



Igen nagyfelbontású légifelvétel-mozaikek készítése kis- és középformátumú digitális fényképezőgépekkel

Bakó Gábor

Szent István Egyetem

– Környezetvédelmi és Vizgzdálkodási Kutató Intézet Kft.

1. Történeti háttér

Az 1970-es és 1980-as években az ország területének közel 50%-át érintő nagyméretarányú EOTR térképezési programot jelentős mértékben fotogrammetriai eljárással hajtották végre. Ez a feladat a rendelkezésre álló mérőkamerás légifényképezés szinte teljes kapacitását lekötötte, így más célú felhasználásra igen nehéz volt légifelvételeket készíttetni. Ehhez hozzájárult még az is, hogy abban az időben a mérőkamerával készült légifelvételek titkosak voltak, ami nagyméretben megnehezítette kezelésüket, felhasználásukat. Gondot jelentett az is, hogy a légifelvételek megrendelésétől a késztermék átvételéig az évente négy légifényképezési ütemre korlátozott végrehajtásból adódóan is igen hosszú idő telt el. Határmenti légifényképezést pedig a megelőző év november 15-ig kellett megrendelni, függetlenül attól, hogy a légifényképezést az év melyik szakában kívánták végrehajtani [1]. Könnyen belátható, hogy az ilyen légifényképezési feladat-végrehajtás és hozzáférés gyakorlatilag lehetetlené tette a mérőkamerás légifelvételek alkalmazását az árvíz- és belvízvédelemben. Ez vezetett ahhoz, hogy a vízügyi szakágazat az Árvíz és Belvízvédelmi Szolgálat kebelén belül létrehozta légifényképezési stúdióját annak érdekében, hogy szükség esetén gyorsan, viszonylag kis költséggel, gazdaságosan készíthessenek a vízügy speciális igényeit kielégítő légifelvételeket. A stúdió hatékony működését az tette lehetővé, hogy a nem-mérőkamerás felvételek engedélyezése és végrehajtása lényegesen könnyebb volt. Az engedélyeztetés és a cenzúrázás egy-két nap alatt megoldható volt, ami lényegesen gyorsabb adatszolgáltatást biztosított a mérőkamerás felvételekhez viszonyítva. Tekintettel arra, hogy sem az árvíz-, sem a belvízvédelem nem igényelte a nagyméretarányú kataszteri térképek által támasztott pontossági követelményeket, a nem-mérőkamerás felvételek feldolgozása is lényegesen leegyszerűsödött. Jó mi-

nőségű fényképnagyítóval (pl. Durst) az interpretációs igényeket kielégítő pontosságú transzformátumokat lehetett készíteni. Ezek a nagyítások elégséges alapot biztosítottak nagyobb területeket lefedő felvételsorozatokból fotómozaikek készítésére, amelyek gyorsan szolgáltatott információt a szükséges döntések meghozatalához. Összességében: drága mérőkamera helyett (amelyet amúgy is csak a honvédség üzemeltethetett volna) – kereskedelmi forgalomban kapható kamera, drága fotogrammetriai feldolgozó műszerek (képtranszformátor, sztereo fotogrammetriai kiértékelő műszer) – jó minőségű fényképnagyító és viszonylag egyszerű filmelőhívó berendezés beszerzésével létre lehetett hozni egy hatékony és gyors információszolgáltatást végző légifényképezési stúdiót. Ehhez rendelkezésre álltak a vízügyi szolgálat saját kezelésében lévő repülőgépei is. Azt, hogy ezt a lehetőséget jól kihasználták a VÍZDOK szervezetén belül működő stúdió szakemberei, bizonyítja az archívumban megtalálható sok százezer felvétel, amelyeket nemcsak vízügyi célra, hanem többek között Nemzeti Parkok és vízügyi környezetvédelmi intézményeink számára készítettek. 1970-óta Hasselblad 500 EL/M középformátumú fényképezőgépekkel készülnek ezek a fotómozaikek. A hetvenes években ez a típus csúcs technológiának számított a középformátumú fényképezőgépek kategóriájában (pl. a Hold séták alkalmával is Hasselblad fényképezőgépeket használtak).

2. Célkitűzések

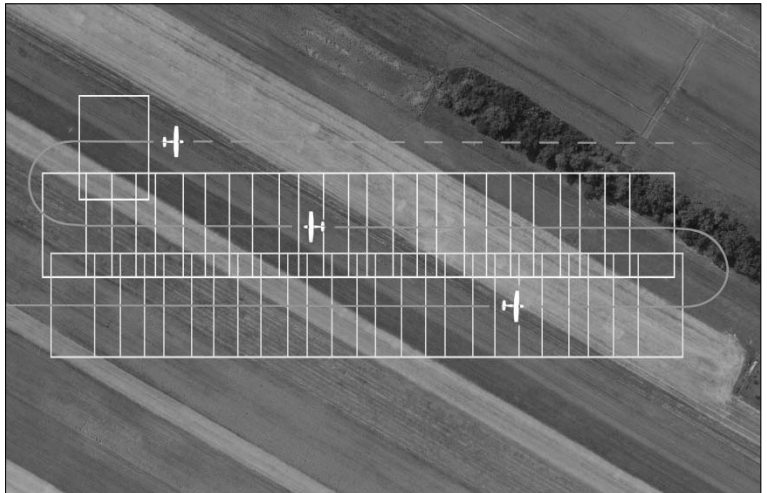
Ismeretes, hogy az elmúlt években a digitális fényképezőgépek fokozatosan kiszorították a hagyományos filmmel működő fényképezőgépeket, köszönhetően a számítástechnika nagymértékű fejlődésének és számos előnyös tulajdonságuknak (filmhívó berendezések mellőzése, szkennelés szükségtelessé válása, jobb felbontás, megnövekedett spektrális érzékenység stb.). Teret hódított a digitális mérőkamerák alkalmazása

is a térképészeti feladatok elvégzéséhez. Ezért a VITUKI Nonprofit Közhasznú Kft. 2006-ban olyan programot indított el, amelynek célja az eddigi felvételezési eljárásunkhoz alkalmazott analóg kamerák kiváltására egy, a klasszikusnál jóval nagyobb felbontású digitális felvételezési rendszer kialakítása a valószínűs és a közeli infravörös spektrális tartományokban. Olyan kamerákat kerestünk, amelyek alkalmasak akár 1 centiméteres terepi felbontású légifelvételek előállítására merevszárnyú repülőgépről. Mindezt úgy, hogy ugyan ezzel a berendezéssel még 2500 m relatív repülési magasságból is legalább 30 cm/pixel terepi felbontás legyen elérhető, akár 41°-os képszög mellett is. Feltétel volt még a korszerű digitális mérőkamerákét meghaladó képminőség (színek pontossága, dinamika, jel-zaj viszony), és a jó geometriai pontosság, bár nem volt elvárás, hogy a légifényképezési célokra gyártott mérőkamerák geometriai pontosságát elérjük. Ezen program keretében vizsgáltuk annak a lehetőségét, hogyan lehet a mérőkamerás felvételezésnél olcsóbb légifelvételezési eljárással jóminőségű légifelvételeket készíteni.

Ebben a cikkben a program első szakaszának eredményeiről számolok be. Ebben a fázisban az volt a feladatunk, hogy megtaláljuk a legalkalmasabb kamerarendszert, és megoldást találjunk az alacsony repüléssel végzett függőleges kameratengelyű légifényképezésnél fellépő perspektív, repüléstechnikai és képfeldolgozási problémákra.

3. Kis- és középformátumú digitális fényképezőgépek tesztelése

Széles körben elterjedtek a digitális fényképezőgépek, de a forgalmazott típusok képei sokáig nem érték el az analóg fényképezőgépek képi minőségét. A professzionális kategóriában mára megváltozott a helyzet. Előzetes vizsgálataink alapján 16 korszerű, professzionális kis- és középformátumú digitális fényképezőgép jöhetett számításba interpretációs célú légifényképezéshez, de független laboratóriumok teszteredményei



1. ábra Digitális kamerával készített légifotó-mozaikjaink 20–40%-ban átfedő képsorozatokból állnak össze, a sorokon belüli képek átfedése általában 55–65%

alapján ki lehetett szűrni a gazdasági és fotótechnikai szempontból alkalmatlan típusokat, így csak hat típust kellett megvizsgálnunk.

Az előzetes tanulmányozás alapján alkalmasnak ítélt kisformátumú (FX, azaz 24×36 mm képérzékelőjű) fényképezőgépekkel végeztük el vizsgálatainkat, melyek a következők: *Nikon D3*, *Nikon D3x*, valamint a *Canon 1 Ds Mark III*, *Canon EOS 5D Mark II*. Bevontuk a tesztekbe a Hasselblad kamerákhoz kifejlesztett *Phase One 45+*, és *Phase One 65+* középformátumú (6×6 cm érzékelő méretű) digitális hátfalakat is, amelyek a filmkazetta helyére téve biztosítják a digitális leképezést. Minden esetben a kameraoptika rendszer együttes tulajdonságait vizsgáltuk az erre a célra telepített feloldási teszt alapján, gyakorlati légifényképezési feladatok végrehajtása során.

A korrekt összehasonlíthatóság érdekében minden esetben a képformátumnak megfelelő alap objektívvel készítettük a felvételeket. Ez kisformátumú fényképezőgépek esetében 50 mm, középformátum esetén 80 mm fókusz távolságot jelent. Szintén az összehasonlítás érdekében a Hasselblad fényképezőgéppel eredetileg filmre készített felvételeket is digitalizáltunk. Így a Hasselblad (55×55 mm effektív képméretű) Kodak Aerocrom filmre készített felvételeit 3200 dpi-vel (8 mikron) digitalizálva olyan felbontású képet nyerünk, mintha azok 38,7 megapixeles digitális fényképezőgéppel készültek volna. Megjegyezzük, hogy az effektív megapixel a digitá-

lis fényképezőgép képérzékelő felbontásának leggyakoribb mérőszáma, a képelemek számára utal (feltételezve a képarány és az érzékelő méret feltüntetését). Azt definiálja, hogy mekkora képet tud készíteni a fényképezőgép, és milyen felbontással [2].

Meg kell említeni, hogy a Kodak gyár leáll a légi feladatokhoz szükséges filmek gyártásával, így azok beszerzése akadozik, bizonytalan és előbb-utóbb lehetetlenné válik, pedig ez a jó minőségű film a gyakorlatban nagyon jól bevált.

3.1. A középformátumú fényképezőgépek

A Phase One P 45+ (39 megapixel felbontású, 6,8 mikron elemi pixelméretű, 48,9 × 36,7 mm érzékelő méretű) és P 65+ (60,5 megapixel felbontású, 6 mikron elemi pixelméretű, 53,9 × 40,4 mm érzékelő méretű), középformátumú Hasselblad vázhoz gyártott digitális hátfalak biztonságosan csak 600 m relatív repülési magasság fölött alkalmazhatók, mert az alacsonyabban készített felvételek életlenek lettek az alacsony érzékenység, és az ebből adódó hosszabb záridők miatt. A mellettük szóló érvek: a nagy felbontás, valamint az, hogy optimális időjárási viszonyok mellett nagyon jók a dinamikai tulajdonságaik. Nagy magasságból kiváló képeket produkálnak. Ha azonban a megvilágítás nem tökéletes (ami légifelvételéznél gyakran előfordulhat), a képek minősége, részletgazdagsága romlik. Sajnos ellenük szól a magas ár, pedig 600 m relatív repülési magasság fölött (merevszárnyú repülőgép esetében) gazdaságosabbak a kisformátumú fényképezőgépekénél. Lassabb munkabességű repülőeszköz, például a helikopter természetesen lehetővé teszi, hogy alacsonyabbról is készítsünk képvándorlás mentes felvételeket. A két hátfal közül a jóval nagyobb felbontású P 65+ hátfalat tartottuk alkalmasabbnak, és a kis árkülönbség miatt ezt éri meg beszerezni.

3.2. A kisformátumú fényképezőgépek

3.2.1. A Nikon professzionális fényképezőgépei

A *Nikon D3* 12,05 megapixeles és a *Nikon D3x* 24,5 megapixeles fényképezőgépeket *Nikkor 50 mm f/1.4 D*, valamint *AF-S Nikkor 50 mm f/1.4 G* objektívvel teszteltük. Az érzékelő dinamikája miatt könnyű volt megtalálni a helyes expozíciót, melynek eredményeként a felvételek nagyon

szépen illeszthetők. A felvételeken sehol nem táltunk kirívóan sötét alulexponált foltokat, mint ahogy túlexponált, magas reflektanciájú részeket, túlzott becsillanásokat sem. A *Nikon D3* is alkalmas fotomontázs készítésre, de felbontása miatt sokkal gazdaságosabb a *D3x* használata. Tapasztalatunk szerint a kevésbé jó minőségű és kategóriájú fényképezőgépek nem adnak ekkora szabadságot, nagy területek esetében inhomogén lesz a képkockák minősége. A nem teljes érzékelős (nem „full frame”, például a $\approx 24 \times 16$ mm DX méretű) típusok egyébként sem felelnek meg interpretációs hasznosítású légifelvételzés céljából. Azok a fényképezőgépek tartoznak ide, amelyek érzékelője nem éri el a kategóriája méretét (pl. *Leica* formátum esetén a 24×36 mm szabványos érzékelő méret).

A *Nikon D3* és *D3x* kamerák beépített intervallométerrel rendelkeznek, amellyel biztosítható az expozícióvezérlés. A tesztek során megállapítottuk, hogy nagyon pontatlan mindkét típus intervallométerének indítása. Előfordult, hogy akár 2, sőt 3,5 másodperccel késleltetve indították el az exponálási sorozatot. Ez a probléma *MC-36* típusú, a kamerához külön megvásárolható intervallométer-távkioldóval orvosolható. A sorozatban szükséges felvételek számát előre beállíthatjuk, ezzel biztosítva a sorozat végén az automatikus kikapcsolást. Érdemesebb azonban a költségesebb, ugyanakkor pontosabb GPS rendszerrel ellátott számítógépről vezérelni az expozíciót.

Ha függőleges tengelyű objektívvel készítünk képeket, az automatikus képelforgatást (auto image rotation) ki kell kapcsolni, mert ilyenkor a fényképezőgép változó tájolásra vonatkozó információkat rögzíthet, ami a feldolgozás során problémát okozhat. Fontos, hogy nagysebességű háttértárolót vagy memóriakártyát használjunk, mert minél alacsonyabban fényképezünk, annál rövidebb a felvételi időköz. Ilyen tároló használata mellett a vizsgálatba bevont valamennyi kisformátumú fényképezőgép kiolvasási sebessége lehetővé teszi a negyed másodperces intervallumot is.

A négy kisformátumú kameratípus közül a *Nikon D3x*, a vizsgált 50 mm fókusz távolságú objektívek közül az *AF-S Nikkor 50 mm f/1.4 G* felelt meg legjobban a fotómozaikok előállításához szükséges légifelvételzésre. Gazdasági szempontból is előnyösnek bizonyultak, mert szemlélő forintért minden szükséges tartozékaikkal beszerezhetők, míg a *P 65+* hátfal éppen ötször ennyibe kerül. A *Nikon D3x* terepi felbontását az

1. táblázat

AF-S Nikkor 50 mm f/1.4 G objektívvel szerelt Nikon D 3X-re vonatkozó táblázat

H rel [m]	Lx [m]	Ly [m]	By [m]	Bx [m]	T [sec]	KTF [cm]	M = 1:	E _{max} [1/sec]
1000	478	720	432	191	3,8	12	20.000	640
800	382	576	346	153	3,1	9,6	16.000	640
600	287	432	259	115	2,3	7,2	12.000	750
500	239	360	216	96	1,9	6	10.000	800
300	143	216	130	57	1,2	3,6	6.000	1500
200	96	144	86	38	0,8	2,4	4.000	2000
150	72	108	65	29	0,6	1,8	3.000	3000
100	48	72	43	19	0,4	1,2	2.000	4000
80	38	58	35	15	0,3	1	1.600	6000
60	29	43	26	11	0,2	0,7	1.200	8000

1. táblázatban mutatjuk be. A képerzékelő pontos mérete $36 \times 23,9$ mm, a felvételek tehát nem négyzet alakúak, mint a klasszikus mérőkamerák, vagy a középformátumú kamerák esetében. A képfőpont közeli terepi felbontást 400 m relatív repülési magasság felett ISO 200 érzékenységnél, különböző zársebességeken, 2,8, 4,0, 5,6 rekesznyílásoknál fényképezett tesztoszorozatok átlagából számoltuk. 400 m relatív repülési magasság alatt is csak a lineáris geometriai képvándorlástól mentes képeket vettük alapul, de itt nem készültek 4,0 és 5,6 blendével felvételek.

Az 1. táblázat a Nikon D3x felbontási és méretarány adatait tartalmazza az 50 mm f/1.4 G objektív alkalmazása, és sík földfelszínrészlet esetén, a repülési magasság függvényében. A képerzékelő elemi pixelátmérője a gyártó adatai szerint 5,94 mikron. Feltüntetettük még az expozíciók közötti intervallumot 180 km/h repülési sebesség esetén:

Hrel: relatív (terepfeletti) repülési magasság;

Lx: a képkocka által lefedett földfelszínrész repülési irányú szélessége);

Ly: sáv szélesség (a képkocka által lefedett Földfelszínrész repülési irányra merőleges szélessége);

By: sorok közötti távolság $q = 40\%$ esetén;

Bx: soron belüli expozíciós helyek közötti távolság $p = 60\%$ esetén;

T: a 180 km/h repülési sebességhez tartozó expozíciók közötti időintervallumok;

KTF: a képközéppont közeli terepi felbontás (terepi felbontás: 1 pixel hány cm szélességű terepi foltot fed le);

M: felvételi méretarány (képerzékelőre vonatkozó méretarány adott relatív repülési ma-

gasság mellett). A felvételek tizennégyszeres nagyítás esetén még éles fotóminőségű képet biztosítanak 300 dpi nyomtatás esetén;

E_{max}: a leghosszabb megengedett expozíciós idő, amely alkalmazása esetén még nem haladja meg a lineáris képvándorlás értéke az elemi pixelméretet az adott repülési magasságon, 180 km/h repülési sebesség esetén. Gyakorlati tapasztalataink alapján a valóságban ennek majdnem a duplája, az az expozíciós érték, amely mellett még éles felvételek készíthetők.

3.2.2. A Canon professzionális fényképezőgépei

A Canon EOS 1 Ds Mark III és a Canon EOS 5D Mark II – Canon EF 50mm f/1.8 II objektívvel adta a legjobb minőségű földi tesztképeket, de ugyanez az objektív a repülőgépen alkalmazatlannak bizonyult, nem bírta a rázkódást. Lencsési rezegtek a helyükön, így a sorozatfelvételek készítése közben váratlanul előfordult egy-két életlen felvétel. A Canon EF 50 mm f/1.4 disztortiója a képszelek felé igen nagy, így bár a fényképezőgépek felbontása kedvező (21,1 megapixel), nem jutottunk hozzá a feladathoz szükséges 50 mm fókusz távolságú objektívhez, amelynek minimális az elrajzolása és ugyanakkor állja a rezgések okozta rázkódást is.

4. Összehasonlítás és általános következtetések

A tesztek során összehasonlítottuk a felsorolt kameratípusok dinamikai átfogását (az árnyalatter-



2. ábra A közepes magasságból is alkalmazható vonalas felbontási teszt és az alacsony relatív repülési magasságnál bevált Siemens-csillag állványról és levegőből

jedelem szélességét), a képszéleken tapasztalható leképezési hibákat, valamint a dinamikus feloldóképességet vizsgáltuk. A vizsgálat alapelemének a terepre kihelyezett feloldási teszt alapján meghatározott tényleges terepi feloldást választottuk. Nem ez volt az első eset, hogy légi felvételeket a terepen kihelyezett, jól látható mérőábrával ellenőrizzük. Nagyon jó hazai példa erre a Winkler Péter által, az 1970-es években mérőkamerára kidolgozott módszer [3]. Ez a legcélravezetőbb módja a valós terepi felbontás megállapításának adott megvilágítási viszonyok között, adott felszerelés és, reális munkakörülmények esetén. A szakirodalom ezt dinamikus feloldásnak nevezi [4].

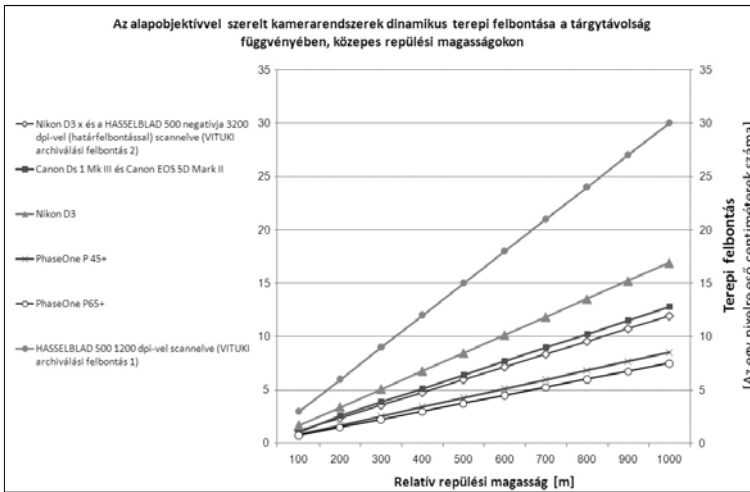
Négyféle tesztábrát alkalmaztunk. A saját készítésű, magas kontrasztú (fekete-fehér), 300, 250, 200, 150, 140, 130, 120, 110, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 mm csökkenő méretű sávokat tartalmazó felbontási tesztábrát (1000 m relatív repülési magasságig) és 100 m relatív repülési magasság alatt Siemens-csillagot (2. ábra). Koren és Kodak (5) tesztnyomatok segítették a különböző kamerákkal, különböző magasságokból készített felvételek terepi felbontásának meghatározását. A fényképezőgépekkel a képszögnek megfelelő minimális távolságból, valamint 5, 10, 15, 20, 25, 30 méterről készítettünk a tesztábrákról földi felvételeket és 30, 60, 80, 100, 200, 300, 800, 1000 m relatív repülési magasságból légifelvételeket, ahol a tesztábra a kép nadírponjtáéhoz esik közel. A legnagyobb terepi felbontású éles légifotó 60 méter magasságból készült 150 km/h repülési sebességnél.

Sem a tesztek, sem pedig későbbi munkáink során nem alkalmaztunk mechanikai (kamerarendszeren kívüli), optikai, vagy digitális képstabilizátort, csupán a repülőgépeink padlólemezébe illeszkedő, a fényképezőgép függőleges beállítását biztosító felfüggesztő keretet. Az optikai és a digitális képstabilizátorok a kamerák

felvétel közbeni rázkódásából eredő élettenséget kompenzálják és nem alkalmasak a képvándorlás kompenzálására.

A fénymérést minden esetben a fényképezőgép saját belső fénymérőjére hagyatkozva végeztük. Minden felvétel ISO 200 fényérzékenységgel készült, raw (ún. nyers) fájlformátumban, automatikus fohéregyensúllyal. A telítettséget és a kontrasztot mindenhol a gyári alaphelyzetben hagytuk, illetve állítottuk az egységes összehasonlíthatóság érdekében. Az automatikus élességállítást 30 m felett mindenhol kikapcsoltuk, végtelenre rögzítve az élességet. A földi felvételek készítésénél a középponton mért automata élességállítást alkalmaztuk (ez a funkció automatikusan fókuszálja a fényképezőgép objektívét) és állványról, a tesztábrára merőlegesen exponáltuk ezeket a képeket. Az elkészült digitális felvételeket Adobe Photoshop Cs3 szoftverrel értékeltük ki 100%-os nagyításban. A 3. ábrán összevethetjük a kameratípusok terepi felbontását, a kihelyezett tesztábrákkal nyert eredmények alapján. A Hasselblad filmjét 1200 és 3200 dpi-vel digitalizáltuk (mert az általános gyakorlatban ezeket alkalmazzuk archiválásnál a távérzékelési osztályon).

Az érzékelő és az objektív közös feloldóképessége határozza meg, hogy adott magasságból milyen terepi felbontású képeket tudunk készíteni, valamint hogy az elvárt felbontás eléréséhez milyen magasan kell repülnünk. Ebből az is következik, hogy azonos terepi felbontás esetén minél nagyobb a fényképezőgép felbontása, annál kevesebb képet kell készíteni ugyanakkora terület lefedéséhez. Ezáltal csökken a repülés és a képfeldolgozás ideje, illetve költsége. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a Hasselblad digitális hátfalai biztosították a legnagyobb terepi felbontást. Sajnos 600 m relatív repülési magasság alatt a legkisebb alkalmazható expozíciós idő miatt képvándorlás léphet fel. Ezért alacsony repüléskor nem alkal-



3. ábra. Minél közelebb vagyunk az x tengelyhez, felbontás szempontjából annál alkalmasabb légifényképezésre az adott kamerarendszer. (Az összehasonlítás során minden kamerarendszert alap objektívvel teszteltünk, ISO 200 érzékenységnél, különböző zársebességeken, 2,8, 4,0, 5,6 blendéknél)

mazhatók olyan biztonsággal, mint a többi eszköz. A Nikon D3x és a két Canon típus felbontása a régen rendszerben lévő Hasselblad filmjének felbontásával vetekszik.

A dinamikai átfogás szintén nagyon lényeges a képek részletgazdagsága szempontjából, ugyanis célszerű, hogy a fotómozaik összes képkockája azonos beállításokkal készüljön. Ha a dinamikai átfogás kicsi, könnyen előfordulhat, hogy alul- vagy túlexponált képrészek adódnak, mikor egy világosabb Földfelszín részletet egy sötétebb követ. Ugyanigy az épületek, fák árnyékában is adatvesztés jelentkezik. Ez pedig a felvételek egyenletes képi világát, tónusát, világosságát, részletgazdagságát veszélyezteti. Emiatt a fotómozaik összeállítása is sokkal nehezebb.

Az érzékenység ISO 320 érték alatt elégti ki az interpretációs célú digitális légifényképezés igényeit a vizsgált típusok esetén. Mert az e fölött az érték fölött jelentkező képzaj mind az interpretációban, mind a tanulóterület osztyályozásban hibás elemzési eredményhez vezethet.

A Nikon D3x megfelelő napállás, alacsony páratartalom és felhőtlen időjárás esetén 300 m relatív repülési magasság fölött 1/1200 másodpercnél rövidebb záridőknél biztonságosan éles képeket készít a földfelszínről, nem észlelhető lineáris geometriai képvándorlás, ha a repülőgép 150 km/h-nál lassabban repül. 150 méteren 1/1800 másodpercnél hosszabb záridővel már nem ér-

demes fényképezni ugyanennél a sebességnél. 500 méter relatív repülési magasságnál 200 km/h felszínhez viszonyított repülési sebesség esetén 1/1000 másodperc is megfelelő expozíciós idő, míg 700 méteren ez az érték akár 1/640 is lehet. Törekedni kell arra, hogy 4,0 vagy ennél szűkebb lencsenyílást alkalmazzunk, és minden magasságon kerülnünk kell az 1/640 másodpercnél hosszabb zársebességet a rezgések és a repülőgép sztochasztikus, nem repülésirányú mozgásai miatt. Alapvetően elmondható, hogy a nagyfelbontású légifényképezésre képvándorlás kompenzáló berendezés nélkül is alkalmas merevszárnyú repülőgépek munkasebessége 110–300 km/h között változik, és kedvező időjárási viszonyok között 1/1000 másodpercnél rövidebb záridőnél általában biztonsággal készíthetünk éles felvételeket a repülőgépek fényképezőaknájában függőlegesre állított Nikon D3x kisformátumú fényképezőgéppel. Az érzékelő érzékenysége és a zársebesség szükségtelenné teszi képstabilizátor (az elmozdulásokat az optikai alkatrészek vagy a képérzékelő mozgatásával kompenzáló fényképezőgépben belüli rendszer) és képvándorlás kompenzáló berendezés alkalmazását. 2009. szeptember 2-án például 1,8 cm terepi felbontású fotómozaikot készítettünk a Budapesti Állat- és Növénykert és a vidámpark teljes területéről, 150 m relatív repülési magasságból.

5. A tesztek során alkalmazott repülőgéptípusok

Különböző repülési magasságokon más repülőgéptípust érdemes használni műszaki és gazdasági okokból. Tapasztalatunk szerint 60–500 m relatív repülési magasság között PZL Gawront és Pilatus Porter-t érdemes alkalmazni, az alacsony átesési sebességük miatt (~110 km/h), 500–800 méter között Antonov An-2-t, mert szeles időben is stabil marad. 800 m fölött különböző Cesnákat, mert gyorsak és gazdaságosak. A 2. táblázat szemlélteti néhány repülőgéptípus legkisebb munkasebességét és az utazósebességüket.

2. táblázat

A lineáris geometriai képvándorlás szempontjából megengedhető záridők a Nikon D3x esetében 400 m relatív repülési magasság, 5 cm terepi felbontás esetén, a repülőgéptípusok minimális repülési sebességénél

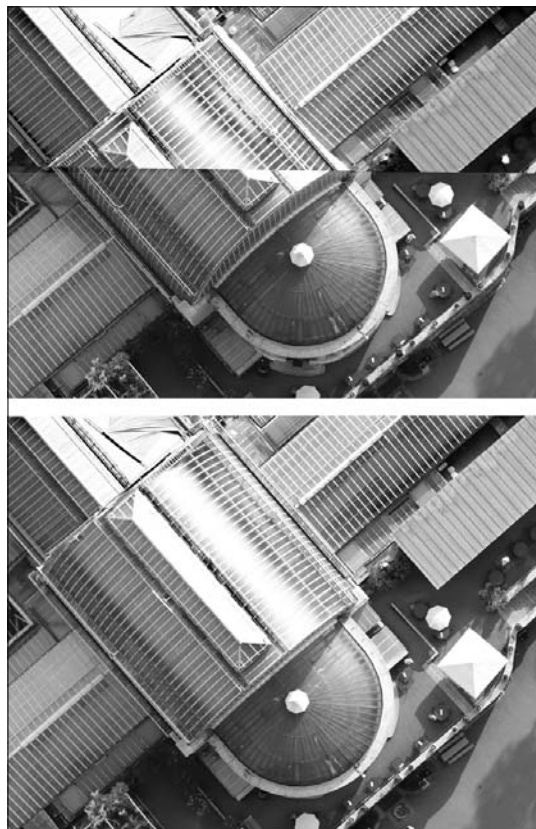
Repülőgép típus	V_{min} [km/h]	$T_{S,min}$ [s]	V_u	K [db]
Pilatus Porter	110	1/640	180	3
PZL Gawron	120	1/700	150	7
An-2	140	1/800	180	8
Cesna 182	150	1/870	200	2
Cesna TU 206	180	1/1050	250	4

V_{min} : legkisebb biztonságos repülési sebesség;
 $T_{S,min}$: a még jó minőségű felvételkedzítést biztosító záridő (számított érték), 400 m relatív repülési magasságból, $f = 50$ esetén, végtelenben rögzített fókusszal, 1:8088 felvételi méretarányánál, (1:570 nyomtatási méretarány). A még éles, jó minőségű felvétel készítésének feltétele a 6 mikronnál (az érzékelő képpont átmérője) kisebb lineáris geometriai képvándorlás;
 V_u : a repülőgép utazó sebessége;
 K: beépíthető kis- vagy középformátumú kamerák száma.

A repülőgép típusok között gazdasági különbségek mutatkoznak. Az Antonov An-2 üzemeltetése lényegesen költségesebb például a Cesna 182 és a Cesna 206 üzemeltetési költségeinél, és bár az óradíja alacsonyabb a PZL-eknek, az alacsonyabb utazósebesség miatt nagyjából ugyan anyiba kerül velük végrehajtani egy adott feladatot, mint az említett An-2 esetében.

6. A kis magasságból készült felvételek feldolgozásának problémái

A megfelelő eszközök kiválasztásán, beszerzésén túl fel kell készülni az alacsony repülési magasságokon (~ 800 m alatt) történő függőleges kamertengelyű felvételezés nehézségeire. Már a repülési terv elkészítése is sokkal nagyobb figyelmet igényel, szükségessé válik a speciális tereptárgyak, kiemelkedő objektumok figyelembe vétele. A párhuzamos repülési sorokon felül szükséges lehet további sorok felvételére olyan magas objektumok esetén, amelyeknek a nadírpontba kell kerülniük, hogy egyáltalán össze tudjuk állítani a fotómozaikot. A tárgy távolság csökkenése miatt na-



5. ábra A vágóvonal generálás és a képek összeolvasztása is más szoftverhátteret igényel, mint a klasszikus légifelvételek esetében

gyobb a perspektív torzulás az egyes képkockákon belül, de a fotómozaiok teljes területére vonatkoztatva nem jelentkezik ez a hatás. Ez a minimálisan 40%-nál nagyobb, sorok közötti átfedésekkel magyarázható, és azzal, hogy így a nadírponthoz közeli területek kerülnek felhasználásra a fotómozaiok összeállításánál. Ezek a mozaikok több képfőponttal készülnek, mintha nagyobb magasságból, kevesebb kép elkészítésével fényképeznék a munkaterületet. A tárgy távolság a kisebb kiemelkedések, tornyok, kémények esetében jelentősen csökken. Ezért, ha ilyen alacsonyan ortofotót szeretnénk készíteni, a magas létesítmények ugyanolyan részletes felületmodellt igényelnek, mint amilyen részletességű terepmodellt igényelnek a magasról készített ortofotók esetében a hegyek. Érdemes egyértelműsíteni, hogy az ilyen nagyfelbontású ortofotók készítése rendkívül költséges. A kisebb pontosságú fotómozaikok készítése viszont nagyon gazdaságos.

Az alacsony fényképezés elvitathatatlan előnye a nagy felbontás és a sűrű nadírpontokon túl a kis közeghatás, azaz kevesebb páramennyiség és légszennyező anyag található a földfelszín-részlet és kamera között, mintha nagyobb volna a tárgyátvolság.

A fentiekből érzékelhető, hogy az igen nagy felbontású, kis formátumú kamerákkal készített digitális képek térinformatikai feldolgozása több újszerű problémát vet fel. Számos különböző típusú szoftver vizsgálatával sikerült olyan megoldást találni, amely kiváló minőségű légifénykép-mozaikok összeállítását tette lehetővé. A megfelelő eredmény eléréséhez több szoftver együttes alkalmazása volt szükséges. (A képek abszolút illesztéséhez LPS 9.2 ENVI 4.5, szoftvereket próbáltunk ki, terepi illesztőpontok alapján, a képek egymáshoz illesztéséhez Adobe PhotoShop PS CS3 és egyéb képfeldolgozó szoftvereket alkalmaztunk.)

A klasszikus mérőkamerás felvételek esetében nagyobb területet fed le egy képkocka, azonos repülési magasság esetén. Ilyenkor a képeken könnyen generálható vágóvonal nélkül, hogy átmetsszené a nehezen illeszthető objektumokat. Például elég lehet egyféle vágóél alkalmazása a képek összeolvasztásakor. 10 cm/pixel-nél nagyobb terepi felbontás esetén azonban jóval bonyolultabb eljárást kell alkalmazni a vágóél egyes szakaszainak kiválasztására a textúrának és a képi tartalomnak megfelelően.

7. További feladatok, törekvések

Az utómunkálatok meggyorsításához, leegyszerűsítéséhez a kamerarendszer mérőkamerához hasonló üzemeltetése jelenthet megoldást.

Nagyon fontos a nagy felbontásból adódó új lehetőségek feltérképezése, és az információ-igényt támaztó szakterületekkel, ágazatokkal való együttműködés kibővítése. A fejlesztések hasznosságát a felhasználó szervezetekkel együttműködve lehet ellenőrizni, az ő igényeiknek megfelelően kell továbbfejleszteni az eljárást. Célunk, hogy amennyiben távérzékelt adatok állnak rendelkezésre egy területről, azok minél több érintett közigazgatási, gazdálkodó és tudományos fél számára elérhető legyenek. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a nagyfelbontású légifotó-mozaikok kiértékelési lehetősége nagyon széleskörű. Ismeretes, hogy a hagyományos felbontású légifotó-térképek is nagyon sokrétű felhasználási lehetőségeket biztosítanak, mint például topográfiai

térkép felújítás, kataszteri térképek aktualizálásához, talajtérképezéshez háttér-információ biztosítása, eróziós területek lehatárolása, erdőterületek felmérése, mezőgazdasági támogatási rendszer digitális ortofotó alapjának megteremtése, településfejlesztés, önkormányzati alkalmazások (engedély nélküli építkezések felderítése, regionális tervezés, infrastruktúrafejlesztés, vízgazdálkodás, környezetvédelem stb.) [6].

Ehhez képest, ha csak a botanikai alkalmazásokat tekintjük, sokkal nagyobb kiértékelési lehetőségeket kínál – például térbeli flóratérképezés háttér információit szolgáltatva – egy 4 cm terepi felbontású légifotó-mozaik, ahol már a lombszerkezet, levélállás is megjelenik, mint új információ. Régebben 30 cm/pixel terepi felbontású légifelvétel-mozaik alapján (helyszíni adatgyűjtés nélkül) a következő felszíni elemeket tudtuk elkülöníteni: mezőgazdasági terület, erdő (fás terület, faszor, facsoport), fiatal erdő (erdőültetvény), bokros terület (cserjés), füves terület, vízfelület, nedves terület, település, beépített terület, üzemi területek, kopár terület, tereprendezés, folyómedrek, holtágak, vízfolyások, csatornák, vízepítési műtárgyak [7]. Ha arra gondolunk, hogy egy közepes felbontású légifelvétel ilyen információbázis, könnyen belátható, hogy milyen széleskörű lehetőségek rejlenek a 10–1 cm/pixel felbontás-tartományban. Ezért a felbontás növekedésében rejlő új lehetőségeket is érdemes lesz vizsgálni. (Fotómozai egy képkockája látható a folyóirat címlapján.)

8. Összefoglalás

Vizsgálataink során olyan módszert rendszeresítettünk, amellyel költséghatékonyan készíthetünk interpretációs és marketing célú fotómozaiakat a kisebb közigazgatási és gazdálkodó egységek számára. Ez a módszer azonban nagykiterjedésű területek esetében már nem költséghatékony. Számításaink szerint ez az eljárás 40 km² területen lehet rentábilis. Reményeim szerint az első sorban interpretációs (természetvédelmi, botanikai, vízügyi, élőhely elemzési), jogi bizonyíték és marketing célú, kisebb területekre összpontosító eljárás továbbra is sikeresen alkalmazható.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki *Bata Henriettnek* és a *Nikon Kft.-nek*, *Késmárki Péternek* és a *Tripont Kft.-nek*, *Geréb Zsolt*nak (www.artwork.hu),

hogyan rendelkezésünkre bocsátották a fényképezőgépeket, valamint *Licskó Bélának* (VITUKI Kft.) az utóbbi három évben nyújtott önzetlen szakmai segítségéért. Köszönöm *Winkler Péternek* a mérőkamerákkal, eljárásokkal kapcsolatos információkat és a történeti háttér áttekintésében nyújtott sok segítséget. Köszönet illeti *Molnár Zsoltot*, aki nagyon komolyan hozzájárult a szoftverek kiválogatásához, teszteléséhez.

A program résztvevői:

Bakó Gábor: A repülések megtervezése, felvételzés végrehajtása és kiértékelése (VITUKI, SZIE)

Eiselt Zoltán: Környezetmérnök, navigátor (VITUKI, SZIE)

Licskó Béla: Témafelelős, minőségellenőr (VITUKI)

Molnár Zsolt: Műszaki asszisztens (INTERSPECT)

IRODALOM

1. L.1. Szabályzat a mérőkamerás légifényképezések megrendelésére, előkészítésére, vizsgálatára és szolgáltatására.
2. *Illés D.* (2009): <http://illesdaniel.hu/digitalis-fotozas.htm> 2010. február 18.
3. *Winkler P.* (1975): „Légifényképek minőségének javítása.” Témavezető: Winkler Péter (FÖMI kutatási beszámoló 1975. FÖMI könyvtár)
4. *Domokos Györgyné* (1983): „Fotogrammetria és távérzékelés” 3.1 64.o. 1983. Budapest
5. *Koren N.* (2009): „Ensuring image quality”, Vision Systems Design, March 1 2009
6. *Winkler P.* (2000): „Magyarország légifényképezése 2000” Geodézia és Kartográfia 2001/7. LIII. évfolyam
7. *Licskó B.* (2002): „A Szigetköz digitális felszínborítás-térképeinek elkészítése légi felvételek kiértékelésével.” Térinformatika. 2002/3. pp: 13–15.

High resolution aerial photogrammetry with small- and middle format digital cameras

Bakó, G.

Summary

Predecessor of our company has taken high resolution aerial photo-mosaics from aeroplane, since the 1970's. We started a serial examination 3 years ago, our purpose was to find a digital alternative of the Hasselblad analogue camera and to develop an economical high resolution aerial photomosaicing method.

That's why we need to find the best small- and middle format digital cameras which can reach the 1 cm/pixel resolution as an aerial camera. The Nikon D3X proved to be the most appropriate for this function, with the AF-S Nikkor 50 mm 1.4 G lens. It was necessary to solve the new problems which come from the low altitude flight, aerial photogrammetry, and imaging.

www.gssnet.hu
GNSS Szolgáltató Központ

Valós idejű helymeghatározás:

- DGPS korrekciók
- RTK korrekciók
- Hálózati RTK korrekciók

Utólagos adatfeldolgozás:

- Tetszőleges rögzítési gyakoriságú RINEX és virtuális RINEX adatok

GNSSnet.hu Monitor
Minőség-ellenőrzés a terepen is!
www.gssnet.hu/pda

FÖMI KOZMIKUS GEODÉZIAI OBSZERVATÓRIUM
Tel.: 27/374-980 Fax: 27/374-982
ügyeleti telefonszám: 06-30-867-2570