

Fehér András

A visegrádi műemlékegyüttes 3D felmérése és dokumentálása



2024



MÁTYÁS KIRÁLY MÚZEUM
VISEGRÁD

Bevezető

Kulturális emlékeink lézerszkenneres méréséről számos kiváló tanulmány jelent meg az elmúlt 20 évben. Ezek közül is kiemelkedik a Historical England két kiadványa: 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture (Boardman et al 2018) és a Geospatial Survey Specifications for Cultural Heritage. (Andrews et al 2024) Ezekben a tanulmányokban kiválóan rendszerezve és igen nagy alapossággal mutatnak be szinte mindent, amit a technológiákról, módszerekről, tanulságokról tudni érdemes. Jelen írásunkban meg sem próbálunk ezekkel a munkákkal versenyezni. Arra vállalkozunk, hogy hasonló logikát követve mutassuk be a visegrádi műemlékegyüttes felmérését és dokumentálását, amit a Visegrád Reneszánsza fejlesztési programot megvalósító Várkapitányság megrendelése alapján a GDI Magyarország számára végeztünk. Reméljük, hogy a bemutatott projekt hasznos információkkal, példákkal szolgál mindazoknak, akiket a téma érdekel, vagy maguk is dolgoznak hasonló feladatokon.

Elvégzendő feladatok a Királyi Palota, Fellegvár, Alsóvár, Salamon torony, és völgyzárófal helyszíneken:

Felmérés, tervezés: A felmérési, tervezési munka tartalmazza a geodéziai, GNSS, lézerszkenneres, vetített mintás, UAV fotogrammetriai és LIDAR (UAV vagy légi lézerszkenneres) méréseket és azok adatainak a térinformatikai rendszerbe illesztését. Feladat az alkalmazott technológiák tulajdonságainak és technikai paramétereinek elemzése, a projekt követelmé-

nyeinek beazonosítása, eltérések elemzése, ezek dokumentálása. A már alkalmazott és bevezetni kívánt ArcGIS térinformatikai rendszer és azzal kompatibilis, a megvalósítás során igénybe vett szoftverek által kínált funkcionalitás és a megfogalmazott követelmények közötti követelmények elemzése szintén a feladat részét képezik. Az eltérés eredménye alapján, a technológiai, biztonságtechnikai háttér megtervezése. Az integrációs, konfigurációs, fejlesztési tervezés megvalósítása.

Adatfeldolgozás, adatelőkészítés: A geodéziai, GNSS, lézerszkenneres, vetített mintás, UAV fotogrammetriai és LIDAR mérések adatainak feldolgozása, rendszerbe való integrálásának előkészítése. Feladat a különböző mérésekből származó nyers adatok minőségi és mennyiségi ellenőrzése, a megrendelői igényeknek megfelelő és a rendszer működéséhez szükséges formára történő átalakítása, feldolgozása ArcGIS, illetve azzal kompatibilis rendszerkörnyezetben való felhasználhatóság biztosítása.

Rendszerfejlesztés, adatfeltöltés, migráció: A geodéziai, GNSS, lézerszkenneres, vetített mintás, UAV fotogrammetriai és LIDAR mérések adatainak térinformatikai rendszerekbe történő feltöltése, szükség szerinti migrációja. Feladat a migrációs feladatok fizikai megvalósítása az ezt megvalósító szakmai feladatok irányítása, a migrációs stratégia kidolgozása, a migrációs terv és ütemezés elkészítése, a migrációs objektumok azonosítása, majd az adatfeltöltés megvalósítása. Az adatfeltöltés és migrációs eljárásokban feltárt hibák javítása, kapcsolódó dokumentációs feladatok ellátása.

Az előállított eredménytermékek

FELADAT	FORMÁTUM	LEÍRÁS
3D Pontfelhő készítése	E57	EOV koordináta-rendszer, Balti feletti magasság, intenzitás alapú (szürkeárnyalatos)
Geodéziai térkép készítése	DWG	Geodéziai mérőállomással készült felmérés eredményeként
Szintvonalas térképek előállítása	DWG	Négy helyszínt és a köztük lévő területet lefedő, LIDAR adatból származó szintvonalas térképek
Terepmodell	TIFF	Négy helyszínt és a köztük lévő területet lefedő, LiDAR adatból származó EOVS georeferált TIFF
Helyszínrajz	PLA	M=1:500 építészeti helyszínrajz a mért területről
3D UAV modell	OBJ	UAV fotogrammetriai úton előállított 3D modellek
3D Mesh modellek	STL	Szegmentált pontfelhőből készített, az aktuális állapotot tartalmazó 3D felületmodellek
Lapidáriumi kövek modelljei	OBJ	Fotogrammetriai vagy optikai szkennelvel digitalizált 3D felületmodell
Kövek, szobrok, kutak stb.	OBJ	Fotogrammetriai vagy optikai szkennelvel digitalizált 3D felületmodellek
ArchiCAD modellek meglévő állapot	PLA	Meglévő állapot tömegmodellje
ArchiCAD modellek megalapozottan		Megalapozott rekonstrukció M=1:200 - LOD200 modellje
ArchiCAD modellek feltételezeten		Feltételezett rekonstrukció tömegmodellje
Renderek	JPG	4K állóképek, clay renderek
Döntéselőkészítő dokumentáció	DOCX	A jelenlegi állapot bemutatása rajzi és szöveges formában. Megvalósíthatóságot megalapozó dokumentumok elkészítése. A megvalósíthatóság irányainak, a tervezési opcióknak meghatározása.

Mérés

Lefedettség

Minden lézerszkennelési felmérés elengedhetetlen előfeltétele annak előzetes megtervezése, hogy a mérendő objektum digitális mása a feldolgozás után a lehető legteljesebb legyen. A munkafolyamat tervezésekor meg kell határozni a szkennerek álláspontjait, hogy a mérendő épület legnagyobb része a lehető legkevesebb pozícióból legyen mérhető. Ezt a tervet át kell gondolni abból a nézőpontból is, hogy melyek azok a területek, amelyek takarásban lehetnek a növényzettől, tereptárgyaktól, belső térben a berendezési tárgyaktól. A visegrádi méréseket úgy ütemeztük, hogy a látogatók jelenléte a lehető legkisebb mértékben zavarja a digitalizálást, mert későbbi eltávolításuk a pontfelhőből aprólékos, időigényes munka. A völgyzáró fal mérése lehetetlen, illetve értelmetlen lett volna, ha előzetesen a Pilisi Parkerdőgazdaság szakemberei nem végezték volna el a terep több méteres sávban való megtisztítását. Azon ők sem tudtak segíteni, hogy a hegy meredeksége és a talajviszonyok nagyon nehézvé tették a műsze-

res mérést. A Királyi Palota dél-keleti szárnyában, illetve a teljes keleti oldalon a növényzet kiirtását a mérést végző kollégák végezték el. Tapasztalataink szerint hasznos, ha figyelembe vesszük a napszakot, a nap helyzetét, az árnyékokat és a napsütötte, nagyon világos terek változásait. Az épületek magasabb szintjei, a tetők vagy a kedvezőtlen beesési szög miatt a nem belátható részek mérése gondot okozhat. Ilyen esetekben korábban próbálkoztunk hidraulikus emelőkről, vagy állványzatról történő méréssel; mérsékelt sikerrel. A vibrációt, rázkódást nem lehet kiküszöbölni, már csak az eszközt kezelő szakember elkerülhetetlen mozgása miatt sem. Amennyiben a drónnal való repülés, mérés, fotózás megoldható, akkor ez az út a legjobban járható és a leggazdaságosabb a földről végzett mérések kiegészítésére. Javíthatunk a felmérés teljességén fotogrammetriai módszerekkel is. Mindkét eljárás tárgyalására később visszatérünk. A felmérés másik fontos szempontja a szkennelések megfelelő átfedésének biztosítása, ez elengedhetetlen a pontfelhők pontos összeillesztéséhez. Az ortogonális nézet több pontot és nagyobb pontosságot biztosít, mint a tetszőleges szögből vett nézet. Amennyiben csak egy



1. kép A Királyi Palota pontfelhője a NavVis alkalmazásban

szkenelési pozíció lehetséges, illetve különös érdeklődésre számot tartó részt mérünk (a Királyi Palotában ilyen a várkapolna erkélye vagy a kapolna sekrestyéje a Visegrádi Madonnával), érdemes nagyobb felbontásban, hosszabb mérési idővel dolgozni. Növelhetjük a pontfelhő sűrűségét akkor is, ha csökkentjük a szkennert és a mérendő objektum távolságát. Természetesen ezzel növeljük az álláspontok számát és a keletkező adathalmaz nagyságát is. A Királyi Palota mérése megvalósult mobil SLAM (az egyidejű lokalizáció és leképezés rövidítése) szkenneléssel is, ami esetünkben több szkennert és kamerát felhasználásával működik. (1. kép)

Felbontás és pontosság

Fontos döntés a szkennelés megkezdésekor, hogy a szkennert milyen felbontásban dolgozzon, azaz a mintavételezés milyen pontsűrűséggel történjen. Visegrádon négy különböző eszközt használtunk, Leica HDS 7000, Leica RTC 360, Zoller + Frölich Imager 5010 földi lézert szkennereket (TLS) és a NavVis M6 mobil szkennert. Ezek jellemző mérési paramétereit nem egyszerű összehasonlítani egymással; célravezetőbb, ha a tapasztalatainkat osztjuk meg közérthetőbb formában. A jellemző mérési távolság RTC 360 és M6 esetében 50 m, a Leica HDS és az Z&F Imager esetében 80 m. Az RTC 360 kétszer gyorsabban mér, mint a másik két földi szkennert. Utóbbi két típusal különösen magas

felbontás beállítása esetén nagy pontsűrűséggel távoli részletgazdag elemeket is jó eredménnyel lehet mérni. A mobil szkennert megkülönböztetően fontos jellemzője, hogy akár több, mint tízezer négyzetméter belső tér is felmérhető egy munkanap alatt, míg más eszközökkel jellemzően néhány ezer m² a napi határ.

A felbontás értéke jelentős befolyással van a mérés idejére. Ezt azért tartjuk fontosnak részletesebben bemutatni, hogy jobban megítélhető legyen annak a felmérési munkának a nagysága és a mérésnek a technológia adta lehetőségek-ből következő ideje. A mérési idő a felbontás függvényében a Z+F szkennert esetében az 1. táblázatban tanulmányozható.

A táblázatból kiolvasható, hogy a legjobb, kompromisszumos választás a „high”, „super high” felbontás és a „normal”, „high quality” szkennelés idejű mérések között van, tehát egy mérés tiszta ideje 3-13 perc között lehet. Ezeknél kisebb értékeket választva nem lesz elég sűrű a pontfelhő, a nagyobb minőség igényű mérések pedig olyan hosszú időt igényelnek, ami vagy gazdaságtalan vagy nem is kivitelezhető. Például meleg időben, napsütötte helyen történő mérés több órán át nem lehetséges, a műszer felmelegszik, leáll, valamint az egy oldalról érő hőhatás a szkennert állványának elcsavarodását okozhatja. Fenti adatok nem tartalmazzák az eszköznek a következő mérési pontba való szállítását, a műszer biztonságos felállítását,

		szkenelés ideje			
szög felbontás	pixel/360 horizontal @ vertical	„less quality”	„normal quality”	„high quality”	„premium quality”
„preview”	1250	-	0:26 min	-	-
„low”	2500	0:26 min	0:52 min	1:44 min	-
„middle”	5000	0:52 min	1:44 min	3:22 min	6:44 min
„high”	10 000	1:44 min	3:22 min	6:44 min	13:28 min
„super high”	20 000	3:28 min	6:44 min	13:28 min	25:56 min
„ultra high”	40 000	-	13:28 min	25:56 min	53:20 min
„extremely high”	100 000	-	81:00 min	162:00 min	-

1. táblázat Z+F Imager 5010 lézertszkennert szkennelési időtartamai

amennyiben szükséges, az állótengely függőlegessé tételét, a nagyobb távolságban lévő illesztőpontok kiválasztását, valamint a színes felvételek elkészítésének idejét. Visegrádon a Királyi Palota mérése 1912 álláspontból a Fellegváré 618 mérési pontból valósult meg.

A felbontás természetesen a távolság függvényében lineárisan változik. A 10 m távolságban lévő mérendő területen beállított 6 mm-es felbontás 3 mm-nek felel meg az 5 méterre és 12 mm-nek a 20 m-re lévő objektumon. A különböző műszerek pontosságát nehéz összevetni, általában adott hő- és távolság tartományra vonatkoztatva, szögpontosságban vagy távmérési hibában adják meg azt. Számolni kell még a különböző zajértékekkel, valamint azzal is, hogy a megadott értékek a mért felület színétől is függenek; fekete felület mérésekor kisebb visszaverődési érték mellett nagyobbak a zaj értékek. Amennyiben nagy távolságra mérünk a lézersugár széttart, átmérője nő, ezért lehet, hogy a sugár több felületről verődik vissza, ami nehezítheti a pontfelhő helyes értelmezését. A szkennerek pontossága általában 3 mm körül van, ami a 2 cm-es „kőműves pontossággal” összevetve a ritka kivételtől eltekintve elegendő. Amennyiben ennél nagyobb pontosságra van szükségünk, akkor más, precíziós szerkezetmérő szkennereket (Surphaser Scanner) vagy vetített mintás 3D képalkotó technológiát kell használnunk. Visegrádon ilyen eszközzel mértük azokat a faragott köveket, amelyek részletezettsége, kidolgozottsága magasabb szintű volt.

Intenzitás és szín

Az intenzitás és szín információ sokat segít a pontfelhő feldolgozásában. Az intenzitás értéke függ a mért felület színétől, anyagától, fényvisszaverő képességétől, a lézersugár beesési szögétől, a mért távolságtól. A keletkező textúra kép 0-255 közötti értéke csak a megjelenítés miatti redukált érték, a különböző gyártók intenzitás tartománya akár 65 ezer különböző érték is lehet. Az intenzitásérték helyes skálázása nagyban segíti az értelmezést, ennél csak a színes képpel textúrázott pontfelhő lehet hasznosabb, amikor a minden x, y, z, I (Intenzitás) pont R, G, B adatot is tartalmaz. Az általunk

használt színes felvételek készítésére alkalmas szkennerek maguk számolják az expozíció idejét, ami a romló fényviszonyok mellett nagy mértékben növelheti egy álláspont mérési idejét. Egy pozícióból több expozíciós idővel készült képekből összefűzött képeket (HDR) is készíthetünk a változatos fényviszonyok kiegyenlítésére. A téma a visegrádi projekt esetében többnyire nem igényelte a színes felvételek készítését, egy esetben, az Alsóvár-Salamon torony esetében volt lehetőségünk, elsősorban elegendő időnk színes felvételeket is készíteni. (2. kép)

Mérések illesztése, georeferálás

Az egyes álláspontokból készült mérési állományok összeillesztését a mérendő területen elhelyezett gömbök, illetve fekete-fehér kapcsolójelek segítségével végezzük. Gömbök használata kényelmesebb, mert lévén 3D alakzatok, minden szögből jól meghatározható annak középpontja. Sík jeleket, illetve többnyire habosított PVC-re fóliázott illesztési keresteket is használunk, utóbbiakat általában fixen rögzítjük a falakon, tereptárgyakon. Ezeket a teljes felmérési időszak végéig a helyükön hagyjuk, aminek két célja is van. Az egymást követő napokon vagy későbbi kiegészítő, ellenőrző mérések során vannak állandó pontjaink, amelyekkel a különböző időben végzett méréseket összekapcsolhatjuk. A Leica RTC szkennelrel az utóbbi időben illesztőpontok használata nélkül mérünk, a feldolgozó program változatos felmért környezet esetén lehetővé teszi a pontos, közvetlen pontfelhő-pontfelhő illesztést.

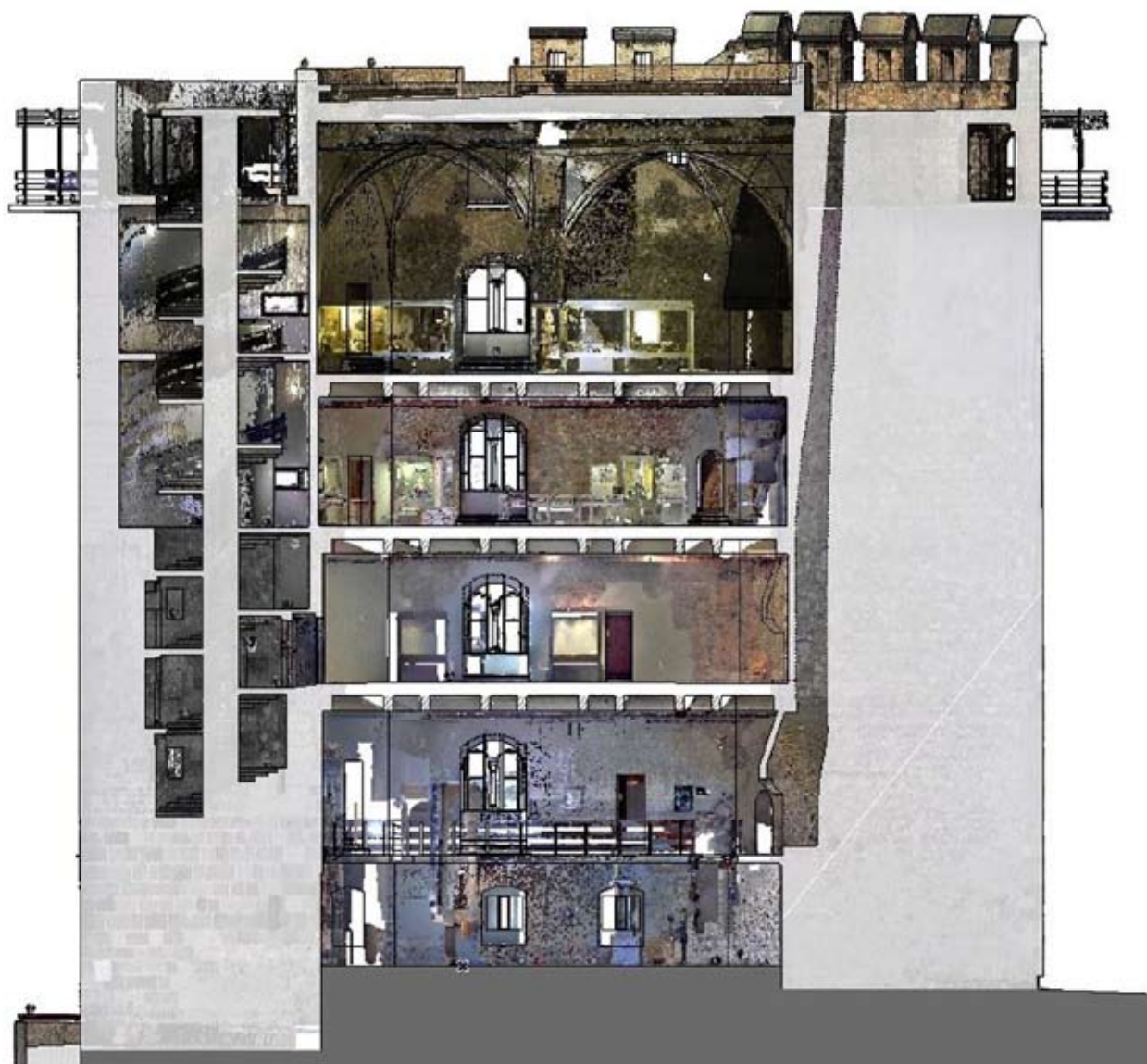
A felmért állományok valamely vetületi rendszer (pl. EOVS, WGS84) szerinti geodéziai koordinátarendszerbe transzformálása (georeferálása) manapság elengedhetetlen, különösen a BIM alapú projektek esetén pedig követelmény. Ezért, valamint minőségbiztosítási és a mérések pontos összeillesztését is támogató okokból a teljes mérési folyamatot geodéziai mérőállomásokkal végzett mérésekkel is követjük. A visegrádi projektben a geodéziai mérések a helyszínrajzok elkészítését is megalapozták. (3. kép)

Adatfeldolgozás

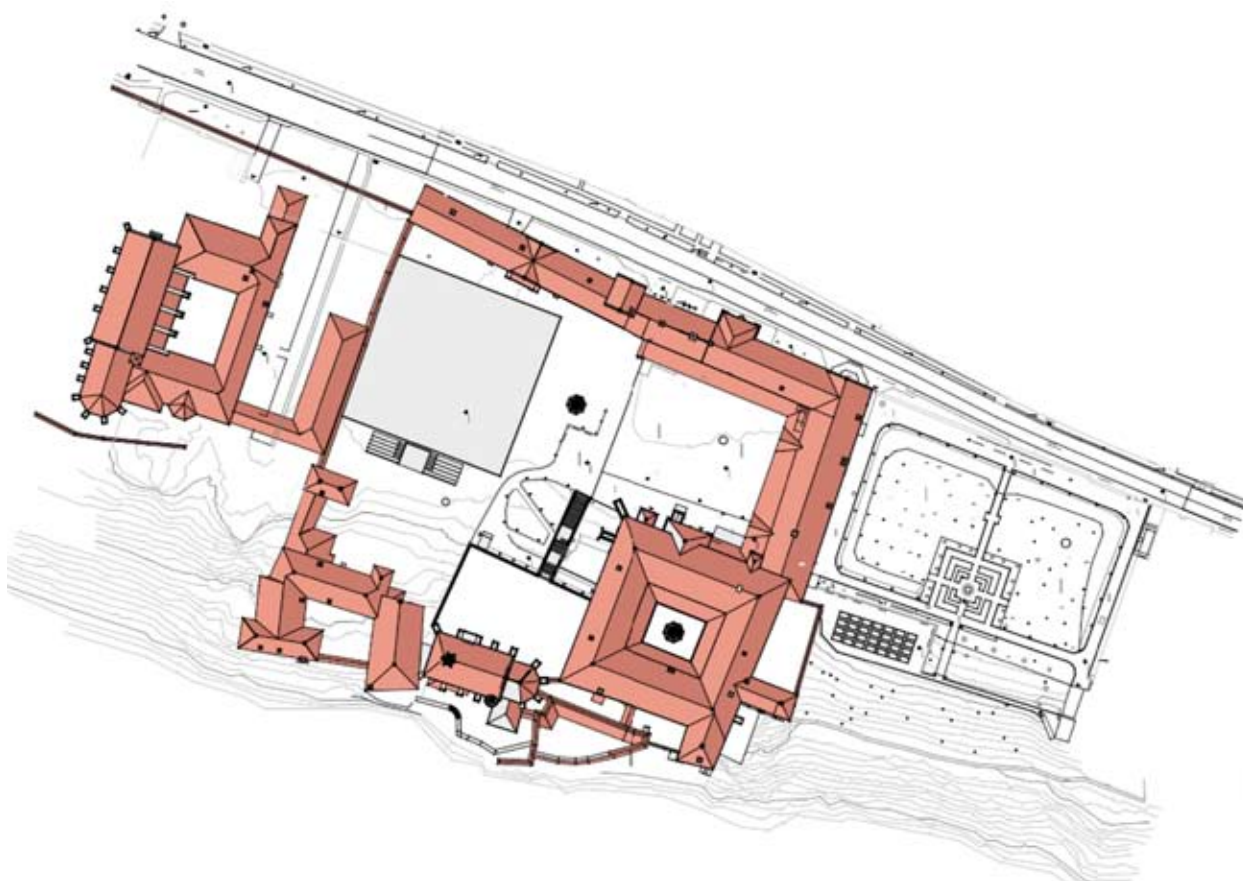
A feldolgozatlan pontfelhőket is érdemes archiválni, mert a feldolgozás során elveszthetünk olyan részleteket, amelyekről később derül ki, hogy szükség volna rájuk. Ahhoz, hogy érdemben tudjunk dolgozni a pontfelhővel a következő lépéseket kell elvégezni: regisztrálás, tisztítás, szűrés, szegmentálás, osztályozás, szakaszolás, felületháló illesztés, textúrázás, vektorizálás.

A regisztrálás, azaz a mért adatok egyesített formában, közös koordináta-rendszerbe való létrehozását nagyban segíti, ha hagyományos geodéziai mérésekből származó adatok is rendelkezésünkre állnak. Visegrádi projektünk során a geodéták folyamatosan jelen voltak

és mérték a lézerszkennelés során használt illesztőpontok koordinátáit. A regisztrálást akkor tartjuk jónak, ha az átlagos illeszkedés hibája teljesíti a követelményeket, esetünkben (a feladat céljainak megfelelően) ez néhány milliméteres hibahatárt jelentett. Az adatok tisztítása és szűrése magában foglalja a felesleges, nem kívánt szkennelési adatok eltávolítását. A tárgyalt esetben ez elsősorban a növényzet, az emberek, a romokat védő építmények eltávolítását jelentette. Szűrésre, újramintavételezésre elsősorban a mért állomány méretének csökkentése miatt volt szükség. A szegmentálás és az osztályozás kifejezések nem mindig megkülönböztettek a szakirodalomban. „A szegmentálás a pontfelhő pontjainak csoportosítása több homogén régióra hasonló tulajdonságok alapján, míg az



2. kép Alsóvár- Salamon torony színes pontfelhője



3. kép A Királyi Palota helyszínrajza

osztályozás az a lépés, amely megjelöli ezeket a régiókat” (Grilli, Menna és Remondino 2017). Az osztályozás tehát a folyamat azonosítási szakasza. Régészeti lelőhelyek meghatározott magasság alatti, illetve feletti részeinek színekkel történő megjelenítése jó példája az osztályozásnak. Más projektjeinkben, több esetben használtuk sikerrel az osztályozást a falak egyenetlenségeinek kimutatására. Ennek vizualizálása különösen hasznos restaurációs feladatoknál. Az intenzitáskép alapján történő osztályozás segíthet meghatározni a falak vizesedésének mértékét és annak kiterjedését, illetve a felhasznált kövek anyagának változását is.

A Visegrádi hegy LIDAR felmérését is elvégeztük. (4. kép) A különböző magasságokból visszatérő jelek kirajzolhatják a lombkorona tetejét, az aljnövényzetet vagy az utójára visszatérő jel az altalajt. Esetünkben a LIDAR felvételeknek különösen a vélhetően középkorban használatos utak felderítésében volt kiemelt szerepe.

Meshelés és modellezés

Valódi felületmodell előállításához a pontfelhőt meshelni kell, ami a pontok hálavá alakítását jelenti háromszögekkel, ahol a háromszögek változó méretűek, a pontok sűrűségétől, a felület morfológiájától függően. Az egybefüggő, sík felületek kevés háromszöggel is jól „behálózhatóak”, míg a dúsán faragott oszlopfők, visegrádi példával élve a kutakat díszítő oroslán fejek csak nagyon sűrű hálóval fedhetők le. Sajnos a meshelt felület sűrűn tartalmazhat lyukakat is; hornyokban, beforduló felületekben, résekben előfordulhatnak felmérési hiányosságok. Ezek „foltozása” történhet automatikusan, ami nem mindig sikeres vagy harmadik féltől származó nyílt forráskódú szoftverekben, mint például a MeshLab vagy a CloudCompare. Mi gépészeti feladatokkal is foglalkozunk ezért rendelkezésre állnak olyan szoftverkörnyezetek, amelyek professzionális megoldásokat nyújtanak erre a feladatra is.

A meshelés nagy fájlokat hozhat létre, amelyek kezelése más programokban, például

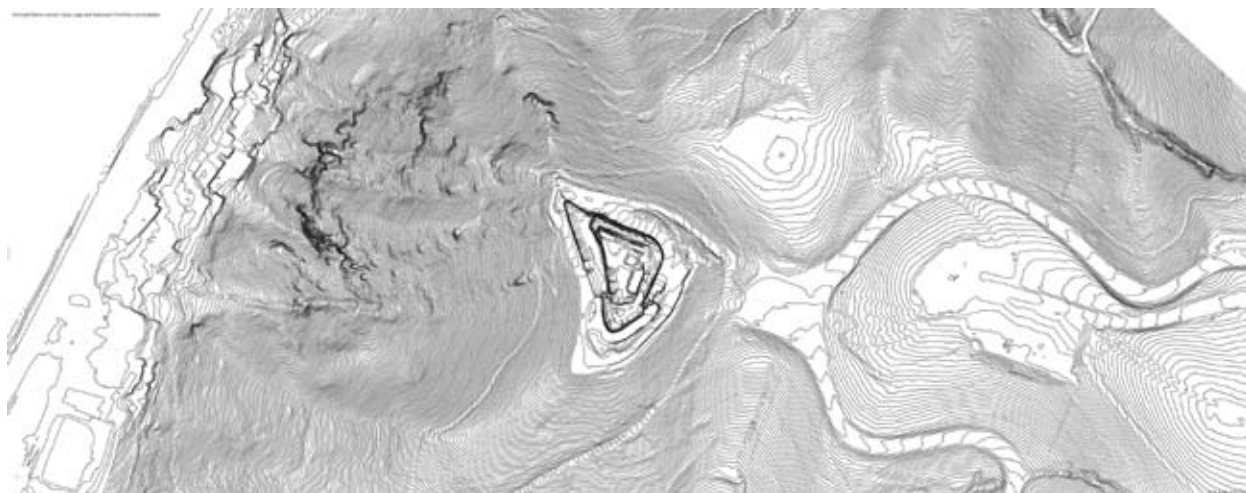


4. kép Visegrádi Várhegy terepmodellje

Archicadben nehézkes vagy egyáltalán nem lehetséges. Szükség van a háromszögek számának csökkentésére (újrámintavételezésére). Ez általában egy intelligensen megoldható feladat, amelyben a szomszédos háromszögek eltéréseit elemezzük a normálisuk által közbezárt szögek alapján. Ahol szomszédos háromszögsíkok közötti szögek kicsik, ott a felület is viszonylag sík. Ahol a szögek nagyok, éles felület változások vannak, a ritkítás kevésbé eredményes, illetve az automatikus program is többet hibázik. Ennek eredménye a „cukormázzal bevont” hatású modell, ahol minden él lekerekedik, elsimul.

A meshelés után a felülethez textúra rendelhető, amely biztosítja a modell fotorealistikus megjelenítését. Ez a szemlélőnek kellemesebb és hasznosabb lehet, mint a pontfelhő vagy a háromszögekkel fedett modell, és nem romlik el akkor sem, ha belenagyítunk a látványba. A meshelt modell a benne rejlő geometriai szerkezettel és attribútumokkal nem tekinthető intelligens modellnek a CAD vagy a BIM szempontjából.

A valóság-hű textúra érdekében a legjobb, ha az objektum fényképét „húzzuk” a tárgyra. Amellett, hogy látványosabb, megvan az az



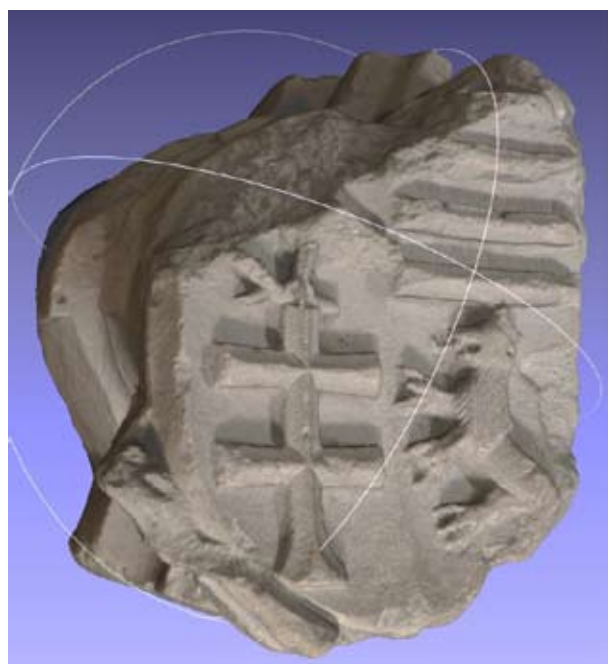
5. kép LIDAR mérés alapján készült szintvonalas rajz a visegrádi Várhegyről

előnye, hogy pillanatképet ad a felület állapotról a felmérés időpontjában, ami sokat segíthet a további munkában. A visegrádi ferences kolostor boltozati bordáinak festése a feltáró régészek elmondása szerint jól észlelhető volt azok megtalálásakor. Mára már csak festéknyomok maradtak, ezért is volt különösen fontos, hogy a Szűz Mária templom bordáit a kiemelésüket követő nap digitalizáltuk. A Visegrádon talált boltozati kövek puha mészkőből faragottak, könnyen törnek, sérülnek, ezért is fontos a gyors és minél megbízhatóbb adatrögzítés. Tárgy- és földi szkennereink többsége tartalmaz egy jó minőségű, de a mai technológiai szinthez viszonyítva kis felbontású kamerát.

Ezt azzal kompenzáljuk, hogy viszonylag sok képet készítünk, a panorámaképek a pontfelhővel automatikusan regisztrálásra kerülnek a pontfelhőben. Szkennereink kamerái HDR felvételeket is készítenek, ezzel kompenzálják az expozícióban bekövetkező eltéréseket.

A szakértők egyetértenek abban, hogy a képmegjelenítés ronthatja vagy félreviheti a látvány értelmezést, egy összetett textúra elfedheti a felület mikrodomborzatát.

A textúra minősége javítható, ha külső fényképezőgépet használunk kiváló optikával és nagy felbontású szenzorral ugyanabban a nézőpontban, ahol a szkennert dolgozott.



6. kép Meshelt faragott kövek a Fellegvából



7. kép 3D modell a Királyi Palotáról és környezetéről

A visegrádi projektben alkalmazott NavVis mobil szkennert, illetve a mérést megjelenítő szoftvert lehetővé teszi a felmért területek Google utcaképhez hasonló bejárását, lásd <https://palota3d.mnm.hu/> oldal. Az ott látható változat elsősorban turisztikai célokat szolgál ezért csak korlátozott funkciókkal rendelkezik. A teljes tudású alkalmazás, mivel a háttérben egy néhány centiméteres felbontású pontfelhő van, lehetővé teszi a felhasználók számára pontos méretek levételét, felületszámításokat, alaprajzok, metszetek, nézetek készítését. Ezzel jelentős költséget és időt takaríthatnak meg az építészek, belső építészek, szakági tervezők, kiállítás rendezők.

3D modellezés fotogrammetriával

Fotogrammetria olyan fényképes felmérési folyamat, amely lehetővé teszi a gyors adatfelvételt, szerkesztést és ma már ezzel a módszerrel is pontos, valóság-hű modellek készíthetők. A V700 projektben részt vett régész kollégák a feltárásaikat szinte minden alkalommal fotogrammetriai módszerekkel is dokumentálták. Mi a projekt során légifelvétel segítségével minden helyszínről ezzel a technológiával is elkészítettük a 3D modellt. Ezen felül a nagyszámú faragott kő esetében a vetített mintás technológia mellett fotogrammetriával is dol-

goztunk; tapasztalatunk szerint ezeknek a modelleknek szebb a textúrája.

Vektorizálás

Alaprajzok, metszetek és homlokzati rajzok állíthatók elő a pontfelhőkből, ezt a folyamatot vektorizálásnak nevezik. A pontfelhő szegmentálása és osztályozása az első lépés a kézi és félautomatikus munkafolyamatokban. A pontfelhő szeletelése vízszintes és függőleges metszetek létrehozásához világosabb képet ad az épületek alaprajzairól és magasságairól. Kellemő módon megtisztított és hibátlan állományból egy megfelelően vékony metszetet véve a 2D rajzok szinte automatikusan állíthatók elő. Azért fogalmazzunk feltételesen, mert ezek az állományok bár sokszor nagyon szépek és minden adatot tartalmaznak, tervként mégsem hasznosíthatók. Az így levezetett vonalak CAD programban történő feldolgozása már a kiértékelő interpretációja lesz. Ahány szakember, annyi megvalósulás. A Lechner Tudásközpont négy építészgyakornokot kért meg ugyanannak a pontfelhőből levett ortofotónak a vonalas ábrázolására. Bár mindegyik rajz kiváló, közel sem lettek egyformák.¹ Bár sokan dolgoznak a feladaton, a pontfelhők automatikus feldolgozásának még nem született megbízható

¹ [Műemléképületek lézerszkenneres 3D felmérésének módszertana és tapasztalatai \(lechnerkozpont.hu\)](https://www.lechnerkozpont.hu/muemlekepuletek-lezerszkenneres-3d-felmeresenek-modszeretana-es-tapasztalatai)



8. kép A Fellegvár megalapozott rekonstrukciós terve

megoldása.² Bizonyos részsikerek már vannak; egyszerűbb előre definiált elemek felismerése lehetséges, de ezekenél is szükség van szakember által történő ellenőrzésre, a szükséges módosítások elvégzésére. Még nem volt lehetőségünk a gyakorlatban kipróbálni, de például a ClearEdge 3D Edgewise³ programja ígéretesen ismer fel egyszerűbb alakzatokat. Amint az az általuk bemutatott referencia projektekből is kitűnik, a program akkor használható igazán jól, ha egyszerű épületekkel dolgoznak, a visegrádi műemlékegyüttes egyetlen épülete sem tekinthető annak. A vektorizálás egyik előnye, amellett, hogy számos mérnöki utómunkához elengedhetetlen termékeket állítunk elő, hogy az eljárással a pontfelhőknél és a meshelt állományoknál lényegesen kisebb fájl méreteket kapunk.

A folyamatok bemutatása nem lehet teljes az adatmenedzsment kérdések tárgyalása nélkül.

Adatmegjelenítés

A legtöbb szkennergyártó lehetőséget biztosít a szkennelt állománynak a világhálón való megosztására, ezzel biztosítva azokon a csoportmunka lehetőségét. Korábban ezek a programok lokálisan is telepíthetők voltak és nem volt jelentős költsége a használatuknak. Mára ez megváltozott, a díjak jelentősen emelkedtek és általánossá vált az adatok elérésének időbeni korlátozása is. A visegrádi palota felmérésének pontfelhője a NavVis IVION program segítségével érhető el világhálón.⁴

Adattárolás

Meggyőződésünk, hogy a pontfelhő feldolgozó programok is jelentősen fejlődni fognak a jövőben. Ezért mindenképpen érdemes megőrizni az eredeti nyers, akár szűretlen, eredeti felbontású mérési állományokat, biztosítva ezzel a későbbi feldolgozás lehetőségét. Legcélsebb az x,y,z,I (ASCII), nem védett adatformátumban való tárolás, így adataink sohasem évülnek el.

² https://www.researchgate.net/publication/274309937_Building_Extraction_from_Airborne_Laser_Scanning_Data_An_Analysis_of_the_State_of_the_Art

³ <https://www.clearedge3d.com/edgewise-building/>

⁴ <https://palota3d.mnm.hu/>

3D modellezés

Munkánk egyik legszebb és eredményeit tekintve leglátványosabb része a 3D-ben történő modellezés. A pontfelhő alapján Archicad környezetben elkészítettük a teljes

műemlékegyüttes 3D modelljét. Az összetett formák, a romok és az évszázadok alatt történő átépítések lekövetése, az organikus módon fejlődött szintek műszaki megjelenítése jelentette a legnagyobb kihívást. A komplex geometriát



9. kép A Királyi Palota nyugati falára tervezett zárterkély rekonstrukciója

vagy parametrikus tervezést magában foglaló 3D modellezésben sokak által favorizált program a Rhino 3D, mert magas tervezési szabadságot biztosít és a más 3D-s tervezőprogramban található korlátok jelentős részét is kiküszöböli. Igényesebb részletek, például a Királyi Palota észak-nyugati szárnyára tervezett Mátyás király korabeli zárterkély tervezése vagy az Anjou- és Mátyás-kori kutak tervezése Archicad-ben jelentős kihívás volt. A modellezést végző szakemberek összes tapasztalata és tudása segített megoldani a feladatot. A területek közötti térbeli elkülönültség és összetettség miatt a három helyszínt külön-külön modelleztük, az adatok georeferálása azonban lehetővé tette ezek egy rendszerbe való illesztését, amellyel a Várhegy teljes pompájában bemutatatható a nagyközönség számára.

A modellezés során néhány renderképet is előállítottunk, ahol nem törekedtünk színes, valóság-hű megjelenítésre, a clay modellek inkább az építészeti összehatás bemutatását szolgálják. (7. kép)

Összefoglaló

Írásunkban bemutattuk a visegrádi műemlékegyüttes 2023-ban végzett felméréseinek céljait, módszertanát, eszközeit, eredményeit, tapasztalatait. Áttekintést adtunk az alkalmazott műszerek felmérés során releváns technikai jellemzőiről, az adatfeldolgozás lépéseiről, nehézségeiről, időszükségletéről. Megosztottuk azokat az ismereteket is, amelyek ebben a projektben egyediek voltak. Munkánkat kordokumentumnak is tekintjük, itt tart a technika napjainkban, ”kihoztuk” belőle a maximumot. A fejlődés a bemutatott területeken rohamos lesz, reméljük, hogy követőink még többet fognak hasznosítani az akkor is rendelkezésükre álló adatokból.

A projekt végrehajtásában a 4iG/Mensor3D valamennyi munkatársa részt vett. Külön köszönet Surina Dórának, Hadzijanisz Konsztantinosznak, Albert Jánosnak és dr. Lovas Tamásnak a közlemény megírásában nyújtott támogatásáért.