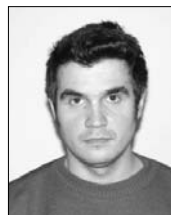


Térmodellezés terepen gyűjtött vektor és raszter alapú adatokkal

Dr. Ferencz József, Erdélyi Marcell, Papp Zsolt
MASTER CAD Kft., Nagyvárad



1. Bevezetés

A valós világ természetes és mesterséges alkotó elemei háromdimenziós térben helyezkednek el, amelyeknek valósághű értelmezéséhez elengedhetetlen az azokat alkotó pontok térbeni pozícióinak megfelelő meghatározása. A pozicionálás szakmánk egyik alapfeladata, megoldása a mindenkori tudományos és technológiai színvonal függvénye. A pozicionálási adatok alapján, célorientált módszerekkel előállított termékeinket általában a piac elvárt igényei és a felhasználható tudományos és technológiai háttér határozzák meg.

A hagyományos kétdimenziós (2D) térben értelmezett és az egy, kettő, kettő+egy, valamint a három dimenziós (1D, 2D, 2D+1D, 3D) terekben hagyományos technológiákkal meghatározott pontok alapján készített termékek mellett egyre gyakrabban jelenik meg a 3D térben létrehozható digitális térmodellek igénye. Az elvárt digitális térmodelleket csak a szükséges és megfelelő, a megfogalmazott igényeket kielégítő, vektor és raszter alapú digitális adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiák integrált alkalmazásával lehet megvalósítani. Az egyre bővülő, különböző szakterületek által megfogalmazott igényeket kielégítő, nagy pontosságú 3D-s térmodellezésekhez szükséges nagy mennyiségű pont, pontfelhő formájában, önálló vagy mérőállomásokban beépített lézerszkennelők, valamint többképes digitális fotogrammetriai szkennelés alkalmazásával biztosítható. A létrehozott 3D térmodell egy megfelelően választott vonatkoztatási rendszerbe való helyezése vektoros pozicionálási módszerekkel meghatározott illesztőpontok segítségével végzett transzformációval oldható meg.

Ezt a folyamatot új adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiák biztosítják, amelyeknek

fizikai és logikai összetevői kellő beruházásokkal már elérhetőek és kedvezően egészítik ki a hagyományos megoldásokat. A nagyváradai MASTER CAD Kft. fejlesztési stratégiájában az új technológiák bevezetése és alkalmazása meghatározó tényező, ami folyamatosan biztosítja szakmai lehetőségeink és előállítható termékeink skálájának bővítését. Ennek a folyamatnak új állomását képezi az év elején kialakított új, integrált földi adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiánk. Ezt a 2007-től már működő, robot mérőállomáson alapuló egyszemélyes technológiánknak a 2009-ben megvalósított többképes fotogrammetriai rendszerrel való bővítésével értük el. Így az egyszemélyes, hagyományos földi adatgyűjtési és adatfeldolgozási vektoros módszereket raszteres fotogrammetriai módszerekkel célirányosan kombinálva bővítettük működési területeinket és megvalósítható termékeink skáláját.

2. Az új integrált földi technológia

Az új földi vektor és raszter alapú adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiánk az egyszemélyes geodéziai-topográfiai és a többképes fotogrammetriai módszereket támogató fizikai és logikai összetevők kedvező, célirányos integrálásával valósult meg. Az egyszemélyes geodéziai-topográfiai alapú, 2007-től folyamatosan alkalmazott vektoros technológiánk általunk ismert összetevőit bővítendő, 2009 elején beszereztük a raszter alapú, többképes fotogrammetriai módszereket támogató fizikai (*DSLR-A350X digitális kamera*) és logikai (*PhotoModeler Scanner programrendszer*) összetevőket, amelyek korrekt használatának elsajátítása számunkra komoly kihívást jelentett.

A már meglévő és az új lehetőségek, eszközök nem zárják ki, hanem alkotó módon kiegészítik

1. táblázat

A technológia tárgya	A valós világ alkotó elemei a háromdimenziós térben						
Munkamódszerek	Vektor alapú egyszemélyes geodéziai-topográfiai (2007-től)			Raszter alapú többképes fotogrammetriai kiértékelés (2009-től)			
Alkotó elemek	Eszközök	Munkafázisok	Eredmények	Eszközök	Munkafázisok	Eredmények	
Terepi adatgyűjtés	BoschPLR30 lézertáv mérő	Vektor adatok gyűjtése	Távolságok: S	Pontmegjelölő formák	Pontok előre- jelzése	kijelölt pontok	
	Trimble 5605 DRS R mérőállomás	Vektor adatok gyűjtése	Mérések: S,H,z,V, i, s Koordináták: x, y, z	DSLR-A350X digitális kamera	Raszter ada- tok rögzítése fényképezéssel	Digitális képek	
Irodai adat- feldolgozás	TopoSys Terra- model program- rendszerek	Mérések feldolgozása	1D,2D,3D térben: Pontok koordinátái z; x,y; x,y,z	PhotoModeler Scanner program- rendszer	Többképes fo- togram-metriai kiértékelés	Táblázatok 1D,2D,3D térben: CAD típusú modellek	
	MapSys program- rendszer	Termékek szerkesztése	2D térben: Táblázatok Helyszínrajzok Térképek			Fotogrammet- riai szkennelés	Pontfelhő koordináták: x,y,z
	Surfer 8 program- rendszer	Termékek szerkesztése	3D térben: Modellek				3D térben: DSM típusú fotorealistikus modellek
A technológia eredménye	A valós világ szerkesztett digitális modelljei: pont (1D), sík (2D) és tér (3D) modelljei						

egymást, biztosítva egy komplex technológia zökkenőmentes működését. A konkrét alkalmazási mód feladatfüggő és a 3D térmodellezés területén értelmezett, elvégezhető munkák határozzák meg a két típusú munkamódszer tervben rögzített hatékony kombinálását, az optimális eredményesség érdekében.

A geodéziai-topográfiai, vektor adat alapú módszerek a létrehozandó vagy létrehozott 1D, 2D és 3D modelleknek a kiválasztott vonatkoztatási rendszerbe illesztési adatait, a fotogrammetriai raszter adata alapú módszerek pedig a fényképek szkennelésével a szükséges pontfelhő létrehozását és a pontfelhő alapú DSM térmodellezést biztosítják az új technológiában. A technológia munkafázisai:

- Adatgyűjtés, amely az alkalmazott módszer függvényében, amely lehet
 - vektor vagy
 - raszter alapú.
- Adatfeldolgozás, amelynek eredménye, a kitűzött célnak megfelelően lehet
 - pozicionálás: koordinátaszámítás 1D, 2D, 3D térben,
 - termék-előállítás: modellezés 1D, 2D,3D térben.

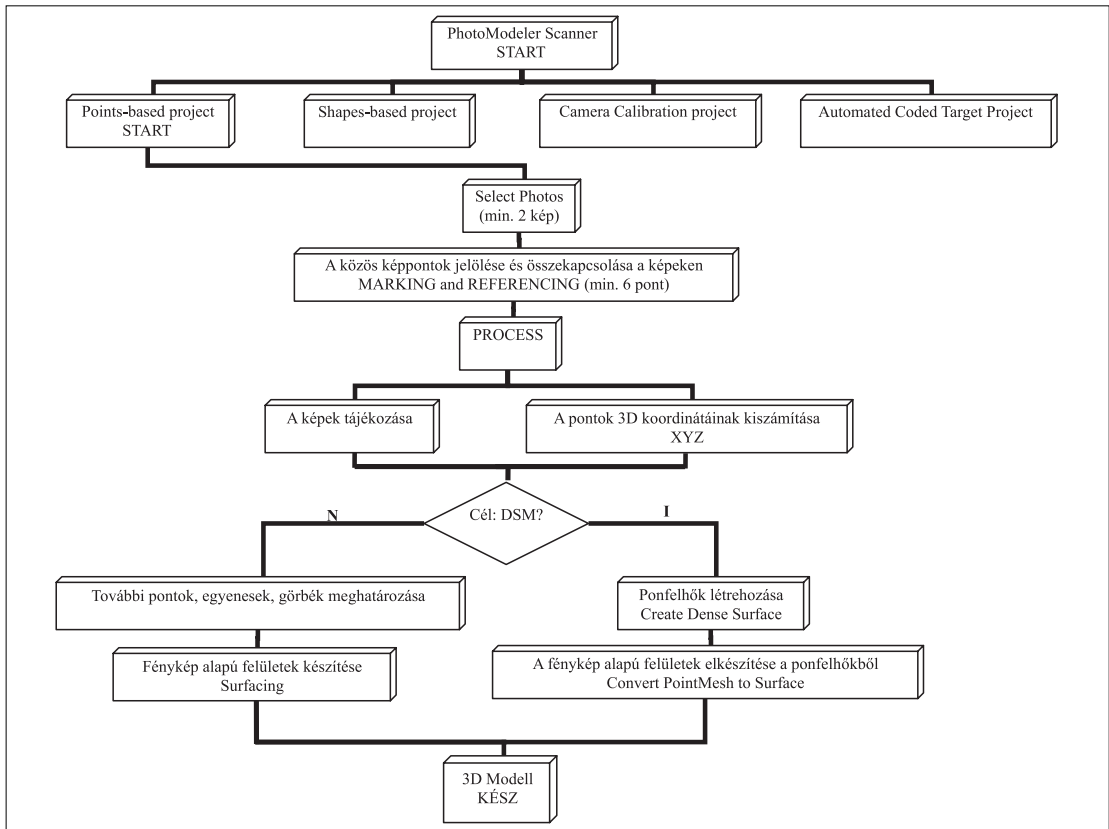
- Adatközlés, az eredmények hasznosítása érdekében
 - az előállított termékek megjelenítése,
 - az előállított termékek továbbítása,
 - az előállított termékek célirányos felhasználási lehetőségeinek biztosítása.

Az 1. táblázatban foglaltak alátámasztják előbbi kijelentéseinket.

3. Az új integrált földi technológiával támogatott kísérleti térmodellezési munkáink

Az új technológiánk elsajátítási folyamatának fő szakasza a kísérleti térmodellezési munkák megvalósítása volt, amelynek során az egymást követő munkafázisok korrekt végrehajtását, azok rész- és végeredményeinek helyes értékelését és a létrehozott térmodellek használhatóságának elemzését tekintettük fő célkitűzésünknek. A kísérleti munkáink során három választott alkalmazási területen Nagyvárad valós világa egyes elemeinek térmodellezését a következőképpen céloztuk meg:

- művészeti örökség területén, a közterületeken lévő szobrok (Ady, Lórántffy, Szacsvai, Czárán),



1. ábra

- kiválasztott építmények területén: egy belvárosi vasúti híd támfallal, a Szent László műemléktemplom és egy felekezeti emlékmű,
- külszíni fejtések területén: homok-kitermelés.

A felsorolt kísérleti munkákat azonos módon végeztük, ügyelve a technológia lépéseinek megtartására és a szükséges feltételek biztosítására. Az illesztő- és ellenőrző pontok pozicionálását a technológia egyszemélyes vektoros pontmeghatározási módszerével végeztük. A raszter alapú adatgyűjtéshez szükséges képeket a 3441124 azonosító számú *DT 18–70 mm F3,5–5,6 szuperanguláris objektívvel* felszerelt, előzőleg kalibrált *SONY DSLR-A350X 2138950* azonosító számú digitális kamerával, automatikus beállítással készítettük. A képek kiértékelését a *PhotoModeler Scanner* programrendszer által a pont alapú projekteknek igényelt lépésekben végeztük. A konkrét eseteknek megfelelően a szükséges módon kombináltuk a fénykép alapú felületek szerkesztését és a pontfelhőt igénylő

DSM módszert a komplex térmodell hatékony elkészítési folyamatában. Az elvégzett lépéseket és azok egymáshoz való viszonyát a térmodellezés folyamatábrájára tükrözi (1. ábra).

A térmodellezéshez szükséges nagy mennyiségű és elvárt pontossággal meghatározott pontthalmazt a *PhotoModeler Scanner* programrendszer által megvalósított fénykép alapú 3D fotogrammetriai szkenneléssel pontfelhőként kaptuk, amit esetenként bővítettünk további meghatározott pontokkal, egyenesekkel, görbékkel és felületekkel. Az említett módon létrehozott adatok felhasználásával valósítottuk meg a célfelület valóság-hű, fotorealisztikus térmodelljét, ami fontos elem lehet a különböző szakmai területek napjainkban és a jövőben megfogalmazható feladatainak megoldásában.

Kísérleti munkáink eredményeit a X. Földmérő találkozón elhangzott előadásainkban (5, 6, 7) részletesen ismertettük, ezért ezekre itt nem térünk ki. Az utóbbi időben, ugyancsak kísérleti jelleggel végeztük a nagyváradi Szent László mű-

emléktemplom külső térmodellezését, különös tekintettel annak a térmodellezés szempontjából különböző megoldásokat igénylő összetevőire: az épület toronnyal, a külső udvari P. Pio (Pio Atya) szobor és a falakra rögzített két emléktábla.

E térmodellezési munkánk során a következő célkitűzéseket próbáltuk megvalósítani:

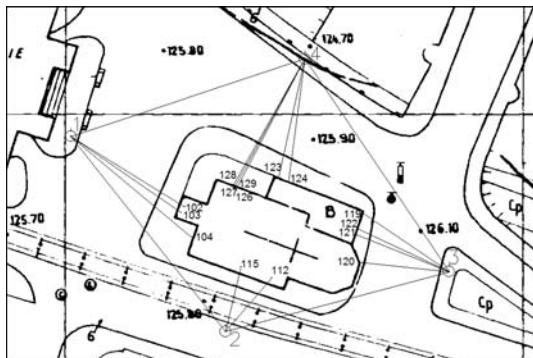
- az új integrált technológiánk vektor és raszter alapú adatgyűjtési, adatfeldolgozási és térmodellezési módszereinek gyakorlati alkalmazása,
- a térmodell célirányosan választott vonatkoztatási rendszerbe illesztése,
- a térmodell pontosságának és szabatosságának vizsgálata.

A továbbiakban ezen célkitűzések konkrét megvalósítását mutatjuk be röviden.

Az adatgyűjtést vektor és raszter alapú módszerekkel végeztük. A vektor alapú adatgyűjtést hagyományos geodéziai eljárással végeztük. A templom körül egy zárt sokszögvonal alkotta felmérési hálózat 4 (1, 2, 3, 4) pontjából a templom azonosított 14 (102, 103, 104, 112, 115, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128), valamint az egyik emléktáblán választott 1 (129) illesztőpont (2. ábra) pozicionálási adatait a *Trimble 5605 DRS Robot* mérőállomással, direkt reflex üzemmódban, egyszemélyes robot technikával mértük.

Az így gyűjtött adatok az előállítandó térmodell választott rendszerbe való illesztéséhez és pontossági mutatóinak számításához a kiinduló adatokat biztosítják. A raszter alapú adatgyűjtést (fényképezést) a *SONY DSLR-A350X* digitális kamerával végeztük. Megemlítjük, hogy a fényképezést nem egy előre megszabott pontossági mutató biztosításának figyelembevételével (igényelt középhiba és abból levezethető fókusz-távolság, felvételi távolság, méretarány, pixelméret) végeztük, ugyanis nem készítettünk konkrét felvételi tervet. Az adatgyűjtés idején fennálló helyi feltételekhez igazodva, a megfelelőnek vélt módon választott 4 fókusz-távolsággal (18, 24, 28 és 35mm) rögzített 14,2 megapixel felbontású 36 k é p, mint adathordozó alkotta a adatgyűjtés eredményét, biztosítva számunkra a térmodellezéshez szükséges kiinduló adatokat.

A vektor alapú adatokat a *Terramodel* programrendszerrel dolgoz-



2. ábra

tuk fel, eredményként a felmérési hálózat 4 pontjának és 14 ellenőrző pontnak a koordinátáit (x,y,z) kaptuk a választott helyi 3D rendszerben. A raszter alapú adatokat a *PhotoModeler Scanner* programrendszerrel használva, többképes fotogrammetriai kiértékeléssel és az azt követő, a *sűrű felületmodellezés (DSM)* igényelte fotogrammetriai szkenneléssel dolgoztuk fel. A kapott eredmények ezúttal a sugárnyaláb kiegyenlítésel meghatározott pontok és a fotogrammetriai 3D szkenneléssel létrehozott pontfelhő pontjainak az illesztőpontok felhasználásával a választott 3D rendszerbe átszámított (x,y,z) koordinátái.

A térmodellezés kiinduló adatait az elvégzett adatfeldolgozás említett eredményei alkotják. A térmodellezés szempontjából különböző megoldásokat igénylő összetevőknek megfelelő modellezési megoldásokat alkalmaztunk. A templom épületét a toronnyal együtt az objektum alapú módszerrel modelleztük. A térmodellezés folyamán célirányosan alkalmaztuk a programrendszer által kezelt objektumokat: pontokat, egyeneseket, görbéket, körvonalakat, éleket,

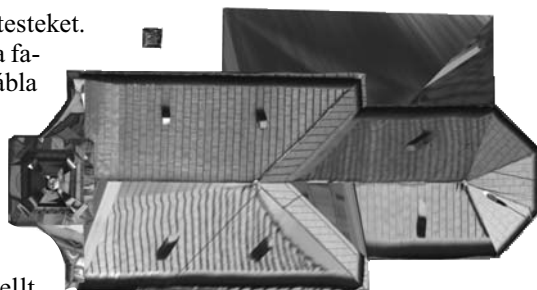


3. ábra

hengereket, felületeket, testeket.

A külső udvari szobor és a falakra rögzített két emléktábla térmodellezését a DSM technikával oldottuk meg. A megszerkesztett digitális térmodellekre a megfelelő képrészeket illesztve hoztuk létre a fotorealisztikus térmodellt

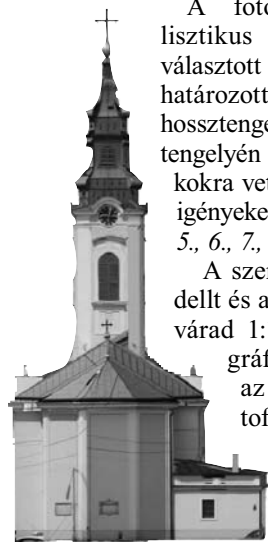
(3. ábra).



4. ábra

A fotorealisztikus térmodellt célirányosan választott és megfelelő módon meghatározott vízszintes, a templom hossz tengelyén és az arra merőleges tengelyén áthaladó függőleges síkokra vetítve kaptuk a különböző igényeket kielégítő ortofotókat (4., 5., 6., 7., 8. ábra).

A szerkesztett digitális térmodellt és az ortofotót sorra a Nagyvárad 1:1000 méretarányú topográfiai térképére (9. ábra) és az 1:5000 méretarányú ortofotójára (10. ábra) az azokon azonosított illesztőpontok felhasználásával transzformáltuk. Így létrehoztunk egy pontos, 3D-s térkép-



5. ábra

és 2D-s ortofotórészletet, amelyek korrekten módon ábrázolják a Szent László templomot.

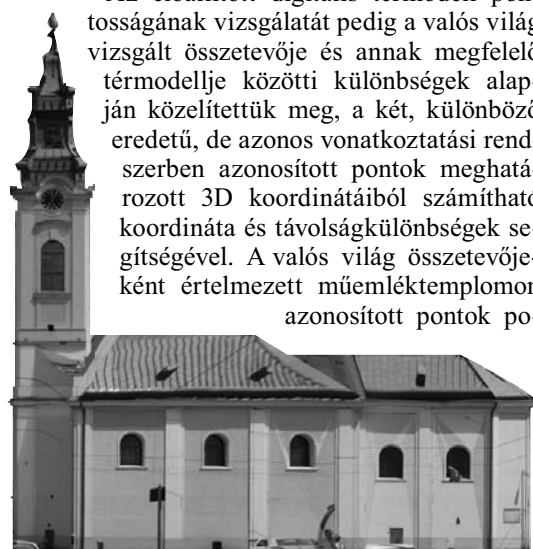
4. Az elért eredmények értékelése

A térmodellezés eredményeinek értékelését mennyiségi és általános minőségi szempontból közelítettük meg, figyelembe véve a vizsgált elemekre vonatkozó értékeket:

- a felhasznált fényképekről: az állított fókusz-



7. ábra



8. ábra

távolság (mm), képek száma, fényképezési távolság (m), méretarány, tárgytéri pixelméret (mm),

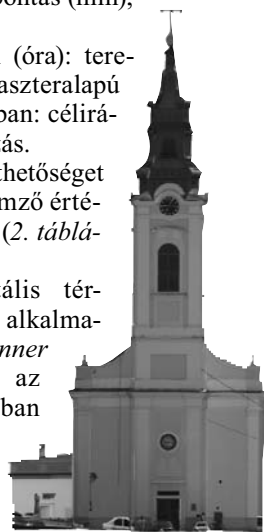
- a fényképeken jelölt pontokról: a tájékozási és illesztő pontok száma, pontosság (pixel),

- a szkenneléssel létrehozott pontfelhőkről: a pontok száma, felbontás (mm), pontosság (mm)

- a megoldási időről (óra): terepen: vektor és raszter alapú adatgyűjtés, irodában: célirányos adatfeldolgozás.

A könnyebb áttekinthetőséget az elemzett elemek jellemző értékeit tartalmazó táblázat (2. táblázat) biztosítja.

Az előállított digitális térmodell pontosságát az alkalmazott PhotoModeler Scanner programrendszer által, az adatfeldolgozás fázisaiban generált pontossági mutatószámok segítségével elemezhetjük. E mutatószámok közül néhányat a 2. táblázat tartalmaz.



6. ábra

Az előállított digitális térmodell pontosságának vizsgálatát pedig a valós világ vizsgált összetevője és annak megfelelő térmodellje közötti különbségek alapján közelítettük meg, a két, különböző eredetű, de azonos vonatkoztatási rendszerben azonosított pontok meghatározott 3D koordinátáiból számítható koordináta és távolságkülönbségek segítségével. A valós világ összetevőjeként értelmezett műemléktemplomon azonosított pontok po-

2. táblázat

Jellemző adatok		Szent László templom				P. Pio szobor		Tábla 1	Tábla 2	
1	Fényképek	Állított fókusz távolság (mm)	18	24	28	35	18	28	24	35
		Képek száma	11	4	2	2	3	14	2	2
		Fényképezési távolság (m)	22	35	52	35	3	2.5	2	4.5
		Méretarány	1:1222	1:1458	1:1857	1:1000	1:167	1:89	1:83	1:128
		Pixelméret (mm)	6,267	7,478	9,522	5,127	0,855	0,458	0,427	0,659
2	Jelölt pontok	Illesztő pontok száma	14				4		3	3
		Tájékozási pontok száma	83				98		16	17
		Pontosság (pixel)	1,583				0,784		0,162	0,198
3	Pontfelhők	Pontok száma	2.130				623.408		102.407	108.259
		Felbontás (mm)	-				5		5	3,5
		Pontosság (mm)	9,7				3,3		1,0	1,0
4	Szükséges idő	Terepen: pontmeghatározás	0,5				0,5		0,5	0,5
		Terepen: fényképezés	0,5				0,5		0,04	0,04
		Irodában: kiértékelés	80,0				20,0		2,0	2,0

zicionálási adatai (mért értékek és számított 3D koordináták) vektor alapú, a létrehozott digitális 3D modellen megfeleltetett pontok pozicionálási adatai (3D koordináták) raszter alapú módszerek eredményei.

A 14 ellenőrzőpontban számított ΔX , ΔY , ΔZ koordinátakülönbségek a $[-0,020\text{m} - 0,020\text{m}]$ tartományban találhatóak, a $0,004\text{m}$ -es intervallumokban való eloszlásukat a 3. táblázat és az ahhoz hozzárendelt grafikon szemlélteti.

Az említett pontok közt számítható Δd távolság különbségek a $[-0,036\text{m} - 0,024\text{m}]$ tartományban találhatóak, a $0,004\text{m}$ -es intervallumokban való eloszlásukat a 4. táblázat és az ahhoz hozzárendelt grafikon szemlélteti.

5. Összefoglalás

Az elvégzett kísérleti térmodellezési munkáinkkal nem egy konkrétan megfogalmazott, meghatározott feltételeket biztosító, valós alkalmazásokat támogató termékek előállítását céloztuk meg, hanem az új integrált vektor és raszter alapú földi technológiánk egymást követő munkafázisai korrekt végzésének elsajátítását, azok rész- és végeredményeinek helyes értékelését és a létrehozott térmodellek minél szélesebb

körű felhasználási lehetőségeinek biztosítását terveztük. Alkalmaztuk az új technológiánk által biztosított vektor és raszter alapú adatgyűjtési, adatfeldolgozási és térmodellezési módszereket, kipróbáltuk a

létrehozott digitális térmodellek célirányosan választott vonatkoztatási rendszerbe illesztésének megoldásait és elvégeztük a Szent László műemléktemplom megvalósított digitális térmodelljének pontossági vizsgálatát.

Tapasztaltuk, hogy a két, elvileg különböző típusú, vektor és raszter alapú adatgyűjtési, adatfeldolgozási és térmodellezési megoldások integrálása járható út. A célirányosan elvárt pontosság biztosításához elengedhetetlen feltétel az adatgyűjtési és adatfeldolgozási munkálatok megfelelő

tervezése és a tervben rögzített paraméterek szigorú betartása. Az elvárt feltételeket teljesítő, digitális térmodellek kiinduló adatai lehetnek a különböző termékeknek, amelyeket az új technológiákkal az elvárásoknak megfelelően szerkeszthetünk.



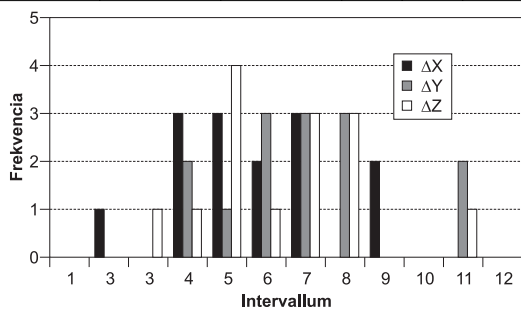
9. ábra



10. ábra

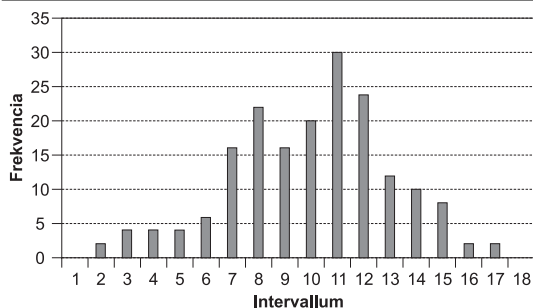
3. táblázat

Sorszám	Intervallum		Frekvencia		
	Alsó határ	Felső határ	ΔX	ΔY	ΔZ
1	-0,024	0,020	0	0	0
2	-0,020	-0,016	1	0	0
3	-0,016	-0,012	0	0	1
4	-0,012	-0,008	3	2	1
5	-0,008	-0,004	3	1	4
6	-0,004	0	2	3	1
7	0	0,004	3	3	3
8	0,004	0,008	0	3	3
9	0,008	0,012	2	0	0
10	0,012	0,016	0	0	0
11	0,016	0,020	0	2	1
12	0,020	0,024	0	0	0



4. táblázat

Sorszám	Intervallum		Frekvencia
	Alsó határ	Felső határ	
1	-0,044	-0,040	0
2	-0,040	-0,036	2
3	-0,036	-0,032	4
4	-0,032	-0,028	4
5	-0,028	-0,024	4
6	-0,024	-0,020	6
7	-0,020	-0,016	16
8	-0,016	-0,012	22
9	-0,012	-0,008	16
10	-0,008	-0,004	20
11	-0,004	0	30
12	0	0,004	24
13	0,004	0,008	12
14	0,008	0,012	10
15	0,012	0,016	8
16	0,016	0,020	2
17	0,020	0,024	2
18	0,024	0,030	0



IRODALOM

- [1] Detrekői, A. (2009): Szakmai jövőkép, Geodézia és Kartográfia LXI. évfolyam/5. pp 3-7
- [2] Karl Kraus: FOTOGRAMMETRIA, Tetria Kiadó, Budapest, 1998
- [3] ****DSLR-A350 digitális egyaknás tükörreflexes fényképezőgép, Használati útmutató, Sony Corporation, 2008
- [4] <http://www.photomodeler.com>: PhotoModeler Scanner: Termékbemutató
- [5] **** PhotoModeler User Guide, EOS Systems Inc., 2008
- [6] Dr. Ferencz József, Erdélyi Marcell., Papp Zsolt.(2009): A SONY DSLR – A 350X digitális kamera kalibrálási eredményei, X. Földmérő Találkozó, Szovátafürdő, 2009. május 14–17.
- [7] Dr.Ferencz József, Erdélyi Marcell., Papp Zsolt.(2009): A MASTER CAD KFT térmodellezést támogató új földi adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiája, X. Földmérő Találkozó, Szovátafürdő, 2009. május 14–17.
- [8] Dr. Ferencz József, Erdélyi Marcell., Papp Zsolt.(2009): Kísérleti DSM térmodellezési munkáink, X. Földmérő Találkozó, Szovátafürdő, 2009. május 14–17./

Spatial modeling with field collected vector and raster type data

Ferencz, J.–Erdélyi, M.–Papp, Zs.

Summary

In 2009, MASTER CAD Ltd has upgraded the one-man vector type survey technology, used in 2007, with raster type components creating a new integrated survey technology. Therefore the classic, vector type data collecting –and processing methods has been combined with raster based fotogrammetry methods, enlarging our working domains and the scale of realizable products. The vector type data based geodesy-topography methods ensure the chosen joining dates of created 1D, 2D and 3D models in any reference system, the raster type data based fotogrammetry methods, scanning the photos, ensure to create the point cloud and the DSM. The completed products ensured to acquire this new technology. One of these, the modelling of the Saint Ladislav historic Church was presented in detail. We analysed the practical application of vector type data collecting –processing and modelling methods, the joining of the digital model in the chosen reference system, as well as the precision, accuracy, and the correctness of the spatial model.