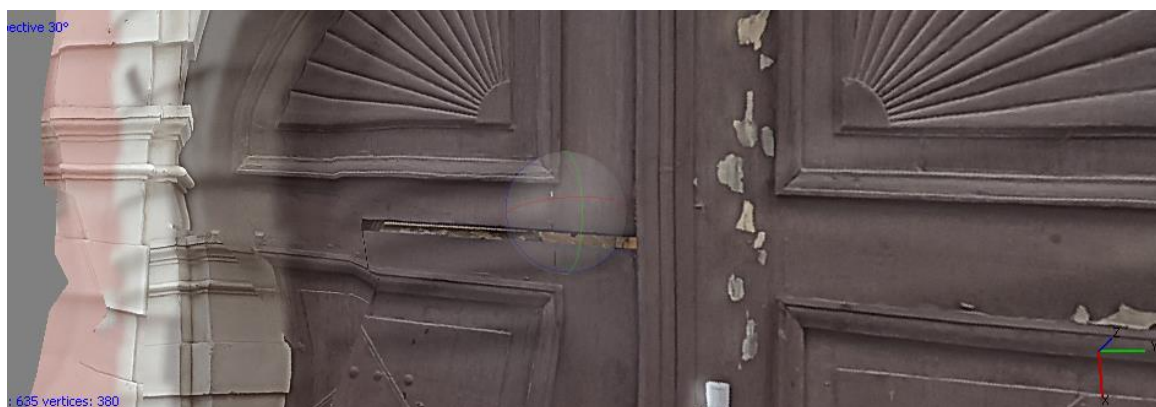
A létrejövő textúra szintén hiányos, a kapu egy részét ábrázolja csak, valamint a létrejött rész is erősen hiányos, elnagyolt. (76.-79. ábra)



76. ábra: Textúra (6 kép alapján)



77. ábra: Textúra (39 kép alapján)



78. ábra: Textúra (6 kép alapján, nagyított)



79. ábra: Textúra (39 kép alapján, nagyított)

Itt láthatjuk a két kép közötti fő különbséget. A 6 kép által előállított modell esetében a kapuhoz tartozó keret esetében a legszembetűnőbb a részletességben rejlő eltérés. **(80.-81. ábra)**

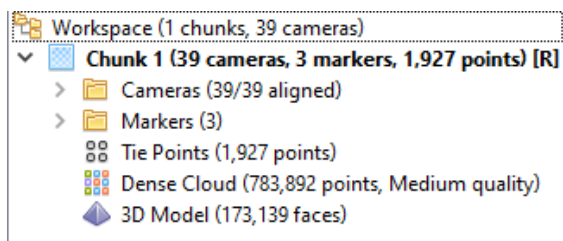


80. ábra: Kapu egy részlete (6 kép alapján)

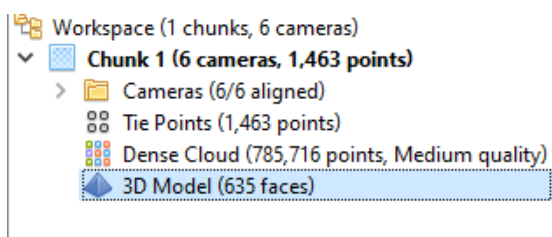


81. ábra: Kapu egy részlete (39 kép alapján)

A kapu kerethez közeli részletei is elnagyoltak, a részletek nehezen értelmezhetőek, kuszák, összemosódtak.



82. ábra: Munkaterület (39 kép alapján készült modell)



83. ábra: Munkaterület (6 kép alapján készült modell)

Végezetül láthatjuk a munkaterület fölön a számbeli eltéréseket is. **(82.-83. ábra).**

A kapcsolópontok és a pontfelhőt alkotó pontok számában nincs lényeges eltérés, azonban a háromdimenziós modell esetében a pontok által alkotott poligonok darabszáma a 39 képből alkotott modellhez képest a 4%-ára, több mint 170 000-ről alig 700 alá csökkent.

Következésképp a modellek közötti eltérésekből láthatóvá válik, hogy kis mennyiségű fénykép alapján nem tudunk kellően részletes végeredményt előállítani.

10.2. A szakdolgozat korlátai, továbbfejlesztési lehetőségek

A szakdolgozat elkészítése közben számos korláttal, továbbfejlesztési lehetőséggel szembesültem.

Mivel nem rendelkezem sem mérőállomással, sem GPS-szel, így a modellt nem tudtam EOV koordinátákkal ellátni. Bizonyos elemek megméréseivel, egyes jellegzetes, jól azonosítható pontok egymáshoz való helyzetét meghatároztam, a közöttük lévő távolságot megmértem, így helyi koordináta-rendszert vettem fel, és ebbe illesztettem a modellt.

Háromdimenziós modell esetében azonban hasznos adatként tud szolgálni egy koordinátarendszerbe, jelen esetben az Egységes Országos Vetületbe való illesztés is. Így a modell helye pillanatok alatt megkereshető az interneten, az azonosítható pontok felhasználásával távolság is számítható a kapu felületén.

Mivel az interneten található koordináták jelentős hibát hordoznak, ezen számításokat inkább saját célra, tájékoztató jelleggel készítjük.

11. Összegzés

Szakedolgozatomnak két fő célja a fotogrammetria műemlékvédelemben betöltött szerepének vizsgálata, valamint egy térbeli modell előállítása volt.

A fényképek készítését 2021. április 6-án végeztem el először okostelefonnal, illetve szeptember 18-án fényképezőgéppel is készítettem felvételeket.

Az elkészített fényképek kevésnek bizonyultak modell előállításához, ugyanis 8-10 fénykép alapján nem tudtam kellően részletes, kidolgozott modellt létrehozni.

A probléma megoldása érdekében később újabb felvételeket készítettem, ezúttal a kiválasztott kapuról 39 fényképet készítve. Nappali időpontban, kiváló fényviszonyok mellett, rögzített fókusz távolsággal végeztem el a fényképezést. A megfelelő megvilágításnak köszönhetően viszonylag alacsony ISO értékkel tudtam dolgozni, viszonylag rövid exponálási idő mellett. A végleges modellt végül az okostelefon képei alapján állítottam elő.

A térmodell elkészítése sokkal időigényesebb, összetettebb folyamatnak bizonyult, mint a fényképezés. A témában számos, részletes leírás található a modellezés folyamatáról, azonban viszonylag kevés információt lehet találni a felmerülő problémák megoldását illetően. Mivel a modell előállítás folyamatának legnagyobb része automatizált, így a hibák megkeresésének esetében a mögöttes okok feltárása még nehezebb.

Bizonyos hibák (elnagyolt modell, hiányos részletek) megszüntetésére elegendőnek bizonyult az újonnan elkészített, nagyobb számú fénykép, az egyéb felmerülő problémák (felesleges részletek, hibás koordináta-tengelyek) megoldását manuálisan végeztem el a szoftverben.

A rendelkezésre álló 39 fénykép növelte a feldolgozandó adatmennyiséget, ezúttal a feldolgozás időtartamát is.

Dolgozatom célja egyúttal a térbeli modellek műemlékvédelemben való felhasználhatóságának vizsgálata is. Mint kutatásaim során kiderült, a háromdimenziós modelleket már évek óta használja a műemlékvédelem, valóban hasznos támpontként szolgálnak a felújítások során.

12. Summary

My thesis had two main purpose: Firstly, I examined the possibility of application of photogrammetry in monument protection and last but not least I wanted to create a three-dimensional model.

I took the first photographs on the 6th April, 2021 with my mobile phone, but later in time, it was necessary to make another measurements. On 18th September, 2021 I took photos with a camera, too.

The photos I took were not enough to carry out my task, because I could not make a precise, detailed model from 8-10 pictures.

In order to solve these problems, I took another photographs, but this time, 39 of them.

I implemented the measurements in daylight, in beautiful sunshine, using fix focal length. Thanks to the ideal light conditions, I could use relatively low ISO values, and short exponential time. I created the model using the photos taken by mobile phone.

However, the creation of a spatial model proved to be a much more time-consuming, more complex process than the photography itself. Despite the fact there are many, detailed descriptions of the process of modeling, only a small amount of data can be found about the problems that can occur during the progress. As most of the process is automatized, finding the reason of the errors is even harder.

In order to solve certain errors (undeveloped model, missing details) taking another photos was the solution, the other problems I encountered (unnecessary details, incorrect coordinate-system) were solved manually in the software.

The higher amount of data increased the duration of the computer work, too.

Another important issue of my thesis was to observe the adaptibility of three-dimensional models in monument protection. As a result of my examinations, these spatial models have been used in this area for many years, eventually proving to be a useful basis during the restoration procedure.

13. Műszaki leírás

A térbeli modellezés folyamatán keresztül igyekeztem bemutatni a háromdimenziós modellek felhasználhatóságát a műemlékvédelem területén.

A városban fényképeket készítettem a Fő tér 4-es szám alatt álló műemlék házról, különböző előmetsző szögekből, és később ezeket a fényképet használtam fel a háromdimenziós modell előállításához.

Az Agisoft Photoscan szoftver megnyitását követően létrehoztunk egy új munkát, majd beállítottuk a mérésre vonatkozó paramétereket (mértékegységek, hibafájl helye, frissítések keresése).

Ezután a készített fényképeket behívjuk, és a kijelölési lehetőségeket felhasználva minden felhasznált kép esetében eltávolítjuk a felesleges részleteket (járda, autók, járókelők).

A képek összekapcsolása, valamint a ritka pontfelhő létrehozása és kamerapozíciók is az **Align Photos** paranccsal történik, majd a **Resize Region/Rotate Region** paranccsal manuálisan szerkeszthetjük a létrejött eredményt. Így képesek vagyunk kizárni a kijelölés ellenére bennmaradt felesleges részleteket, ezeket kézzel eltávolítjuk.

Következő lépésben pontfelhőt generálunk a **Build Dense Point Cloud** lehetőséget választva. A kamerakalibráció eredményét megtekintve láthatjuk a felhasznált kameraállandót is, valamint az objektív elrajzolási paramétereit is.

A létrejött eredményekből rácshálót készítünk a **Build Mesh** paranccsal, majd struktúrát/szerkezetet építünk a **Build Texture** funkcióval. Amennyiben indokolt, még a szerkezet elkészítése előtt tudjuk módosítani, szerkeszteni a modell geometriáját.

A kameraállások pontosításának céljából, valamint a koordináta tengelyek beállításához illesztőpontokat használtam, amelyeket minden képen megkerestem, és megjelöltem. Ezen pontok egymáshoz való helyzete alapján koordináta értékekkel láttam el őket, így a modellt egy helyi koordinátarendszerben tudtam elhelyezni a relatív koordináták alapján.

A végeredményként létrejött modellt kiexportálhatjuk, célszerűen JPG formátumban.

14. Köszönetnyilvánítás

Ebben a fejezetben azoknak szeretném megköszönni a segítséget, akik bármilyen módon hozzájárulnak a szakdolgozatom elkészítéséhez.

Először Balázsik Valéria konzulensemnek szeretnék köszönetet nyilvánítani, aki segített a szakdolgozati téma kiválasztásában, a szakdolgozat tartalmi felépítésében, valamint a modellezés gyakorlati végrehajtásában.

Külön köszönettel tartozom Dr. Veöreös Andrásnak, aki szakmai hozzáértésével segített a szakdolgozat műemlékvédelem részének szakmai háttérében, a dolgozat előrehaladása során folyamatosan visszajelzéseket adott miként érdemes a további fejezeteket kialakítani, és a meglévőket javítani.

Végül, de nem utolsósorban hallgatótársaimnak is szeretnék köszönetet mondani, akik szintén sokat segítettek a dolgozat megvalósulásában.

15. IRODALOMJEGYZÉK

[1.] http://www.sopron.hu/Sopron/portal/front_show?contentId=4839

[2.] https://library.hungaricana.hu/hu/view/SZAK_KOHI_Evk_08_1973_74/?pg=8&layout=s

Magyar Műemlékvédelem, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.

[3.] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Sopron#T%C3%B6rt%C3%A9net>

[4.] <https://helloxiaomi.hu/redmi-note-8-pro-kontra-fenykepezogep/>

[5.] http://ocuplan.com/hirek/szamitogepes-virtualis-3d-modellezes--2-resz/479?fbclid=IwAR3K9iUoe6Fun5w_0gZ49kfVwb1vhQ-64DTJKZ5-jL4MHGS-7-JcSYv3fPw

[6.] <http://ocuplan.com/hirek/szamitogepes-virtualis-3d-modellezes/473?fbclid=IwAR1dxRZczoJ4dcO6AzgPuUp9BaudgRd6NlC3k8VTgWhPFspCTk64woN4vcY>

[7.] https://3drendeer.com/3d-modellezes-folyamata/?fbclid=IwAR3F4K9OZerkuTr5zfYVVGznLNsgZrAVwfQQAjbt_EgryaaNwZ7VG41Z7VY

[8.] <http://www.tuztorony.sopron.hu/index.php/en/2013-05-28-11-40-60/a-varostorony-pusztulas-a-es-ujjaepitese-2?fbclid=IwAR1euSPc0hMp528O1hgXznkNTXm1ybJ0Tl9BmoXpuxXPOTA7UrJKB6xZ7zo>

[9].

https://elmenyektek.blog.hu/2018/03/10/sopron_a_legszebb_europai_kisvarosok_listajan?layout=5&fbclid=IwAR2SIDOOqg9izqyLzA1BX_ho_i0iiDGnwlUn-dNTrMz4f0sbeFcUvEJ6FU

[10.]

<https://conceptartempire.com/what-is-3d-modeling/?fbclid=IwAR0X11HkUKUbGGYSj6vxURtv4WpLAQ1XVKQ54236-iRpmqqRXRzcVsjXkps>

[11.]

<https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software?fbclid=IwAR1FIevE8crAAL-io0SUyh2BeV8TD7oMsq0KXqmsA5erxxDeMrwAd8-HzhE>

[12.] https://www.outsource2india.com/eso/construction/3d-modeling-architecture.asp?fbclid=IwAR15Pe8Z2HsM7sBvLpnD-G_-W7nX-ivMimxgUfkrTxdD0oEowuz0lErDIIA

[13.]

<https://www.takeoffpros.com/2020/04/27/guide-to-3d-modeling/?fbclid=IwAR2T2by2tCMyn2g4Aa7jb-OTkvNx28nJNc3lWjYzaxNt7cFf72BaIXuXhc8>

[14.]

<https://www.cadcrowd.com/blog/why-is-3d-modeling-important-for-product-manufacturing-companies/amp/?fbclid=IwAR2oNFXjhbS55eC-7oVxO4du79adYGWZBTleEYtWGi-DnNJ337ZgiJVcNJU0>

[15.] http://navicom.hu/agisoft/?fbclid=IwAR0BH3-Bb-red8Xl9VxXL465nLVkcMtKn1euRj29QLGhnn_U_3QhnKd-4yk

[16.] <https://www.cadcrowd.com/blog/3d-modeling-uses-9-industries-that-cannot-do-without-it/>

[17.] <https://www.workdrones.hu/szolgalatasaink/foldmeres-teruletfelmeres/>

[18.] https://www.canon.hu/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_1200d/?fbclid=IwAR3YpAId0E-5dgj4eQS77vGcBJCEGT1S8uswgUdCxCRsxVR7T-LhHosADtM

[19.] https://www.photographyblog.com/reviews/canon_eos_1200d_review?fbclid=IwAR0huMUw0SpCD1-N5dO9FBgiDDmdNNCLElwTj8KUg0BO8LwTa1d6n7VcUr0

[20.] https://www.olcsobbat.hu/vasarlasi_tanacsok/tukorreflexes_fenykepezok/1_mi_is_az_a_digitális_slr/

[21.] <http://ocuplan.com/hirek/3d-virtualis-epiteszeti-modellek-a-koszegi-kraft-projekt-tamogatasahoz/669>

[22.] <https://docplayer.hu/39512223-Top-art-technologiai-megoldasok-a-muemlekvedelemben-epiteszetben-feher-andras-mensor-3d.html>

[23.] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOT10/ch01s03.html

[24.] http://index.sopron.hu/belv/foter4.html?fbclid=IwAR2iirehkN3iO8of6RnzAYXLV-LeXauWfPEdBmspBhvmx1YLO0yGjiqD_E4

[25.] Veöreös András: Role of Architectural Surveying in the Process of Monumental Reconditioning. In: Ybl Journal of Built Environment. Volume 7/2, 2019. SZIU Ybl Miklós Faculty of Architecture and Civil Engineering

[26.] Szerdahelyi András: Épülethomlokzatok mérések feldolgozása, 2007.

[27.] Dr. Császár László: A műemlékvédelem Magyarországon, 1983.

[28.] Becht Rezső, Dr. Csapody István: Sopron

[29.] <https://sopronanno.hu/bejegyzes/muemlekvedelmi-europa-dij-sopronnak>

FÉNYKÉPEK

(2. ábra): <https://www.visitsopron.com/hu/reszletek/varfalsetany-es-a-varkerulet>

(5.-6. ábra): https://www.youtube.com/watch?v=T2irO_xBoT0&t=1889s

(7. ábra): https://www.toolfarm.com/buy/agisoft_metashape/

(8. ábra): <http://www.sikter.net/hu.htm>

(9. ábra): <https://www.kisalfold.hu/sopron-es-kornyeke/tuztorony-mar-bontjak-a-toronydarut-video-3398725/>

(10. ábra):
<https://pannonhalma7074.gportal.hu/picview.php?prt=251068&gid=2737059&index=1>

(11. ábra): <http://www.sopronkirandulas.hu/sopron/storno-haz.html>

(12. ábra): <https://blog.bricsys.com/point-clouds-6-scan-to-bim/>

(13. ábra): <https://www.arukereso.hu/mobiltelefon-c3277/xiaomi/redmi-note-8-pro-128gb-6gb-ram-dual-p500631345/>

(14. ábra): <https://www.arukereso.hu/digitalis-fenykepezogep-c40/canon/eos-1200d-18-55mm-dc-iii-50mm-9127b054aa-p220206652/>