



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Műemlékfelmérés földi fotogrammetriai módszerekkel

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Pokorni László

Hallgató törzskönyvi száma: T000603/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Pokorni László

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000603/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Műemlékfelmérés földi fotogrammetriai módszerrel

A dolgozat címe angolul: Monument survey using terrestrial photogrammetric method

A feladat részletezése:

1. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse az alkalmazott geodéziai és fotogrammetriai felmérési módszereket
2. Kijelölt műemléken határozza meg az illesztő- és ellenőrző pontok terepei koordinátáit mérőállomással.
3. Készítsen földi felvételeket a kijelölt műemlékről és hozza létre a pontfelhőt fotogrammetriai kiértékelő szoftverrel.
4. Végezzen pontossági vizsgálatot az illesztő- és ellenőrző pontok segítségével.
5. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezze.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 25.



[Signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Signature: Dr. Jancsó Tamás]
belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: *Budapest*, ...2023.02.08.


hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Tartalom

1.	Bevezetés.....	1
2.	A műemlék dokumentálásának problematikája.....	3
3.	Irodalmi Áttekintés	5
3.1	Elméleti háttér.....	5
3.2	Hazai és nemzetközi példák műemléki célú fotogrammetriai eljárásokra	9
3.2.1	Hazai tanulmányok.....	9
3.2.2	Nemzetközi példák	13
4.	Alkalmazott módszertan	17
5.	Geodéziai felmérés	20
5.1	Alapponthálózat kialakítása	20
5.2	Sokszögvonallétrehozása és részletmérés.....	21
6.	Fotogrammetriai felvételezés	23
6.1	Földi felvételezés.....	23
6.2	Fotogrammetriai modellezés.....	23
6.2.1	Pontfelhő generálás	24
6.2.2	Sűrű pontfelhő generálása.....	26
6.2.3	Felületmodell létrehozása a pontfelhőből.....	27
6.2.4	Domborzatmodell és ortofotó generálás.....	29
7.	Ellenőrző mérések	33
8.	Összegzés	35
9.	Summary	36

10. IRODALOMJEGYZÉK.....	37
11. Táblázatok.....	39
12. Mellékletek.....	42

1. BEVEZETÉS

A fotogrammetria műemléki célokra való alkalmazása nem új keletű eljárás, elterjedtsége a dokumentációs feladatok körében mai napig számottevő, annak ellenére, hogy egyre inkább teret hódítanak a lézeres távmérésen alapuló földi, mobil és légi felvételező rendszerek. Népszerűsége az elmúlt évtizedek során a módszertan folyamatos fejlődésének is köszönhető: az egyre inkább egyszerűsödő és automatizált feldolgozási folyamatok, valamint a felvételezéshez használt eszközök viszonylagosan kedvező ára és könnyű elérhetősége egyaránt segítette, hogy széleskörűen alkalmazott eszköz maradjon, mind a műemlékvédelmi mind a régészeti dokumentációs feladatoknál, a már említett új technológiák mellett. A szakdolgozatom megírása során egy műemlék épület falainak dokumentálása volt a célom, melyhez földi fotogrammetriai felvételezést, valamint az ehhez kapcsolódó geodéziai méréseket és utófeldolgozást kívántam felhasználni.

A felvételezés tárgyát képező földszintes épület, eredeti funkcióját tekintve tűzoltószertár volt, jelenleg pedig a Várkapitányság Nonprofit Zrt. kezelésében főként raktározási célokra hasznosítják. Helyileg Budapest XI. kerületében található, korábban az Osztrák-Magyar Monarchia ruházati ellátásáért felelős katonai tömbjének III. épületegyüttesében, a Daróczi úton helyezkedik el. Az épület a körülötte lévő többszintes épületegyüttesrel együtt az 1900-as évek elején épült, magán hordozva a korszakra jellemző visszafogott díszítést és a funkciójából fakadó ipusztériális megjelenést. Az épületegyüttesről és annak felújításáról az Építészfórumon jelent meg internetes cikk. [1] A cikkben szereplő rövid történeti áttekintés alapján a Magyar Királyi Honvéd Ruháraktárak építését császári dekrétum rendelte el. Az épületek az első világháborút károsodás nélkül vészelték át, azonban a második világháború bombázásai már súlyos pusztítással jártak, amiben az épületek kétharmada érintett volt. Ezt követően a Honvédelmi Minisztérium előbb Ruházati Anyagszertára, majd Központi Ruházati Anyagraktár lett, végül az 1970-es évektől Ruházati Ellátó Központként működött.¹ Kis mérete miatt és annak köszönhetően, hogy majdnem minden oldala szabadon megközelíthető és ezáltal

¹Érdekes, hogy ezen időszakok lenyomataként szinte minden épületen, így a felvételezés tárgyát képező korabeli tűzoltószertár épületén is megfigyelhetők az itt dolgozó emberek téglába vésett és dátummal ellátott nevei.

felmérhető (csak a déli oldal nyugati harmadához csatlakozik egy kétszintes épület) ideális választásnak tűnt a földi fotogrammetriai felvételezéshez. További előnyt jelentett, hogy a tömb többi épületétől eltérően meglehetősen eredeti állapotában maradt fenn, átépítésnek és durva beavatkozásnak nem volt szemmel látható nyoma éppen ezért a szakdolgozatom kiemelt célja volt az épület mind a négy oldaláról torzulásmentes és léptékhelyes ortofotót készítenek és ezen méréseket végezzenek.

2. A MŰEMLÉK DOKUMENTÁLÁSÁNAK PROBLEMATIKÁJA

Egy műemléképület dokumentálása történhet állagmegóvás, rekonstrukció, vagy új funkcióval való ellátás stb. támogatásának céljából, vagy pusztán tudományos kutatás alapját képező kiindulópontként. A műemléképületekkel való munka összetett, nagy szaktudást igénylő feladat, aminek alapja egy minél részletesebb és átfogóbb felmérés készítése. Egy több száz éve álló épületen gyakran minden korszak lenyomata felfedezhető az átépítések, funkcióváltások, renoválások miatt. A különböző korszakokhoz tartozó eltérő méretek, formák, színek és textúrák együttesen jelentkezhetnek az épület egyes részein, de ugyanilyen sokszínű lehet egy eredeti állapotban fennmaradt, részletgazdag műemlék is. Ezen részletek mind információt hordozhatnak a későbbi tervezések során így a dokumentáláskor arra kell törekedni, hogy minél kevesebb információ vesszen el ezekből.

Az épületek tömbjének mérete önmagában kihívás elé állíthatja a felmérést végzőt, ami nem csak a külső homlokzat falsíkjait tartalmazhatja, hanem a belső falak felmérésével is kiegészülhet. Elegendő csak a több méter magas várfalakra gondolni, vagy a kastélyok nagy belmagasságú belső tereire. Gondot jelenthetnek a nehezen hozzáférhető, nagy magasságban lévő részletek és a falakat felépítő kő vagy téglák dokumentálása is rendkívül nehézkessé válhat nagy felületen. A homlokzatot és a belsőfalakat borító gyakran meglehetősen gazdag díszítés szintén kihívást jelenthet, akár egy teljes felsíkot beborító freskó, akár egy aprólékosan kidolgozott plasztika esetében.

Minden műemlékkel kapcsolatos munka első lépése tehát a tervezéshez szükséges adatok gyűjtése és a beavatkozás előtti állapot megörökítése. A műemléki dokumentáció során jelentkező kihívások megfeleléséhez korábban csak a hagyományos módszerekre lehetett támaszkodni. Ezek azonban sokszor korlátozott hatékonyságú és nehézkes eszközöket jelentettek. A papíralapú kézi rajzok készítése hatékony és rugalmas megoldást jelent a könnyen hozzáférhető kisebb kiterjedésű részletek megörökítéséhez, viszont a folyamat rendkívül időigényes, a mérőszalagos mérés alkalmazása miatt pedig csak korlátozott pontossággal végezhető el a mérések. További gondot jelent az információhordozó eszköz sérülékenysége a terepi munka során és az utólagos digitalizálással járó munka mennyisége is. A fényképek készítése már olyan eszközt jelent, ami pillanatok alatt hűen adja vissza az egyes részleteket

nagyméretű felületek esetén is. Hátránya azonban az, hogy a kép készítésének módja miatt torzulások lépnek fel a kép egyes részein, emiatt önmagukban alkalmatlanok mérések elvégzésére. A geodézia alapvető fontossággal bír a műemléki dokumentáció metrikus és térbeli adatainak rögzítése során. A lézeres, bármely felületről visszaérkező jelnek köszönhetően ráadásul a nehezen megközelíthető részokről is szabadon végezhetők a markáns pontok bemérése. A korlátot ebben az esetben a felmért pontok túl nagy száma jelenti, ugyanis átláthatatlanná és követhetlenné teheti a terepen készített manuálé későbbi értelmezését, valamint többnyire csak a markáns, nagy térbeli egységeket lehatároló pontok bemérése végezhető el hatékonyan. A hagyományos technológiák mellett, tehát nagy szükség van az olyan lépték és torzulásmentes állományok készítésére, ami nagy felületekről is megfelelő hatékonysággal és pontossággal, hűen ábrázolják az épület egyes részleteit is, ebben nyújtanak segítséget a szakdolgozat tárgyát képező fotogrammetriai eljárások.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 Elméleti háttér

A fotogrammetria a távérzékelés témakörébe tartozó tudományág, mely a fényképek mérésekre vonatkozó felhasználását jelenti. Segítségével a terepi objektumok metrikus és minőségi tulajdonságairól egyaránt információt nyerhetünk. A Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság megfogalmazása szerint:

„A fotogrammetria a tárgyakról és környezetünkről származó hiteles információk beszerzésének tudománya és technológiája oly módon, hogy rögzítjük, mérjük és értelmezzük a fényképeket, valamint az elektromágneses spektrum egyéb jeleit.” [2]

Az információ szerzésének eszköze a fényképezés, ami kezdetben speciálisan erre a célra készített mérőkamerákkal történt, manapság azonban a légi (drónos) és földi felvételezésben egyaránt a fotogrammetriai szempontból amatőr fényképezőgépek kerültek túlsúlyba. A kamera a tereptárgyakról beérkező látható fényt a több lencséből álló objektíven keresztül összegyűjti és a szenzor felé továbbítja, ahol a 3 dimenziós tér 2 dimenziós képként képződik le. A szenzor érzékelői a beérkező elektromágneses sugárzás intenzitását mérik és a képet pixelekre bontva rögzíti. A szenzor mérete és az érzékelők sűrűsége határozza meg, hogy milyen fényviszonyok között és milyen felbontásban képes a képek rögzítésére. Általánosságban elmondható, hogy minél nagyobb a szenzor mérete annál inkább alkalmas a fotogrammetriai felvételezés céljaira. Jó példa erre az ún. *full frame*-es fényképezőgépek, melyek képérzékelőjének mérete 36x24 mm. Előnyük, hogy rossz fényviszonyok között is jó minőségű képek készíthetők, valamint kicsi a mélység élesség és kevesebb zajjal terheltek a képek.²

A kezdeti analóg és analitikus eljárásokat az utóbbi évtizedekben felváltotta a digitális felvételeken alapuló korszerű kiértékelő fotogrammetriai szoftverek használata. Az analóg fotogrammetria egy korai kiértékelési mód, amit elsőként alkalmaztak a fotogrammetriai eljárások során. Analóg fényképek és optikai-mechanikai kiértékelő műszerek segítségével

² Ilyen érzékelőket találunk például a korszerű DJI Zenmuse P1 típusú drónok kameráiban is.

kerül rekonstruálásra a képet, a rögzítés pillanatában létrehozó, felvételezési sugárnyaláb. A fotogrammetriai modellezés ebben az esetben optikai-mechanikai alapokon nyugszik. Az analitikus és félanalitikus eljárások során a kiértékelés szintén analóg képek alapján történik analitikus műszerekkel. Az analóg kiértékeléssel ellentétben azonban a képpont és a terepi pont közötti kapcsolatot már matematikai összefüggések írják le. A 20. század második felében, a számítógépek térnyerésének hála lehetővé vált a megnövekedett számítási kapacitás felhasználása a fotogrammetriai kiértékelések során, a végeredmény pedig már digitális formátumban is elérhetővé vált. Ehhez szükség van a képek tárolására és feldolgozására szolgáló és nagy számítási kapacitással rendelkező számítógépre (workstation). [3]

$$\xi = -c_k \frac{r_{11}(X_G - X_O) + r_{21}(Y_G - Y_O) + r_{31}(Z_G - Z_O)}{r_{13}(X_G - X_O) + r_{23}(Y_G - Y_O) + r_{33}(Z_G - Z_O)}$$

$$\eta = -c_k \frac{r_{12}(X_G - X_O) + r_{22}(Y_G - Y_O) + r_{32}(Z_G - Z_O)}{r_{13}(X_G - X_O) + r_{23}(Y_G - Y_O) + r_{33}(Z_G - Z_O)}$$

3.1. egyenlet: Kollineár egyenletek [4]

A fotogrammetriai modellezés alapfeltétele a képek közötti átfedés megléte, ennek mértéke függ a felvételezendő területtől és a választott eszköztől. Általánosságban elmondható, hogy legalább 60%-os horizontális, vagy másnéven bázis irányú átfedés és 25%-os vertikális átfedés szükséges az egymással szomszédos képek között. Annak érdekében, hogy a fotogrammetriai szoftver segítségével a nyers felvételekből torzulásmentes ortofotó jöhessen létre több, ma már nagyrészt automatizált lépésből álló folyamatnak kell végbe mennie. A folyamatot fotogrammetriai modellezésnek hívjuk és a szoftver kollinearitási egyenletek³ megoldása révén küszöböli ki a felvételeket terhelő hibákat. A lépések száma és felosztása szoftverenként változhat ugyan, de általánosságban hat-hét fő pontra bontható.

Kamera kalibráció

A kamerák felépítéséből fakadóan a lencse görbült felülete miatt torzító hatás lép fel a képeken, ami szabályos hibának tekinthető. Első lépésben ennek a korrigálása és a kamera belső

³ A fotogrammetriai modellezés során gyakran alkalmazott egybevágósági egyenletek gyűjtőneve. Segítségével megadható például a képpont és a terepi pont közötti kapcsolatot leíró térbeli helmert transzformáció. [7]

geometriájának meghatározása történik meg az automatikus kamerakalibráció segítségével. A kamera belső geometriáját leíró adatok pl. a képfőpont és a vetítési centrum távolságát (másnéven fókusz-távolság) laboratóriumi mérések alapján határozzák meg és a kamera kalibrációs jegyzőkönyvben rögzítik. Miután a szoftver meghatározta a kamera belső geometriáját a képkordináta rendszerből a térbeli pixelkoordináta rendszerbe tér át. Ezt a lépést összefoglalóan belső tájékozásnak nevezzük.

Automatizált kulcspontkeresés

A kalibrációt követően képenként önállóan végzi a szoftver a kapcsolópontok, másnéven tie pontok keresését. A kapcsolópontok olyan vizuálisan jól beazonosítható részletei a képnek amelyek képen belüli pozíciója nagy pontossággal megállapítható. Beazonosításuk korábban manuálisan történt, ma már a korszerű szoftverek automatikusan végzik el ezt a lépést. A szoftver a kép egy adott területét vizsgálja és a szomszédos pixelek intenzitás értékei alapján eldönti, hogy az adott részlet diszkréten elkülönül-e a környezetétől és ezáltal jól beazonosítható-e. Az intenzitás a képi pixel által a kép készítésekor a szenzorba érkező fény mennyiség függvényében rögzített és megjelenített érték. A szürkeárnyaltos felvételek esetében a megjelenítés általában 256 szintű skálán történik, ahol a zérus a fekete, a 255 pedig a fehérnek felel meg. A teljes képre vonatkozó intenzitásértékek gyakoriságát a hisztogram összesíti és jeleníti meg. A következő lépésekben ezek közül a kapcsolópontok közül kerülnek ki a képek egymáshoz képesti relatív tájékozási adatainak meghatározásához szükséges kapcsolópontok.

Ritka pontfelhő létrehozása.

A képek közötti horizontális átfedés révén a szoftver előbb sorokat, majd a vertikális átfedés alapján a sorokból tömböket állít elő. Az átfedő képrészleteken a korábban meghatározott kapcsolópontok felhasználásával történik a homológ pontpárok összepárosítása, melyek a kölcsönös tájékozáshoz szükségesek. A homológ pontpárok párosítása különböző alakfelismerő algoritmusok segítségével valósul meg, a legtöbb szoftver a Structure from Motion (SfM) eljárást alkalmazza erre a célra. Az algoritmus lényegében az eltérő irányból készített képek között fellépő parallaxis jelenség alapján, a képsorok összetartozó pontjainak mérésével a síkbeli képkordináta-rendszerből a térbeli modellkoordináta-rendszerbe tér át. A

folyamat végeredményeként jön létre a ritka pontfelhő melyben a képekhez tartozó pontok már magassági koordinátával rendelkeznek. [5]

Illesztőpontok megadása

Az eddig taglalt számítások kizárólag a kamera belső geometriai adataiból és a képek között fellépő parallaxis jelenségből indultak ki. Ezen számításokból származó hibák kisebb nagyobb torzulásokat eredményeznek a pontfelhő geometriájában, melyek korrigálásához, valamint a vetületi koordináta-rendszerbe történő áttéréshez illesztőpontok szükségesek. Az illesztőpontok vagy GCP-k (Ground Control Points) olyan ismert koordinátájú pontok melyek a kapcsolópontokhoz hasonlóan jól beazonosíthatók a képen és a terepen egyaránt. A képek térbeli pozíciójának megadása három koordinátával és három elforgatási szöggel történik. Ezt a lépést összefoglaló néven abszolút tájékozásnak nevezzük, amihez kiegyenlítő számítások alkalmazása szükséges. A szoftverek által alkalmazott sugárnyaláb kiegyenlítési eljárás⁴ során a képek külső tájékozási paramétereit⁵, az illesztőpontok kiegyenlített koordinátáit és a kapcsoló pontok koordinátáit együttesen számítja a program. A lehető legjobb megoldás megtalálása érdekében a legkisebb négyzetek módszere⁶ kerül alkalmazásra a teljes tömbre vonatkozóan. [6]

Sűrű pontfelhő előállítása

A geometriailag korrigált és vetületi rendszerben elhelyezett pontfelhőt a sűrű pontfelhő előállítása követi az úgynevezett MVS képalkotó módszert (Multi-View Stereo) segítségével.⁷ A folyamat gyakorlatilag egy fotogrammetriai pontsűrítés, ami a pixelek mélység értékeinek

⁴ A tömböt alkotó összes képhez tartozó sugárnyaláb egyidejű tájékozásából és a megfelelő sugarak metszésének előállításából áll. [6]

⁵ Másnéven külső adatok, összesen hat adatot tartalmaz: a vetítési középpont három koordinátája a tárgykoordináta rendszerben, valamint a képsík helyzetét megadó három elfordulási szög. [15]

⁶ Olyan iterációs eljárás, ami segítségével megbecsülhetjük az ismeretlen paramétereink értékeit és minimalizálhatjuk a számítás hibáit. [7]

⁷ A számítógépes látás és számítógépes grafika területén alkalmazott módszer. Több kép elemzését végzi el annak érdekében, hogy háromdimenziós reprezentációt hozzon létre.

számítása révén valósul meg. Ahhoz, hogy egy pixelből térbeli pont váljon legalább két képen kell szerepelnie.

DDM és ortofotó generálás

Utolsó lépésként kerül sor a már torzulásoktól mentes, mérésre alkalmas ortofotó generálása. A vetületi koordinátákkal rendelkező felszínmodell felhasználásával a szoftver vetítés útján könnyedén elő tudja állítani a digitális domborzat modellt (DDM). A DDM minden egyes pixelének magasság értékeit a szoftver összekapcsolja a képek pixelközéppontjainak síkkoordinátaival és a bilineáris interpoláció segítségével meghatározza a pixel térbeli pozícióját. Ebből meghatározásra kerül a pixel térbeli pozíciója. A pixel középpontjából egy egyenes vonalat húz a kamera vetítési középpontjához. Az ezen az egyenesen lévő pixel hozzárendelésre kerül a helyreállított kép aktuális számított pixeléhez. [7]

$$g_{\xi', \eta'} = \left(1 - \frac{\xi'}{\Delta} - \frac{\eta'}{\Delta} + \frac{\xi' \eta'}{\Delta^2}\right) g_1 + \left(\frac{\xi'}{\Delta} - \frac{\xi' \eta'}{\Delta^2}\right) g_2 + \left(\frac{\eta'}{\Delta} - \frac{\xi' \eta'}{\Delta^2}\right) g_3 + \frac{\xi' \eta'}{\Delta^2} g_4$$

3.2. egyenlet: Bilineáris interpoláció [4]

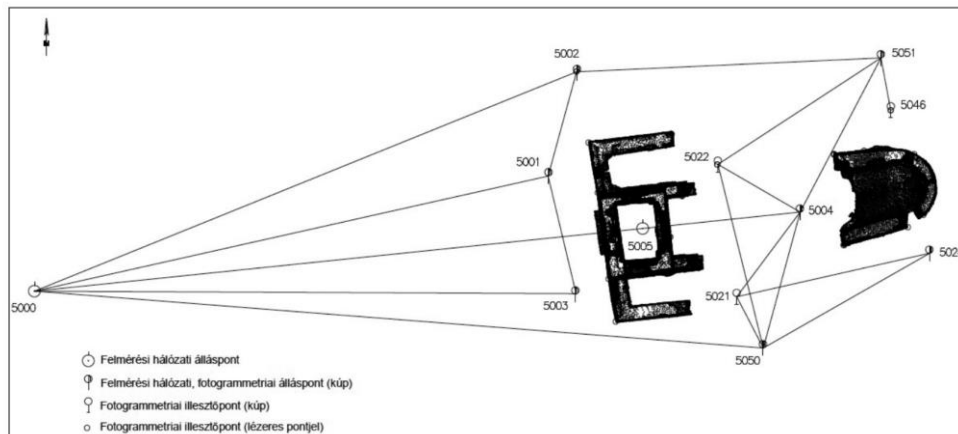
3.2 Hazai és nemzetközi példák műemléki célú fotogrammetriai eljárásokra

A szakdolgozatomban ezen fejezetében a fotogrammetriai eljárások gyakorlati alkalmazását mutatom be néhány hazai és nemzetközi tanulmányon keresztül. A választott tanulmányok közös eleme, hogy a műemléki dokumentációhoz szükséges kiinduló, illetve az azt kiegészítő adatok gyűjtéséhez földi fotogrammetriai módszerek kerültek alkalmazásra.

3.2.1 Hazai tanulmányok

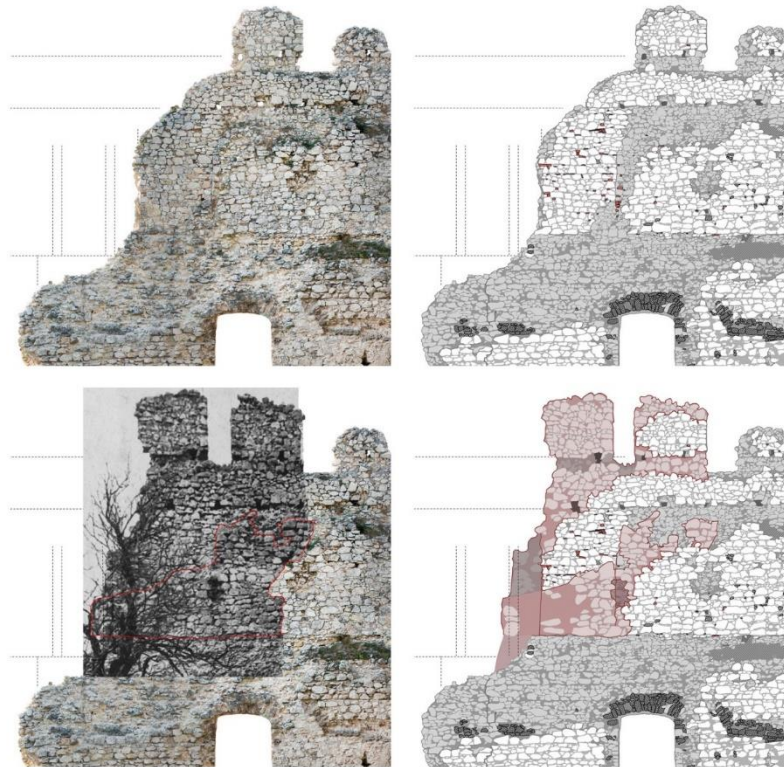
A magyar határtól néhány kilométerre, a romániai Bihar megyében található tamáshidai bazilikarom dokumentálásával kapcsolatos 2018-ban készült tanulmány részletes leírást ad a földi fotogrammetriai felvételezés lépéseiről. A munkálatok célkitűzése a megrendelő számára az Árpád korban épült bazilika tömbjének építészeti felmérése volt, ami alaprajzokat, metszeteket és homlokzati rajzokat foglalt magába. Az épület mérete és a felmenő falak magassága miatt légi és földi felvételezéseket egyaránt végeztek. A geodéziai alapponthálózat 11 felmérési pontból állt, amit kiegyenlítést követően a helyi nemzeti (román) rendszerbe

illesztettek. A 41 darab fotogrammetriai illesztőpont poláris pontméréssel (közvetlen lézeres) került rögzítésre az épület falainak markáns pontjain. A kamera tengelye a földi felvételezés esetében leginkább vízszintes, míg a légi fényképek a felszínre merőleges irányban fedték le a rom terület teljes területét, beleértve a falak belső felületét is. Nikon D3200 és Sony DSLR-A350X fényképezőgépet használtak, amikkel közel 1000 felvételt készítettek 35 volt légi felvétellel kiegészítve.



3.1. ábra: Felmérési hálózat álláspontjai a tamásbázilika körül [8]

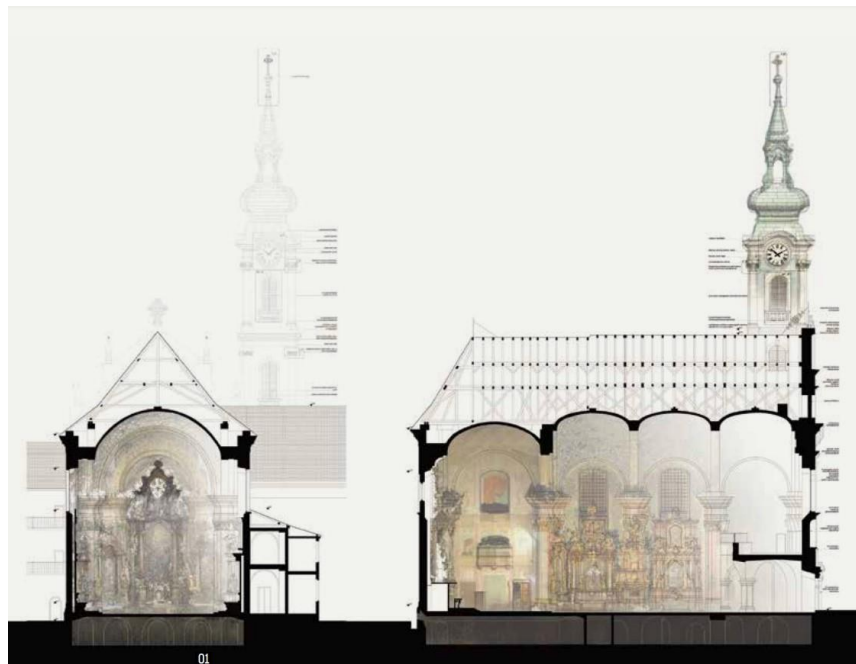
A fotogrammetriai kiértékeléshez és modellezéshez a PhotoModeler UAS szoftvert használtak. A feldolgozás alapterméke a rombazilika 50 millió pontot tartalmazó háromdimenziós térmodellje lett. Az előállított digitális térmodell standard középhibája 10 milliméterben lett meghatározva. A már rendelkezésre álló térmodellt kiindulási alapként használva a következő levezetett termékeket állították elő: a rombazilika alaprajza 1,50 m magassági szinten, függőleges metszetek, amiket a modell vízszintes és függőleges irányú metszésével hoztak létre, valamint a homlokzati falsíkokról készített ortofotók. A kész termékeket mind a virtuális térben (CAD szoftverek), mind a valós térben megjelenítették (3d nyomtató). A tanulmány kiemeli azt, hogy a hagyományos technikákkal idő, pénz és munkaigényesen lehetett volna felmérni az épületet az alaprajz bonyolultsága és az épület méretei miatt és valószínűsíthető, hogy a modern fotogrammetriai felméréshez képest nem érte volna el annak a pontosságát. A kapott modell lehetővé tette a tervezők számára a későbbi munkafázisok során, hogy további terepmunka nélkül bármilyen térbeli információhoz hozzájussanak: metszetek, alaprajzok és egyéb térbeli adatokhoz. [8]



3.2. ábra: Falszövet felmérés a Vitányvár várának faláról készült ortofotó alapján [9]

Szintén hazai példa a Komárom-Esztergom vármegyei Vitányvár kutatásához kapcsolódó dokumentáció. A vizsgálat elméleti módszertani alapja az ún. épületkutatás másnéven „Bauforschung”, aminek a lényege az adott épület történetének összetett kutatása, magában foglalva a falak vizsgálatán kívül az archív dokumentumokat, történeti és művészettörténeti adatokat is. Ehhez a vizsgálati módszerhez részletes terepi dokumentációra volt szükség. Mivel egyéni kezdeményezés részeként valósult meg a kutatás ezért nem volt lehetőség a hagyományos dokumentációs eljárások alkalmazására a vár falainak mérete és magassága miatt. Mérőállomás segítségével az ismert geodéziai alappontok alapján az épülettől független mérőrendszert alakítottak ki. Földi DSLR kamerát és légi felvételezést is alkalmaztak, de manuális vázlatokat is készítettek annak érdekében, hogy a geometriai adatokon túl a többi kvantitatív jellegű apróbb részlet is rögzítve legyen (fal színe, finomabb eltérések, anyagváltozások). A földi fotogrammetriai felmérést akadályozta a rendelkezésre álló szűk tér, ezért nagy átnézeti képek nem voltak készíthetők. Ebből kifolyólag az első eredményeknek számító ortofotókon torzulások jelenteztek a falak felső részein, ahol korlátozott volt a rálátás.

Kihívást jelentett továbbá az összetett, több síkugrást tartalmazó, amorf kiomlásokkal tagolt falakról való adatgyűjtés. A feldolgozás után a generált ortofotókból mérethelyes vektor alapú, értelmezett rajzokat készítettek, ezáltal a vár periodizációjára vonatkozó új megállapítások megfigyelésére és rögzítése nyílt lehetőség. [9]



3.3. ábra: A Budai Szent Ferenc sebei templomról készült képkompozit [10]

Az első két tanulmánytól eltérően a harmadik hazai példa kevés módszertani adatot szolgáltat, azonban a végtermékként előállított informatív és látványos képkompozit miatt érdemesnek találtam megemlíteni. A Budai Szent Ferenc sebei templom felújításának tervezési munkához kapcsolódó felmérés célja a koncepció alkotás volt, amely során a cél a templom környezetében elfoglalt helyének újra definiálása a szomszédos szintén műemléki védettség alatt álló épületekhez igazodva. Az épület külső és belső részéről is készült fotogrammetriai felmérés, amelyből egy származtatott vektor rajz lett előállítva. A végtermék egy olyan kompozit, amelyen egyszerre van megjelenítve az épület szerkezeti elemeit tartalmazó műszaki vektoros rajz és a falfelületek jelenlegi állapotát bemutató ortofotó, ezáltal látványos és informatív ötvözetét mutatva be az eltérő típusú adatok megjelenítésének. (2.3. ábra) [10]

3.2.2 Nemzetközi példák

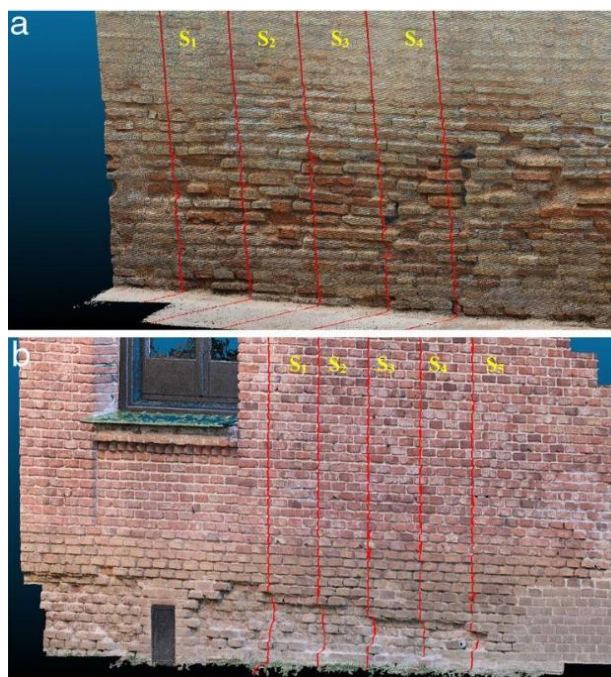
Európa déli, mediterrán területei bővelkednek műemlékekben emiatt nem véletlen, hogy szép számmal lehet találni nemzetközi példákat ebből a térségből. Az első általam választott, 2019-ben megjelent tanulmány négy védett ókori építmény dokumentációját mutatja be Görögország területéről. A szerzők a hatékony három-dimenziós terepi dokumentációs eljárásokat különböző régészeti és örökségvédelmi kutatásokra igyekeztek felhasználni. Egyik fő céljuk az adott történeti korszakra jellemző munkadíjak és anyagköltségek kalkulációja (emberi, állati, valamint szállítás) és számítások elvégzése az épületek vizsgálatán keresztül. A tanulmány bevezető részében egy szalamiszi kora hellenisztikus lakóház (Oikia Theta) falainak felméréséről kapunk leírást, amit közvetlen lézeres mérőállomásos mérés felhasználásával végeztek el annak érdekében, hogy bemért pontok térbeli vonalakkal való összekötésével már a terepen rendelkezésre álljon egy háromdimenziós vonalrajz. Ezt ötvözték fotogrammetriai felvételezéssel, amihez légi drónos felvételeket is rögzítettek. A földi illesztőpontok bemérése GPS vevő és mérőállomás segítségével történt. A fotogrammetriai feldolgozáshoz összesen 208 képet használtak fel, melyből 41 darab volt légifotó. A modellezés a Structure-from-Motion technika alkalmazásával történt. A GPS pontatlanságából adódó méretarány torzulásokra egy fém négyzethálót használtak az adatok korrigálása érdekében. A tanulmány kiemeli, hogy a mérőállomás vonalrajza fotogrammetriával párosítva nagyon jól használható volt az épület tömegének és építészeti paramétereinek vizsgálatához. A tanulmány második felében egy dél- (Tiryns) és nyugat-görögországi (Menidi) késő bronzkori sírkamra felmérését mutatja be. A sírkamrák nagy kőtömbökből álló falának dokumentálása túl időigényes lett volna a hagyományos geodéziai eszközökkel, ezért gyakran csak szemmagasságig alkalmazták a hagyományos kézi rajzokat, a többi esetben a földi fotogrammetriai módszerekre támaszkodtak. A tiryns-i kamra esetében összehasonlították a fotogrammetriai modellt a több száz korábban létrehozott, előző kutatásokból származó kézi vázrajzokkal, amik átlagosan 6 mm-es eltérést mutattak a vizsgálatra kijelölt pontok esetében. A tanulmány kiemeli, hogy a modell a továbbiakban is hasznosnak bizonyult a konzerválási munkák előkészítése során. [11]



3.4. ábra: Tiryns-i sírkamra belső részét ábrázoló metszeti és felülnézeti ortofotója [11]

A második választott tanulmány helyszíne a nyugat-törökországi Biga félszigeten elhelyezkedő Apolló Smintheus tiszteletére emelt templom környezete. A tanulmány célja két és háromdimenziós koordináták kinyerése volt a templom megmaradt oszlopairól. Ehhez digitális képek felhasználásával földi fotogrammetriai eljárásokat alkalmaztak. Az adatokat örökségvédelmi dokumentációs és konzerválási célokra kívánták felhasználni, valamint további célkitűzés volt, hogy a háromdimenziós állományok VRML (Virtual Reality Modeling Language) formátumban is elérhetőek legyenek a könnyebb bemutathatóság érdekében. A felmérés során különböző távolságokból több mint 150 fényképet készítettek egy Canon EOS 350D digitális kamera segítségével. A kamera 28 milliméteres fókusz távolságú lencsével rendelkezett és a mérést megelőzően az Isztanbuli Műszaki Egyetemen lett kalibrálva, aminek a folyamatára röviden ki is tér a tanulmány. A tanulmány érdekessége, hogy mindössze 15 darab fénykép lett kiválasztva a fotogrammetriai kiértékeléshez (az alkalmazott szoftver neve Pictran volt). Maga a geodéziai felmérés egy Topcon GTS-225 mérőállomással végezték el 33 illesztőpont felmérésével, lokális rendszerben. A kész modell mindössze alig több mint 1000

pontból állt, ennek ellenére a tanulmány kiemeli a részletes és tiszta adatnyerést, amit a 3D modell szolgáltatott a műemlékről. [12]



3.5. ábra: Granada és Madrid műemlék tégláépületeinek faláról készített pontfelhők részletei [13]

Az utolsó bemutatásra kerülő tanulmány témája Spanyolország Granada (Puerta Elvira) és Madrid (Residencia de Estudiantes) tégláépületeinek kulturális örökségvédelméhez kapcsolódik. Puerta Elvira egy 11. századi erődítmény kapuja, ami téglából, döngölt földből és kőből készült. A Residencia de Estudiantes ezzel ellentétben egy újkori, négy épületből álló madridi épületkomplexum. Az épületeket felépítő téglák kémiai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata (porozitás, környezeti hatások) a tanulmány elsődleges célkitűzése. A vizsgálatok az épületeket ért mechanikai és kémiai sérüléseinek feltárására koncentrált. A fotogrammetriai felmérés is ezekre a leginkább sérült területekre korlátozódott a falak körülbelül két méteres magasságáig. A tanulmány egy egyszerű, de szigorú módszert javasol a műemlék épületek felszíni recessziójának felmérésére és előrejelzésére. A módszer valószínűségi bayesi megközelítésen alapul, amely a legvalószínűbb felületi recessziós mintázatot azonosítja digitális fotogrammetriai adatok segítségével. A Bayes-féle megközelítés egy feltételes valószínűség vagy valószínűségi konstrukció, amely lehetővé teszi új információk

kombinálását a meglévő információkkal: feltételezi és folyamatosan frissíti a paraméterek vagy adatok valószínűségi eloszlásának változásait.

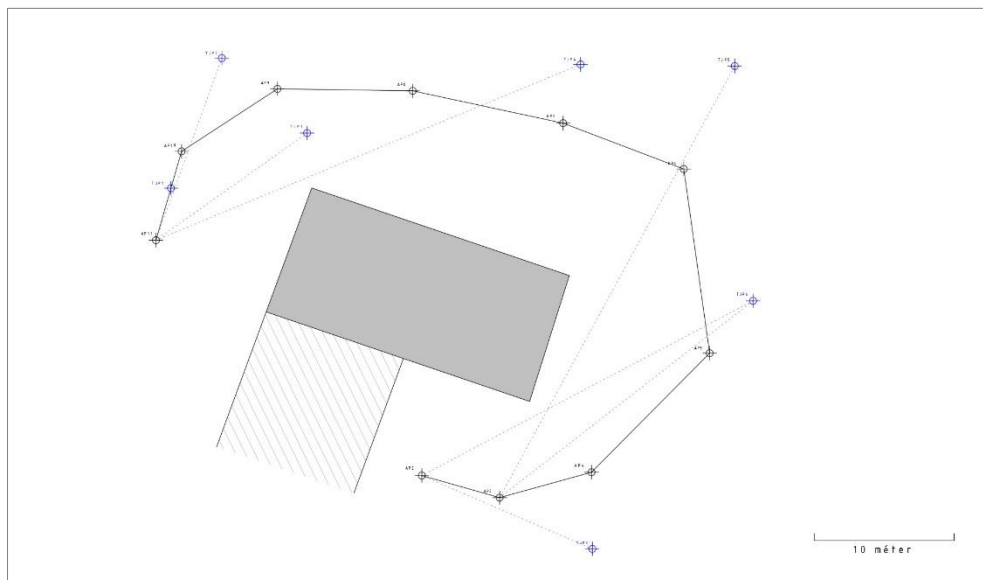
Magáról a fotogrammetriai felvételezés pontos menetéről nem kapunk információt, a szerzők megemlíti azonban, hogy Nikon D7200 digitális fényképezőt használtak 18 mm fókusztávolsággal, a fotogrammetriai modellezéshez pedig Agisoft Metashape szoftvert használtak. A pontfelhő létrehozása után került sor az adott falrészleten jelentkező degradáció geometriai adatainak rögzítésére, majd CloudCamper szoftver segítségével profilokat nyertek ki az érintett falszakaszokról. Mintázat felismerés révén következtetéseket vontak le a sérült és erodálódott részletek mélységéből a falmagasság függvényében. Kiemelik, hogy a módszer esetében jelentékeny bizonytalansággal kell számolni. A tanulmány jó példája az egyéb tudomány területekkel való együtt működésnek. [13]

4. ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN

Ahogy a példaként hozott tanulmányok ismertették, a fotogrammetriai modellezés és az ortofotó létrehozása többlépcsős, összetett folyamat részeként valósul meg. Mind a fotogrammetriai, mind a geodéziai feladatok egy terepi munkarészre és egy irodai utófeldolgozásra bonthatók. A gyakorlati tervezés ezeknek a feladatoknak a számbavételével és a technikai megvalósításuk meghatározásával kezdődött. Ahhoz, hogy a fotogrammetriai eljárás során mérhető és térben elhelyezhető modellel rendelkezzenek, illesztőpontokra másnéven markerekre volt szükségem. Mivel az épület négy falsíkáról kívántam ortofotót készíteni, ezért célszerű volt a markereket is ezeken a felületeken elhelyezni. Az első terepszemle alkalmával az épület vakolatlan téglafalainak vizsgálatakor úgy ítélt meg, hogy jelölő eszköz, illetve tükröződő fólia alkalmazása nélkül is kiválaszthatók olyan markáns, jól elkülönülő pontok, melyek könnyen azonosíthatók lesznek mind a geodéziai mérés, mind az irodai utófeldolgozás során. Az illesztőpontokat igyekeztem úgy meghatározni, hogy oldalanként kilenc-kilenc darab legyen egyenletesen elosztva az adott falfelületen. Minden oldal esetében három-három darab pont került a szélekre (az épület sarkainak közelébe), valamint a maradék három pont a falsík közepére. Fontos szempont volt, hogy a pontok ne csak vízszintes, hanem vertikális irányban is egyenletesen helyezkedjenek el, ezért a pontokat egyvonalban, egymás fölött igyekeztem kijelölni: egyet a lábazati részen, egyet a homlokzat középvezetében és egyet az ereszt vonalának magasságában. A terepszemle során minden oldalról készítettem felvételeket abból a célból, hogy ezeken jelöljem a markerek elhelyezkedésének tervezetét. A pontokat az adott oldal égtájainak megfelelő kezdőbetűvel és egytől kilencig terjedő számozással láttam el.

Miután az illesztőpontok helyzetei adottak voltak elkezdődhetett a geodéziai tervezés folyamata. Mivel a célom az épület falainak dokumentálására szorítkozott ezért a legegyszerűbb és egyben a várható legkevesebb hibával terhelt módja a markerek lokális, helyi rendszerben való felmérése lett volna. Azonban szerettem volna kihasználni a lehetőséget arra, hogy a környező épületek megfelelő távolsága miatt GPS mérések felhasználásával térben is elhelyezhető legyen az összeállítandó modell. Az épület déli oldalának takart helyzete miatt célszerűnek tűnt kétszeresen tájékozott sokszögvonal alkalmazása melyet kiegészített a GPS

mérések során létrehozandó alapponthálózat. A tervezett alapponthálózat létrehozásának a célja, hogy alapot szolgáltatson a sokszögvonal tájékoztatóhoz, minél több lehetőség adódjon a sokszögvonal egyes álláspontjairól történő tájékoztatásra. Az alapponthálózat pontjait irány és távolság mérések sorozatával terveztem kiegyenlíteni. A sokszögvonal az épület nyugati oldala mentén az északi majd a keleti oldal megkerülése után fordul be a takart déli oldalhoz. Minden markert legalább három álláspontból terveztem felmérni ezért a sokszögvonalat úgy igyekeztem kijelölni, hogy minden sarokra kerüljön egy-egy álláspont, oldalanként pedig legalább kettő. Ennek eredményeképpen 11 álláspontból álló sokszögvonal jött létre (AP1-AP11).



4.1. ábra: A tűzoltószertár tömbjének (szürke sraffozás) és a hozzá délkeletről csatlakozó kétszintes épület vázlata (vonalas sraffozás). Az épület körül vezetett sokszögvonal álláspontjai (fekete színnel) és az alapponthálózat pontjai (kék színnel).

A fotogrammetriai felvételezést egy középkategóriájú digitális fényképezőgéppel terveztem végrehajtani. A falaktól számított felvételezési távolságot öt méterben határoztam meg. Az alacsony ereszmagasság miatt a képeket egy-egy sorban elegendő volt elkészíteni, a tervezett távolságból ugyanis számítani lehetett, hogy a képmezőbe belefér a homlokzat lábazattól az ereszig tartó része. Ebből kifolyólag a képek közötti 70 százalékos horizontális átfedés biztosításán túl a vertikális átfedést nem kellett figyelembe vennem. Oldalanként 10-15

darab képpel számoltam előzetesen, mely kiegészült a sarkok irányából készített képekkel annak érdekében, hogy az oldalak ne csak külön-külön, hanem egy összefüggő modellt alkossanak az utófeldolgozás során. Már előzetesen látható volt, hogy további kiegészítő felvételekre is szükség lesz az épület körüli vezetékek és egyéb csatlakozó tereptárgyak miatt. Leginkább az északi és déli homlokzaton lévő esővédő tetők takarása és a nyugati oldalra felhalmozott nagyméretű kőhalom közelsége miatt. Az utófeldolgozás során ezek az épülettartozékok törlésre kerülnek a generált pontfelhőből és ahhoz, hogy az általuk kitakart falrészletről is rendelkezzen információval, szükségesek voltak ezek a plusz felvételek.

5. GEODÉZIAI FELMÉRÉS

A geodéziai mérést egy Leica TS13 típusú robotmérőállomással és Leica GRZ4 360 fokos prizmával végeztem el. Az alapponthálózat pontjainak meghatározására egy szintén Leica márkájú GNSS vevőt használtam, ami GS07 antennával és CS20 típusú controllerrel rendelkezett.

5.1 Alapponthálózat kialakítása

Az alapponthálózat létrehozásának első lépéseként megjelöltem az előzetes tervek szerint a felmérendő pontok helyét az aszfalton, három pont esetében pedig az épület déli oldala mellett lévő füves területen nagyméretű HILTI szegeket ütöttem le. A hat alappont (TJP1-TJP6) az épület keleti, északi és nyugati oldala mentén a falakhoz meglehetősen közel (a telep sűrű beépítettsége miatt) kb. 8-15 méteres távolságra helyezkedtek el. A mérés kétfordulós volt 100-100 epocha értékkel, közöttük néhány óras várakozással. A mérések között kikapcsoltam a műszert. A környező épületek megfelelő távolsága miatt mindenhol alkalmas volt a műholdakra való rálátás, valamint a belvárosi elhelyezkedés miatt a korrekciós jel mobilhálózaton történő fogadása sem okozott sehol sem gondot.



5.1. ábra: Az épület felmérésekor készült felvétel

Másnap a délelőtti órákban végeztem az alapponthálózat kiegyenlítésére szolgáló méréseket, ezzel is csökkentve a légrezgés okozta hibát. A mérőállomással irány és távolság mérést hajtottam végre minden alappontról az összes belátható alappontra, lokális rendszerben. A mérőállomást robot üzemmódban használtam. Az adatok feldolgozását és a hálózat kiegyenlítését GeoCalc szoftver segítségével végeztem el. Első lépésként szövegszerkesztő és Microsoft Excel segítségével megfelelő formátumú *txt* fájlt hoztam létre a műszerről kimentett nyers *xml* fájlból. Az adatok GeoCalc-ba hívását követően beállítottam a vetületi redukció értékét, majd a hálózat kiegyenlítés beállításainál megadtam a kiegyenlítés paramétereit. Végül elvégeztem a vízszintes és magassági értelmű kiegyenlítést. A végeredmény egy olyan alapponthálózat lett, amelyben az alappontok két, megközelítően egyenlő szárú háromszöget alkotnak és közöttük több irány és távmérés teremt kapcsolatot. Ellenőrzésképpen az alapponthálózat által kijelölt terület közepén mérőállomással szabad álláspont mérés módszerével elvégeztem a tájékozást az összes alappont felhasználásával: elsőként a kiegyenlítés előtti koordinátákkal, majd a kiegyenlített koordinátákkal is (1. táblázat).

5.2 Sokszögvonal létrehozása és részletmérés

A mérés napján a szomszédos épület felújítása miatt fokozódott az épület keleti oldalán a mérést zavaró tényezők száma ezért célszerű volt a mérést a sokszögvonal ide eső végével kezdeni (AP1-es álláspont). Mivel nem állt rendelkezésemre két műszerláb és a prizma kényszerközpontosítására szolgáló közdarab, ezért a mérőállomás robot funkciója és prizma segítségével hajtottam végre a műveletet, megjelölve az egyes álláspontok helyét az aszfalton. A mérőállomás bekapcsolásakor első lépésként meg kellett adnom az atmoszférikus viszonyokra vonatkozó adatokat: hőmérséklet, légköri nyomás, páratartalom, majd a lézeres vetítő és a digitális libella bekapcsolásával elvégeztem a pontra állást. A robotfunkció bekapcsolásához rádiókapcsolat segítségével csatlakoztatnom kellett a CS20 kontrollert a mérőállomáshoz. A kontrolleren található Leica vezérlő szoftver meglehetősen felhasználóbarát, magyar nyelvű kezelőfelülettel rendelkezik. Az *Fn* funkciógomb lenyomásával elérhetővé válik az alsó menüsor menüpontjai, a *Műszer* menüpontot kiválasztva megadható, hogy milyen kombinációban szeretném használni a mérőállomást és a GNSS vevőt. A *TS* (Total Station) opciót kiválasztva érhető el a mérőállomás távolivezérlésű robotfunkciója.

Ebben a felállásban ugyanis a mérőállomás pontra állását követően kizárólag a kontroller segítségével elvégezhető a tájékozás és a részletmérések is. Miután létrejött a csatlakozás létrehoztam egy új munkaállományt, másnéven *Job*-ot, amiben a mérések eredményeit tárolni fogom. Az adatok rögzítése tehát nem a mérőállomáson történt, hanem a kontroller memóriájában. Ez abból a szempontból is előnyös volt, hogy a kiegyenlített alapponthálózat pontjainak koordinátáit is elegendő volt a kontroller memóriájába importálnom és onnan előhívnom az irányzások alkalmával. A tájékozás elvégzéséhez kiválasztottam az *Álláspont* menüpontot, metódusként pedig az ismeretlen pontról ismert irányra történő tájékozást állítottam be. Az ismert iránynak megközelítően az északi irányt adtam meg minden esetben, ugyanis a műszer vezérlőprogramja nem engedi az álláspont létrehozását valamilyen irány vagy tájékozási pont megadása nélkül, abban az esetben sem, ha lokális rendszerben történik a mérés.

A tájékozás előtti utolsó lépéseként a felső menüsor ikonjai közül kiválasztottam a prizmakövetés beállítását, ezáltal a mérőállomás optikai tengelye folyamatosan a 360 fokok prizma közepén került rögzítésre. Az álláspont beállítását követően a főmenüben kiválasztottam a *Mérés* menüpontot, ahol a mérendő pont nevének és a prizmamagasság megadása után kezdetét vehette a mérés. Minden állásponton elvégeztem az előre- és hátramérést több fordulóban, ezt követte a falon lévő markerek részletmérése, végül a horizontzárás. A kényszerközpontosítás nélküli rúdon elhelyezett prizmas mérésekből kifolyólag minden álláspontnál rögzítettem a műszer és prizma magasságot is. A markerek mérését lézeres felületről visszaverődő jel üzemmódban hajtottam végre. Több állásponton is végeztem irány és távmérést a korábban létrehozott alapponthálózat pontjaira.

Az adatok feldolgozására ismét a GeoCalc szoftvert használtam. Az adatok beolvasását követően az első lépésben a tájékozást végeztem el azokon az álláspontokon ahonnan történt irány és távolságmérés az alapponthálózat pontjaira. Második lépésben a kétszeresen tájékozott sokszögvonala álláspontjainak számítása történt meg (vízszintes és magassági sokszögvonalként egyaránt), amit a részletpontok koordinátáinak poláris számítás útján történő meghatározása követett. Végül elvégeztem a végleges tájékozást is. A számítások eredményét tartalmazó mérési jegyzőkönyvet mellékletben csatolom a szakdolgozatomhoz.

6. FOTOGRAMMETRIAI FELVÉTELEZÉS

A képek készítéséhez egy Fujifilm X10 típusú digitális fényképezőgépet használtam. Ez a típus egy fix objektívvel rendelkezik, gyújtótávolsága 28-122 milliméter közötti intervallumban állítható. A gépben lévő CMOS szenzor mérete $\frac{2}{3}$ ". A fotogrammetriai mérésből fakadóan fontos szempont volt, hogy állandó legyen a képek fókusz távolsága éppen ezért rögzítettem az objektív zoomgyűrűjét.

6.1 Földi felvételezés

A felvételezés napján a fényviszonyok szerencsésnek mondhatók voltak, az égen nagymértékű felhősödés volt tapasztalható, ami kedvező szórt megvilágítást eredményezett. Az épület méreteiből adódóan egyszerűen végrehajtható volt a fotogrammetriai célú fényképek készítése. A felvételezés az előzetes tervek szerint oldalanként történt, ami kiegészült a sarkok irányából készített képekkel. Minden kép esetében törekedtem arra, hogy az adott homlokzatrészlet teljes magasságban beleférjen a képmezőbe, az átfedés pedig legalább 70%-os legyen horizontális irányban, valamint az optikai tengelye az objektívnek megközelítően merőleges legyen az épület falaira.

Az alacsony ereszmagasságnak köszönhetően elegendőnek bizonyult egyetlen sorban elkészíteni a képeket a talajtól körülbelül 160 centiméteres magasságban és az épület falaitól 5-6 méteres távolságra. A kitakart részletek felvételezéséhez szükséges további képekhez a fényképezőgépet lejjebb kellett eresztetni a talaj irányába és megdönteni úgy, hogy az optikai tengely a horizont fölé kerüljön pl. az északi homlokzaton a bejárat rész fölött húzódó esővédő tető kitakarása miatt. A keleti oldalon viszont a falak tövében felhalmozott nagy mennyiségű kőanyag jelentett akadályt, emiatt csökkenteni kellett a felvételezési távolságot és megdönteni a kamera tengelyét annak érdekében, hogy a falnak ezt a részletét is rögzíteni lehessen. Összesen 267 darab felvétel készült.

6.2 Fotogrammetriai modellezés

Az épületről készített képek feldolgozása az Agisoft Metashape nevű szoftver segítségével történt. Ez egy orosz fejlesztésű, széleskörűen alkalmazott professzionális szoftver fotogrammetriai célú modellezésre. A program felépítése meglehetősen felhasználóbarát. Az

előzetes beállításokat a *Preferences* menüpont alatt lehet elérni, a modellezés különböző lépéseit pedig a *Workflow* menü tartalmazza.

6.2.1 Pontfelhő generálás

Első lépésben betöltöttem a képeket az *Add photos* paranccsal, majd az *Align Photos* utasítással megadtam a létrehozandó pontfelhő pontsűrűségére vonatkozó minőségi beállítást: *High*, valamint az egymáshoz összetartozó képek könnyebb feldolgozásához bekapcsoltam a *Generic preselection* opciót. Az egymással átfedő képek tömbökbe való rendezésének összehangolása időigényes feladat különösen a sok képet tartalmazó projektek esetében. Ennek a folyamatban a felgyorsításához a szoftver a *Generic preselection* és a *Reference preselection* opciókat ajánlja fel. Az előbbi esetében az egymással átfedő képek megkeresése először alacsony felbontású paraméterek segítségével történik meg. Utóbbi opció ezzel ellentétben a felvételezés során a képközéppontokhoz rögzített koordináták segítik a folyamat felgyorsítását amennyiben rögzítésre kerültek ilyen adatok. [14] Az így létrehozott pontfelhőn láthatóvá vált az épület egybefüggő területe, mind a négy oldal homlokzatával, leszámítva természetesen a felvételezés tárgyát nem jelentő tetőt. (5.1. ábra) A létrejött pontfelhő pontjainak száma 285 584 darab volt.



6.1. ábra: Kivágat az Agisoft Metashape modellteréből a ritka pontfelhő generálását követően

A pontfelhő geometriájának javítása érdekében és az EOVS rendszerbe történő transzformáláshoz első lépésben minden markert azonosítani kellett legalább egy képen és ellátni a terepi felmérés szerint meghatározott pont névvel. Ehhez rá kellett közelíteni a kép markert tartalmazó részletére és az egér jobb gombjának lenyomásával az előugró ablakon kiválasztani az *Add Marker* műveletet. Miután minden marker azonosításra került legalább egy képen, az így megjelölt pontokat a *Reference* ablak *Markers* paneljében láthatjuk. A markerek többi képen való azonosításához elegendő volt kiválasztani egy adott pontot a felsorolásból és az egér jobb gombjának segítségével a felugró ablakból kiválasztanom a *Select by Photos* opciót. Ezzel a modelltér alatt elhelyezkedő, képeket tartalmazó panelen csak azok a képek jelennek meg, amelyek tartalmazzák az adott markert. A szoftver automatikusan elhelyez egy fehér színnel jelzett marker ikont, ahol tudni véli (megközelítően) a pont helyét a képen. Ezt minden esetben a megfelelő helyzetbe kellett mozgatnom, hogy pontosan azonosításra kerüljön az adott marker. Ezt követően az ikon zöld színre vált. A *Markers* panelon láthatunk információt arra vonatkozóan, hogy milyen pontossággal sikerült meghatároznunk az adott pontot a képeken. Ezt két értékben is megkapjuk: centiméterben és pixelben.

Miután minden pontot, az azt tartalmazó képen azonosítottam, behívtam a geodéziai felmérés koordináta állományát tartalmazó *.txt* kiterjesztésű állományt a *Reference* ablak felső menüsorában található *Import Reference* ikonnal. Ennél a műveletnél van jelentősége annak, hogy a pontfelhőn azonosított pontok elnevezései megegyezzenek a geodéziai felmérés során megadott pont nevekkkel. A szoftver összepárosítja az azonos markereket és ezáltal a pontfelhőt az EOVS rendszerbe transzformálja. Szintén a *Markers* panelben kapunk információt arról, hogy milyen mértékű hiba tartozik az EOVS vetületi rendszerben lévő markerekhez. Ezek a hibák csökkenthetők, ha optimalizáljuk a kamera paramétereit. Ehhez a *Reference* ablak menüsorából kiválasztottam az *Optimize Camera Alignment*⁸ nevű ikont és a felugró ablakon kipipáltam az *Adaptive camera model fitting* opciót. A szoftver ennek megfelelően kiigazítja a pontfelhő

⁸ Ez az opció lehetővé teszi a kameraparaméterek automatikus kiválasztását a megbízhatósági becslések alapján.
[14]

geometriáját, a *Markers* panelen pedig a már kiigazított hibaértékek szerepelnek az egyes markerekre vonatkozóan. (2. táblázat)

A táblázatból kiolvasható, hogy az egyes markerekhez tartozó hibaértékek 0,23 és 1,99 centiméter, valamint 0,96 és 3,9 pixel között szóródtak. Az előbbi értékek átlaga 0,76 centiméter, ami valószínűleg tovább csökkenthető lenne, ha a projekt által támasztott követelmények ezt előírják. Ugyanis, ha külön az egyes oldalanként történik a modellezés és nem a teljes épület tömbjére vonatkozóan, akkor az oldalak mérése közötti ellentmondások nem jelentkeznek hibaként ezekben az értékekben.



6.2. ábra: A tisztítás utáni sűrű pontfelhő

6.2.2 Sűrű pontfelhő generálása

A geometriailag javított és EOVR vetületi rendszerbe transzformált pontfelhőt követően a *Workflow* menüpont *Build Dense Cloud* parancsra kattintva érhető el a sűrű pontfelhő generálásához szükséges beállítások. Itt a létrehozandó sűrű pontfelhő pontsűrűségére vonatkozó minőségi beállításához a *High* értéket állítottam be, a *Depth filtering* paraméternél pedig a *Mild* értéket adtam meg, valamint beállítottam a *Calculate point colors* opciót. A

művelet lefutását követően megjelenik az épület már apróbb részleteit is tartalmazó sűrű pontfelhő (5.2. ábra).

A képek készítésekor nem csak az épület tömbje, hanem az azt körülvevő környezet részletei is rögzítésre kerülnek, emiatt nagyszámú olyan pont keletkezett az állományban, ami nem a felvételezés tárgyát képező épülethez tartozik. Ezen pontok eltávolítására, vagyis a pontfelhő tisztítására több eszközt is felkínál a szoftver. Ezek közül a manuális úton történő ponttörlést választottam, de lehetőség van egy adott pontcsoport tulajdonságai, pl. színe alapján szelektálni a nem kívánatos részeket. A manuális szelektálás három eszközt takar és a felső eszköztárból érhetőek el: *Rectangle Selection*, *Circle Selection* és *Free-form Selection*. Én leginkább a négyzetes és szabadkézi szelektálást részesítettem előnyben. Miután kijelölésre került a zavaró pontok egy csoportja a billentyűzet törlés gombjával egyszerűen eltávolíthatók ezek a pontok. Mivel az épület északi és déli homlokzatán húzódó esővédő féltetők a későbbi munkafolyamatoknál szintén zavaró tényezőként jelentkeznek az alattuk lévő falrészletek kitakarása miatt, ezért az ezekhez tartozó pontfelhő részletek is törlésre kerültek. Hasonló a helyzet az épület északnyugati sarkánál lévő, falhoz csatlakozó csövek és egyéb épülettartozékok belógása miatt. A sűrű pontfelhőt alkotó pontok száma a tisztítását követően 27 285 522 darab lett.

6.2.3 Felületmodell létrehozása a pontfelhőből

A már megtisztított pontfelhő pontjainak felhasználásával létrehozásra került az ún. mesh, másnéven felület modell. A *Build Mesh...* parancs segítségével a pontfelhő generáláshoz hasonlóan beállítottam a létrehozandó model minőségét (*Medium*) valamint kiválasztottam, hogy a szoftver milyen adatforrás alapján készítse el a kívánt felület modelt (*Dense Cloud*), végül a *Surface Type* beállítást *Arbitrary (3D)* opcióra állítottam ugyanis ez a legmegfelelőbb a plasztikus, a tér mindhárom dimenziójában kiterjedő objektumokhoz. Az elkészült felület modell összesen 5 231 340 darab határoló háromszögből állt. A modellt megvizsgálva már kirajzolódnak azok a részletek, melyek a felvételezés pontosságára és minőségére utalhatnak. Az épület homlokzatán ugyanis a korszakra jellemző tagolások helyezkednek el, néhány centiméteres kiugrásként, derékszögű sarkokat eredményezve az épület fő homlokzati síkjával bezárva. Amennyiben túl messziről történt volna a felvételezése az épületnek fenn állt volna a

veszély, hogy ezek az apró kiemelkedő vagy éppen bemélyedő részletek pontatlanul, vagy teljesen elmosódva jönnek létre a generálás során. Jellemző hibának tekinthető, ha az ilyen kisméretű apróbb sarkok a derékszög helyett rézsűsen, elmosódva képződnek le. Ezen részletek szemrevételezése során megállapítható, hogy a modell meglehetősen leköveti ezeknek az apróbb kiugró formáknak is a valósággal megegyező megjelenését, ez alapján helyesnek tekinthető a felvételezéshez megválasztott távolság.



6.3. ábra: Smooth Mesh eszköz alkalmazása a nyugati homlokzat falának részletén

A modell tanulmányozása során azonban megfigyelhetők különböző kisebb nagyobb hibák, melyek többnyire a felvételezés során nehezen elérhető takart részek környezetében jelentkeznek nagyobb számban. Jó példa erre a déli homlokzat nyugati részén található esővédő tető környezete. Habár a féltetőhöz tartozó pontok törlésre kerültek a felszínmodell-generálás

előtt, a féltető mögött takarásban lévő falsíkról a megfelelő szemből készült képek hiánya miatt torzulások és kisebb-nagyobb kitüremkedések jelentkeznek. Ugyanilyen hibák találhatók a többi, hasonló helyzetben lévő falrészletnél. Ennek kezelésére a *Tools -> Mesh -> Smooth Mesh...* eszköz nyújt segítséget. A kijelölő eszközzel kiválasztottam az érintett falsík részletét, majd a *Smooth Mesh...* felugró ablakában a *Strength* opció alatt beállítottam egy 10 és 50 közötti értéket, attól függően, hogy mennyire tért el a valóságban megfigyelhető síktól az adott felület. Az eszköz lefutása után a korábban egyenetlen felület kisimul, jobban megközelítve a valós felületet. (5.3. ábra)

6.2.4 Domborzatmodell és ortofotó generálás

A következő lépésben a felület modellből domborzat modellt, más néven DEM-et állítottam elő. Ez azonban csak nevében tekinthető domborzat modellnek ugyanis a szoftver a már elkészült EOVS helyes állomány felhasználásával képes generálni DEM-et, viszont alap esetben ez egy nadír helyzetű, a vonatkoztatási felületre merőleges irányú vetítésnek tekinthető.⁹ A végeredményként pedig egy az épületet felülnézetből ábrázoló DEM jönne létre. Ezzel szemben a kitűzött célom az volt, hogy mind a négy falsíkról merőleges irányú ortofotó készüljön, amihez szintén egy-egy domborzat modell képezi az alapot, amelyre az ortogonális vetítés elvégezhető.

A felszínmodellen meg kellett adnom azt a síkot, amire már elvégezhető a merőleges irányú vetítés a DEM létrehozásakor. A síkot minden oldal esetében három darab új pont megadásával jelöltem ki annak érdekében, hogy a vízszintes és függőleges tengely is meghatározásra kerüljön. Ennek menete megegyezik az illesztő pontok elhelyezésével, ebben az esetben viszont közvetlenül a felszín modellen és nem a képeken adtam meg a pontok helyzetét. Törekedtem arra, hogy a vízszintes tengelyt jelölő két pont az adott falsík szinte teljes szélességét átfogja, a harmadik pont pedig az előző két pont valamelyikével derékszöget zárjon be. Továbbá ügyelnem kellett arra is, hogy mindhárom pont a fal alapsíkjában legyen, ugyanis ha az egyik pont ettől a síktól a falszakasz valamilyen kiugró (vagy bemélyedő) részén

⁹ A függőleges falfelületekről készített ortofotók esetében kihagyható a DDM generálás lépése, ugyanis közvetlenül a felületmodellről is elvégezhető az ortómozaik létrehozása.

helyezkedik el akkor nem megfelelő irányból, pontosabban nem megfelelően síkra történne a vetítés. Annak ellenőrzésére, hogy a tengelyek megfelelnek a vízszintes és merőleges tengelyeknek, ezen segédpontok koordinátái adtak támpontot. A *Build DEM...* parancsra kattintva a domborzat modell generálására vonatkozó paramétereket a felugró ablakban lehet megadni. A projekció típusát *Geographic*-ról *Planar*-re állítottam, a *Projection plane*-t pedig a kijelölt új pontjaim szerint kellett megadnom, úgy hogy a legördülő listából kiválasztottam a *Markers* opciót. Ezt követően a horizontális és vertikális tengelyeket jelölő pontok kerültek megadásra. Végül a forrás adatnál (*Source data*) kiválasztottam a felszínmodell (Mesh), az interpolációt pedig *Disabled*-re állítottam. Ez utóbbi lépésre azért volt szükség mert, így csak a tényleges modell felületére számol értékeket a szoftver nem próbálja kitölteni a teljes nézetablakot a modell körül valamilyen fals vagy éppen nulla értékekkel. Az elkészült domborzat modell már ortogonálisan ábrázolja az adott homlokzatot olyan módon, hogy a leginkább kiemelkedő falrészletek magasabb, míg a bemélyedő vagy térben hátrébb elhelyezkedő részletek alacsonyabb értékeket vesznek fel, ehhez igazodik a kék és vörös színárnyalatok „domborzatárnyékolás” is.



6.4. ábra: A keleti homlokzat ortofotója

A többlépcsős folyamat utolsó lépéseként a szoftver létrehozza az ortomozaiákat. A *Build orthomosaic...* parancs segítségével a beállítási paraméterek alatt a DEM került

kiválasztásra, mint felület, amelyre a vetítés történt. Minden más érték alapértelmezett maradt. A folyamatjelző lefutása után elkészült az adott falszakasz torzulásmentes ortofotója. A generálás során a szoftver a képek felhasználásával hozza létre az ortomozaikot, a legtöbb esetben helyesen választva meg a legideálisabb képet az adott részlethez, azonban előfordul, hogy homályos, vagy más zavaró részletet tartalmazó kép is bekerül a végleges ortomozaikba. Emiatt jelentkeznek kisebb nagyobb hibák az ortofotó egyes részein, melyre a felső menüsorban található poligonrajzoló eszköz nyújt megoldást. Ugyanis, ha sikerül lehatárolni a hibás területeket, akkor a poligon belsejébe kattintva a felugró ablakból az *Assign pictures* opciót kiválasztva szintén egy felugró ablakban megadhatjuk, hogy melyik képet használja fel az átfedő képek közül a szoftver az eredetileg felhasználásra került kép helyett. Véglegesíteni pedig a felső menüsorban az *Update orthomosaic* eszközzel lehetséges. (5.5. ábra)



6.5. ábra: Az északi homlokzatról készült ortofotó részletének korrigálása

Az elkészült ortofotó exportálásához az *Export* menüre kattintva, a felugró ablakban megadhatók az exportálás paraméterei. Itt állítható be többek közt a képminőségére és a tömörítésre vonatkozó értékek valamint a képsarkok vetületi koordinátáit tartalmazó világfájl beállításai. Ez utóbbira akkor van szükség amikor *jpg* képfarmátumokba történik az ortofotó exportálása, ebben az esetben ugyanis a szoftver a koordináták tárolására egy *jgw* kiterjesztésű fájlt is létrehoz a képfájllal megegyező néven. Az exportált ortofotók ellenőrzésére a képeket AutoCAD MAP 3D műszaki rajzoló programba importáltam. Az AutoCad megnyitását követően a *mapimport* parancs segítségével beillesztésre kerültek a képek. A léptékhelyesség ellenőrzéséhez a felső menüsor, *Vonallánc* parancs kiválasztásával megmérhető az adott képen szereplő falszakasz hosszúsága. Ezek állományok tehát már alkalmasak lehetnek különböző műemléki célú állagmegóvási munkálatok támogatására.

7. ELLENŐRZŐ MÉRÉSEK

Az ellenőrzés célja az elkészült modell és ortofotók pontosságának meghatározása és az esetleges hibák feltárása. Az egyik általam választott módszer az egyszerű hossz mérés, mely a homlokzat és az ortofotó néhány jellegzetes pontja közötti távolság megmérésén és összehasonlításán alapul. A másik kézenfekvő módszer a homlokzat néhány részletpontjának megmérése egy a korábbi mérésektől független geodéziai felmérés segítségével és ennek összehasonlítása a modell azonos pontjaival (értelemszerűen olyan pontokon, amelyek nem szerepeltek a modell létrehozása során illesztőpontként). Míg az első módszer a relatív hossz mérések pontosságát adja meg az ortofotón, addig a másik módszer a térbeli pontosságra vonatkozóan szolgáltat adatokat.



7.1. ábra: Ellenőrző hossz és pontmérések helyei a homlokzatokról készült ortofotók részletén

A hossz mérés első lépéseként mind a négy homlokzatról készült ortofotót AutoCAD MAP 3D szoftverbe importáltam, ahol pontosan megirányozható és mérhető a kijelölt pontok közötti távolság. Oldalanként 2-2 pontpárt jelöltem ki: egy vízszintes és egy függőleges tengely mentén. Igyekeztem olyan pontokat választani, amelyek könnyen azonosíthatók az épület

homlokzatán. További szempont volt, hogy az egyes pontpárok közé ne kerüljön kiemelkedő homlokzati elem vagy dísz, amely megnehezítette volna a pontos mérőszalagos mérést. A terepi és ortofotón mért hossz értékek a 3. táblázatban találhatók. Az egyes hosszmerésekhez tartozó értékek 0,2 és 0,7 centiméter között szóródnak, átlaguk 0,38 centiméter.

Az ellenőrző geodéziai méréshez a modellen kijelöltem a mérendő pontokat (oldalanként három-három pontot), melyeket egyedi azonosító jellel láttam el. A bal oldali *Preferences* menüsávban az újonnan felvett pontok koordinátáit kijelölve egy Excel táblázatba másoltam át. Ezt követően a mérőállomással szabad állásban a már meglévő alappontokat felhasználva elvégeztem a műszer tájékozását. Az összes részletpont megméréséhez a négy oldal miatt négy álláspontot kellett létesítenem. A részletpontok megmérését háromszori irányzással kiátlagoltam. A műszerről történő adatmentés után következhetett a kiértékelés. A terepi és a modellen meghatározott pontok koordinátái közötti eltérés a 4. táblázat tartalmazza. Az egyes pontmérésekhez tartozó értékek Y irányú (Kelet) komponense 0,2 és 1,0 centiméter között, az X irányú (Észak) komponense 0,1 és 0,9 centiméter között, míg a Z irányú (magassági) komponense 0,01 és 0,63 centiméter között szóródik. A három értékhalmozhoz tartozó átlagok sorrendben: 0,75 centiméter, 0,22 centiméter és 0,19 centiméter. Összeségében elmondható, hogy a hossz- és pontmérések egyaránt subcentiméteres értékekkel rendelkeznek, ami már alkalmas lehet a műemlékvédelmi feladatokhoz kapcsolódó munkálatokhoz. Azonban ilyen kis felvételezési területnél ezek az értékek egy nagyságrenddel elmaradnak a mérnökgeodéziai feladatok során elvárt tűréshatártól.

8. ÖSSZEGZÉS

A szakdolgozatom bevezető részében bemutatásra került a fővárosban, a Daróczi úton található monarchiabeli tűzoltószertár épülete, ami a földi fotogrammetriai felvételezésem tárgyát képezte. Igyekeztem átfogó képet nyújtani a fotogrammetriai eljárások elméleti háttéréről, valamint olyan hazai illetve nemzetközi példa tanulmányokat összegyűjteni, amik szorosan kapcsolódnak ehhez a témakörhöz. A szakdolgozat második felében külön fejezetben foglalkoztam az alkalmazott módszertan ismertetéséről és a geodéziai, valamint fotogrammetriai felmérések megtervezéséről. Mind a geodéziai, mind a fotogrammetriai mérések elkülönültek egy terepi és egy utófeldolgozásra. A geodéziai mérés során RTK GPS vevő segítségével létrehozásra került egy alapponthálózat, ami az épület körül vezetett sokszögvonallal kiegészítéseként szolgált. Az épületen kijelölt illesztőpontok robot mérőállomás segítségével poláris pontmérés elve alapján kerültek rögzítésre. Az alapponthálózat kiegyenlítése, valamint a sokszögvonal számítása GeoCalc szoftver felhasználásával valósult meg. A fotogrammetriai felvételezéshez közel háromszáz darab fényképet készítettem az épület mind a négy faláról. A képek feldolgozása és a fotogrammetriai modellezés Agisoft Metashape szoftverben történt meg, aminek a lépéseit külön pontokba szedve mutattam be. A végeredmény az épület falairól készült torzulásmentes ortofotó lett, ami alkalmas további mérések és egy esetleges műemlékvédelmi célú állagmegóvási munkálatok támogatására. A szakdolgozat záró részében elvégeztem a szükséges ellenőrző méréseket, amelyek alapján igazolható volt a létrehozott állományok pontosságra vonatkozó meghatározások.

9. SUMMARY

In the introductory part of my thesis, the building of the former monarchy-era fire station located on Daróczi Street in the capital city was presented, which was the subject of my terrestrial photogrammetric survey. I aimed to provide a comprehensive overview of the theoretical background of photogrammetric procedures and to gather domestic and international case studies closely related to this topic. In the second half of the thesis, I dedicated a separate chapter to describing the applied methodology and the planning of geodetic and photogrammetric surveys. Both geodetic and photogrammetric measurements were separated into fieldwork and post-processing phases. In the geodetic survey, a basic point network was established with the use of RTK GPS receiver, serving as an extension of the polygonal line that led around the building. Control points on the building were recorded based on the principles of polar point measurements using a robotic surveying station. The adjustment of the basic point network and the computation of the polygonal line were carried out using GeoCalc software. For the photogrammetric survey, I took close to 300 photographs from all four walls of the building. The processing of the images and photogrammetric modeling was done using Agisoft Metashape software, which I presented step by step. The end result was a distortion-free orthophoto of the building's walls, suitable for further measurements and potential conservation work for historical preservation. In the concluding part of the thesis, I conducted the necessary control measurements, which confirmed the accuracy of the created datasets.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] N. D. Nikolett, „Építészfórum,” 27 10 2021. [Online]. Available: <https://epiteszforum.hu/megujitja-a-varkapitanysag-a-daroczi-uti-volt-katonai-tomb-epuletet->.
- [2] D. N. Jenő, „Fotogrammetria I.,” Budapest, 1998.
- [3] B. Valéria, „Fotogrammetria 1.: A távérzékelés fogalma, a fotogrammetria és a távérzékelés kapcsolata,” Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [4] D. J. Tamás, „Fotogrammetria 12.: Digitális fotogrammetria,” Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, 2010.
- [5] T. Á. I. Kun Krisztián, „3D digitalizálás ipari drón segítségével,” Innovatív Jarművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, 2021.
- [6] D. E. Péter, „A légi fotogrammetriai technológia,” 2013.
- [7] S. József, „Digitális fotogrammetria segédanyag,” Szeged, 2002.
- [8] M. Erdélyi és A. Csomortányi, „A tamáshidai rombazilika restaurálásának támogatása digitális, nagy pontosságú, fotorealistikus térmodellezéssel,” 2018. [Online]. Available: <https://edit.elte.hu/xmlui/handle/10831/40363>.
- [9] M. Bozsik, „Vitányvár építéstörténeti vizsgálatának módszertani tapasztalatai,” *Architectura Hungariae*, pp. 21-34, XVIII. évfolyam, 1. szám.
- [10] G. Csontos és T. Tóth, „Kiragyogva, a budai Szent Ferenc Sebei templom felújítása,” *METSZET*, pp. 50-57, 2020/5.
- [11] J. Pakkanen, A. Brysbaert, D. Turner és Y. Boswinkel, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage,” 2020.

- [12] Z. D. O. A. G. T. E. Ö. Avşar, „Modelling of the Temple of Appollo Smintheus using photogrammetry and virtual reality,” ITU, Civil Eng. Faculty, Photogrammetry Division, 2008.
- [13] L. G. M. Y. S. L. J. E. H.-M. M. A. E. Menéndez, „Bayesian assessment of surface recession patterns in brick buildings with critical factors identification,” Madrid, 2022.
- [14] „Agisoft Metashape User Manual,” 2023. [Online]. Available: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_2_0_en.pdf.
- [15] D. J. Tamás, „Fotogrammetria 13.: Légiháromszögelés,” Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [16] S. Z. Lehoczky Máté, „Fotogrammetriai feldolgozószoftverek,” 2020. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10831/47276>.

11. TÁBLÁZATOK

Tájékozási pontosság (kiegyenlítés nélkül)	
Kelet minőség (1 σ)	0.03 m
Észak minőség (1 σ)	0.03 m
Magasság minőség (1 σ)	0.04 m
Új tájékozási minőség (1 σ)	0°00'25"
Tájékozási pontosság (kiegyenlítés után)	
Kelet minőség (1 σ)	0.01 m
Észak minőség (1 σ)	0.01 m
Magasság minőség (1 σ)	0.01 m
Új tájékozási minőség (1 σ)	0°00'06"

1. táblázat: Az alapponthálózaton végzett tájékozás kiegyenlítés előtti és utáni értékei

Marker	Projekció	EOV Y (m)	EOV X (m)	EOV Z (m)	Hiba (cm)	Hiba (pixel)
D1	12.00	648511.72	237242.66	119.70	0.39	2.82
D2	16.00	648511.44	237242.91	118.02	0.75	1.01
D3	15.00	648511.61	237242.83	116.27	0.86	1.93
D4	24.00	648506.90	237244.42	119.71	0.43	2.00
D5	26.00	648506.64	237244.68	117.92	0.50	1.43
D6	23.00	648506.79	237244.61	116.26	1.14	2.00
D7	21.00	648503.06	237245.89	119.73	0.53	1.95
D8	30.00	648502.81	237246.21	117.70	1.31	1.85
D9	14.00	648502.95	237246.04	116.28	0.63	2.07
E1	23.00	648514.22	237250.75	119.60	0.74	1.66
E2	26.00	648514.12	237250.77	117.94	1.49	1.22
E3	23.00	648514.46	237250.68	116.38	1.00	1.64
E4	41.00	648508.91	237252.85	119.72	0.28	2.97
E5	44.00	648508.55	237252.76	117.98	0.96	1.27
E6	57.00	648508.45	237252.89	116.31	1.49	1.64
E7	38.00	648498.24	237256.68	119.64	0.48	1.56
E8	49.00	648498.08	237256.71	118.16	0.42	2.16
E9	42.00	648498.03	237256.72	116.60	1.08	1.62
K1	32.00	648511.91	237243.01	119.71	1.02	1.93
K2	32.00	648511.78	237243.02	118.31	0.90	1.14
K3	32.00	648511.83	237243.02	116.37	0.94	1.20
K4	45.00	648513.50	237247.33	119.69	1.07	3.90
K5	42.00	648513.31	237247.39	118.45	0.29	2.84
K6	41.00	648513.40	237247.35	116.38	0.37	1.20
K7	33.00	648514.42	237250.15	119.58	0.87	1.69
K8	35.00	648514.42	237250.25	117.86	0.65	3.29
K9	34.00	648514.39	237250.17	116.68	0.94	2.51
N1	33.00	648497.57	237256.32	119.74	1.00	1.60
N2	36.00	648497.78	237256.49	118.01	0.73	1.49
N3	34.00	648497.76	237256.42	116.70	0.89	0.96
N4	20.00	648495.78	237251.40	119.72	0.85	1.64
N5	35.00	648495.93	237251.42	118.16	0.58	1.49
N6	30.00	648496.16	237251.83	116.68	1.35	1.75
N7	20.00	648495.12	237249.63	119.70	1.99	2.64
N8	14.00	648495.12	237249.45	118.61	0.27	1.48
N9	24.00	648495.31	237249.71	117.22	1.63	3.45

2. táblázat: A modell illesztőpontjainak pontossági értékei

	Távolságmérés a modellen (cm)	Ellenőrző mérés (cm)	A két mérés különbsége (cm)
Nyugati homlokzat			
A - B	170,1	170,5	0,4
C - D	209,9	209,2	0,7
Déli homlokzat			
A - B	153,9	153,7	0,2
C - D	279,6	279,2	0,4
Keleti homlokzat			
A - B	196,8	196,5	0,3
C - D	183,9	184,1	0,2
Északi homlokzat			
A - B	279,6	279,0	0,6
C - D	183,1	182,9	0,2

3. táblázat: A mérőszalagos ellenőrzőmérés adatai

Ellenőrző pontok száma	A modellből levezetett koordináta hármaskok (m)			Az ellenőrző mérés koordináta hármaskai (m)			Az eltérések értékei (cm)		
	EOV (Y)	EOV (X)	EOV (Z)	EOV (Y)	EOV (X)	EOV (Z)	EOV (Y)	EOV (X)	EOV (Z)
C1	648512.452	237251.325	117.966	648512.443	237251.316	117.970	0.83	0.90	-0.37
C2	648508.660	237252.697	116.721	648508.651	237252.695	116.725	0.90	0.21	-0.42
C3	648501.906	237255.214	119.859	648501.896	237255.216	119.853	1.00	-0.16	0.63
C4	648497.253	237254.882	119.260	648497.244	237254.882	119.260	0.92	-0.01	0.01
C5	648496.894	237253.422	117.593	648496.892	237253.417	117.593	0.20	0.51	0.01
C6	648495.588	237250.396	119.550	648495.584	237250.393	119.549	0.40	0.25	0.13
C7	648505.167	237245.311	118.823	648505.160	237245.310	118.823	0.70	0.09	-0.06
C8	648508.476	237244.075	118.472	648508.467	237244.073	118.473	0.91	0.21	-0.06
C9	648510.536	237243.315	117.450	648510.527	237243.314	117.450	0.90	0.09	-0.06
C10	648512.135	237243.932	118.982	648512.128	237243.931	118.984	0.78	0.10	-0.17
C11	648513.010	237246.517	117.785	648513.003	237246.516	117.787	0.78	0.10	-0.16
C12	648514.109	237249.417	117.312	648514.101	237249.416	117.314	0.78	0.10	-0.17

4. táblázat: A mérőállomásos ellenőrzőmérés adatai

12. MELLÉKLETEK

1. Vízzintes hálózat kiegyenlítése – számítási jegyzőkönyv
(alappont_h_magassagi_kiegyenlites.pdf)
2. Trigonometriai magassági hálózat kiegyenlítése – számítási jegyzőkönyv
(alappont_h_vizszintes_kiegyenlites.pdf)
3. Sokszögvonala, poláris pontszámítás – számítási jegyzőkönyv
(sokszogvonal_szamitasi_jegyzokonyv.pdf)
4. Az épület északi falsíkjáról készített ortofotó (eszaki_orto.jpg, eszaki_orto.jgw)
5. Az épület keleti falsíkjáról készített ortofotó (keleti_orto.jpg, keleti_orto.jgw)
6. Az épület déli falsíkjáról készített ortofotó (deli_orto.jpg, deli_orto.jgw)
7. Az épület nyugati falsíkjáról készített ortofotó (nyugati_orto.jpg, nyugati_orto.jgw)