

VÁROSI TÉRINFORMATIKAI ÉS DÖNTÉSTÁMOGATÓ RENDSZEREK RASZTER FEDVÉNYEI – A LEGUTÓBBI IDŐSZAK TELEPÜLÉSI ORTOFOTÓ FELMÉRÉSEINEK TAPASZTALATAI MAGYARORSZÁGON

BAKÓ Gábor^{1,2}, MOLNÁR Zsolt¹, GÓBER Eszter¹

¹Interspect Fotogrammetriai és Környezetvédelmi Kutatócsoport
2314 Halásztelek, II. Rákóczi Ferenc út 42.; e-mail: info@interspect.hu

²Szent István Egyetem, Növénytan és Ökofiziológiai Intézet
2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.; e-mail: bakogabor@interspect.hu

Kulcsszavak: légi felmérés, ortofotó, tájgazdálkodás, városökológiai monitoring

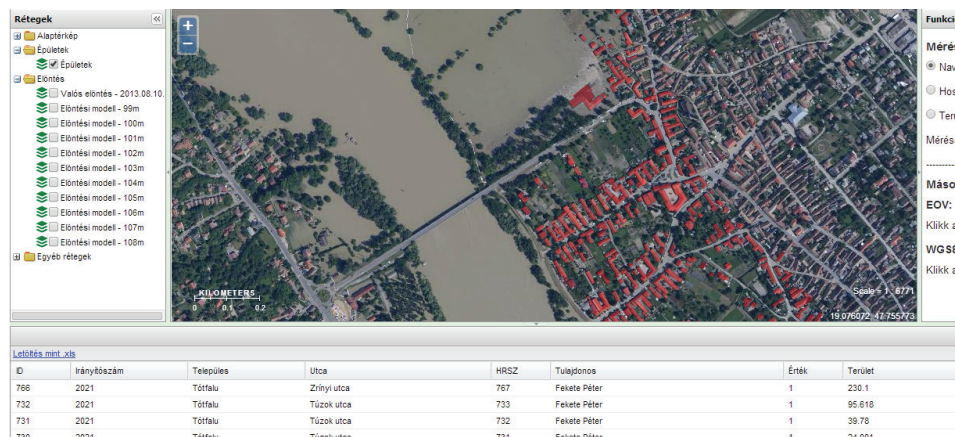
Összefoglalás: A tájökológiai és a városökológiai kutatások egyik népszerű adatforrása a munkaterületet egy-egy légifelvétel-térképként ábrázoló ortofotó-mozaik. A felszínváltozás analízishez, a hatástanulmányokhoz és a települési térinformatikának térképi alapot jelentő, a természeti állapotot objektíven tükröző adatforrás elkészítési tapasztalatairól számolunk be, érintve a műszaki megoldásokat, módszertani, gazdasági kérdéseket. Az elmúlt időszak néhány konkrét felmérésével szemléljük az ortofotó-mozaik előállításának menetét és a térképek minőségét befolyásoló tényezőket.

Bevezetés

A táj térben lezajló változásainak dokumentálása, a felszínen végbemenő, és arra hatással lévő folyamatok elemzésének, jobb megértésének érdekében már az 1910-es évek óta használják a légifelvétel-térképeket. A korszerű városökológiai vizsgálatokhoz nélkülözhetlenné vált az idősoros légifelvétel elemzés, mint az épített környezetben lezajló változások térképi rendszerének alapeleme. A településfejlesztés tervezésénél, a városi infrastruktúrafejlesztés irányainak kitűzésénél, illetve a döntéstámogató térinformatikai adatbázisok felépítéséhez, naprakészen tartásához olyan megbízható térképalapra van szükség, ami nem generalizál.

Az ortofotó valós, a felmérés időpontjában fennálló állapotokat rögzít és olyan objektív módon ábrázolja a földfelszint, hogy későbbi elemzések során számos tematikus céltérkép, valamint komplex környezetinformatikai adatbázis vezethető le belőle. Az így létrehozott informatikai rendszer választ ad számos tudományos és a városüzemeltetés mindennapi problémái során felmerülő kérdésre. Például lekérdezhető adott határértékek mentén leválogatott felszíni egységek területfoglalása, változása és a borításváltozási trendek is kimutathatóvá válnak. A jól karbantartott, pontos és aktualizált települési térinformatika adott esetben modellinputokat is szolgáltat, ezzel elősegítve a jövőkutatást (1. ábra).

Az adatok megbízhatóságát azonban alapvetően meghatározza a távérzékelt felvételek (az adatforrás) megbízhatósága (BAKÓ 2014). Cikkünkben ennek az adatforrásnak a készítési tapasztalatairól, minőségi lehetőségeiről számolunk be.



1. ábra A 2013. júniusi Duna árvízről készült ortofotó-mozaik és a belőle levezetett háromdimenziós modellek alapján a döntéstámogató, kockázatbecslő szoftver adott vízhozam megadása mellett leválogatja az elöntéssel fenyegetett ingatlanokat (©MOLNÁR, BAKÓ és Tolnai 2014)

Figure 1 Based on the orthophoto-mosaic of Danube flood in June 2013 and the 3D models derived therefrom, the decision support and risk assessment software selects which real estates are threatened by the flood at the specified water discharge (©MOLNÁR, BAKÓ and Tolnai 2014)

Előzmények

Az 1960-as évekre a katonai, topográfiai és közigazgatási célú légifényképezés mellett (amelyet korábban a Térképészeti Intézet Légifényképész alosztálya, majd az ötvenes évektől kizárólag a hadsereg végezhett) megszületik a nagyfelbontású, kis területeket megjelenítő fotótérképek igénye. A magyarországi környezetvédelmi és vízügyi célú légifelvételzés, és a felvételek feldolgozása az 1970-es évektől, 2008-ig „ARGOS” távérzékelési és filmstúdió (korábban VÍZDOK Fotószolgálat) feladata volt.

Az 1980-as évektől a Stúdió az álló- és folyóvizek, vízgazdálkodási létesítmények, valamint természetvédelmi területek, légi fényképezésén túl már települési (nagyfelbontású) légifelvétel-térképeket is készített. Ezek a légi felmérések a gyakorlatban a nyolcvanas évek végére elérték az 1:400 méretarányt (2. ábra). Az 1980-as, 1990-es években városok és kistelepülések számára az ARGOS Stúdió általában 1:600–1:2400 nagyítási méretarányú fotótérképeket készített, ami a mai digitális technológia 5–20 cm terepi felbontásának felel meg (Bakó 2010).

Az önkormányzati döntéstámogató felvételeket gyakran kármentesítései, városfejlesztési és beruházás tervezési projektekben is felhasználták (SIKHEGYI et al. 2001). A teljes területfedéses mozaikok először papírnagyításokból összevágott fotómontázs-ként, majd az ezredforduló után digitális légifotó-mozaikként, 2006 után pedig négyszeres pixelhiba alatti digitális ortofotó-mozaikként kerültek átadásra (LICSKÓ és BAKÓ 2010). A térképművek pontossága 2008-ra felzárkózott a többi európai ország mérőkamerás légifelvételeinek geometriai színvonalára. Az ARGOS Stúdió 2008-as felszámolásával a munkatársak kezdeményezésére létrejött a digitális mérőkamerákat fejlesztő és a Stúdió szerepét átvevő Interspect Csoport. A hagyományos természetvédelmi (természetes élőhelyek állapotát monitorozó) és környezetvédelmi (környezetterhelés vizsgálatát célzó)



2. ábra A székesfehérvári Zichy-liget 1:400 méretarányú (3,4 cm terepi felbontású) középformátumú filmre készített, digitalizált légifelvételekből előállított ortofotó-mozaikjának részlete. Ez az általunk ismert legnagyobb részletességű belterületi fototérkép a XX. századból, ami egy teljes városrészt megörökít. A felvételeket az Argos Stúdió készítette 1992.07.20-án, a repülőgép fedélzetén Sziklai Gábor légifényképész és Arday András pilóta dolgozott.

Figure 2 Orthophoto mosaic section of Zichy-liget, Székesfehérvár, Hungary at 1:400 scale (3.4 cm spatial resolution) generated from digitized aerial images of medium-format film. As we know, this aerial photo map has the highest resolution in the 20th century in Hungary, which captures a whole inner city. The photos were taken by the Argos Studio on 20/07/1992. Gábor Sziklai aerial photographer and András Arday pilot were working on the board.

légi felmérések mellett a felszállások egy jelentős hányadát a települési légi felmérések tették ki. A Telecopter Kft. és az EUROSENSE-group mellett a települési térinformatikai rendszereket ortofotóval ellátó szervezetek közül az Argos utódja is meghatározó maradt, annak ellenére, hogy kutatási, környezetvédelmi beállítottságú szervezet, és munkatársai elsősorban fejlesztők. Az Interspect kis létszámú kutatócsoport, amely a vizsgálatokra fordított anyagi háttérrel a felmérésekből kell, hogy kitermelje. Így a fejlődés irányát, a repülőgépek felszerelését és a mérőkamera rendszereket a sokszor speciális körülmények között végrehajtott repülések tapasztalatai alakították ki. A kutatási irányok letisztultak, két fontos tendencia figyelhető meg:

- A jó minőségű nagyfelbontású (1:50–1:1200 méretarányú) légi felmérések gazdaságos és gyors kivitelezésének zaj-, képvándorlás- és hibamentes megvalósítása, tökéletesítése, pontosság-növelése;
- A hagyományos részletességű (1:1200–1:6000 méretarányú) nagysebességű légi felmérések gazdaságos és minél gyorsabb repülési sebességű zaj-, képvándorlás- és hibamentes kivitelezésének megvalósítása, tökéletesítése, pontosság-növelése.

A felbontás növelése jelenleg 0,5 cm pixelrészletességű digitális mérőkamerás felmérések rutinszerű merevszárnyú repülőgépes megvalósításánál tart, amely elsősorban kamerafejlesztési tevékenység eredménye (BAKÓ 2012). A sebességnövelés révén akár 1440 km/h repülési sebességgel, hagyományos repülési magasságokból (500–6000 m) is elkészíthetők az éles, a 160–300 km/h sebességű hagyományos felmérések minőségének megfelelő, 5 cm terepi felbontású teljes területfedéses ortofotó-mozaik előállításához szükséges mérőkamerás légifelvételek. Polgári repülőgéppel a gyakorlatban 700–800 km/h sebességig dolgozhatunk, de ez a korlátozás is megengedi, hogy négyszer nagyobb területet mérjünk fel adott időintervallumban (BAKÓ et al. 2014).

A légifelvételek fotogrammetriai feldolgozásának digitális módszerei

Síkfotogrammetria, kép a térképhez regisztráció (Multipoint Registration)

A digitális síktranszformáció egy felvétel (vagy rosszabb esetben egy montázként összevágott képhalmaz) egy referencia ortofotóhoz, vagy referencia térképhez történő transzformálása, amely a geometriai hibáktól terhelt, földrajzi koordináta nélküli digitális kép és a térképi vetülettel rendelkező referenciakép közös pontjainak megadásával megy végbe. Domborzati viszonyokkal nem számol, ezért nevezik sík transzformációnak, és kizárólag enyhe domborzatú (kvázi sík) területekre alkalmazható. Az ilyen módon előállított (síktanszformált) felvételek elrajzolása, geometriai hibája a képterületen belül nagyon változó lehet, a módszer a kapcsolópontok (GCP, Ground Control Point) esetében biztosít pontosságot, azt is a matematikai eljárástól és a vizsgált terület domborzati adottságaitól függő mértékben.

Amennyiben a felvételek egységes panorámaképpé történő egyesítése, összevágása a georeferálás előtt megy végbe, számos felület elvész, más területek pedig duplikálódnak, mivel a domborzati különbségekből adódó vetítési hibát a felvételek adatszegény területeinek nyújtásával, részletes területeinek elfedésével teszi láthatatlanná az eljárás. A sík fotogrammetriai feldolgozással előállított mozaik geometriai pontosságát nagyon nehéz ellenőrizni, mivel a hibák sztochasztikusan jelentkeznek. A hibákat a domborzat, a kapcsolópontok felvételének pontossága, a kihelyezésük pontossága, a mozaikolás és a kamera korrigálatlan hibáinak összessége adja. A sík transzformáció esetében a terepi felbontásnak a sokszorosa a geometriai hiba (VERICAT et al. 2008).

A sík transzformációs légifelvétel feldolgozó eljárásokkal 1914-óta dolgoznak, és elmondható, hogy nem garantál tökéletes terület visszaadású és egységes pontosságú légi felvétel-térképet domborzatos területen, még a legmodernebb algoritmusok alkalmazása mellett sem (SUSANTO 2014).

Térfotogrammetriai eljárások

Az egyképes ortorektifikáció (Single Frame Orthorectification) kivitelezéséhez legalább 3 GCP és digitális felületmodell szükséges. A kapcsolópontok olyan, a felvételeken is jól lokalizálható, pontosan kijelölhető pontok, amelyeket jelölt pontok előállításával (légi fényképezést megelőző felfestés, mérőjel kihelyezés), vagy természetes pontok geodéziai bemérésével szerezhetünk be. Minél több és pontosabb a felvételen is felismerhető GCP

koordináta és terepmagasság ismert, minél pontosabb háromdimenziós felületmodell áll rendelkezésre, annál pontosabban végezhető el az ortorektifikáció. A felületmodell használata nélkül (a korábban bemutatott sík transzformációval) referenciatérképhez igazított felvétel nem nevezhető ortofotónak a magyar nyelvben. Bár a sík transzformációs eljárásnál lényegesen megbízhatóbb az egyképes ortorektifikáció, az így előállított ortofotók sem teljesen tökéletesek és a pontosságuk nem azonos a képterületen belül, mivel nincs több sorozatfelvételtől álló blokk, ahol a hibák kiegyenlíténék egymást.

Ezzel szemben az egy blokkban végbemenő sugárnyalábkiegyenlítéses ortorektifikáció (Block Triangulation) nemzetközileg elfogadott módja a légifelvétel-térképek elkészítésének. A több repülési sor átfedő sorozatfelvételeinek közös virtuális térben történő feldolgozásakor a felvételek tökéletlenségéből és a GCP kijelölés pontatlanságából adódó hibák egy része kiegyenlíti egymást (JACOBSEN 2010). A blokk matematikai kapcsolatot épít fel a projektben található felvételek, a kamerarendszer belső tájékozási adatai, valamint a vizsgált felszín között (külső tájékozási adatok). Levezethetővé válik az átfedő képrészekből (bázispárok) a digitális háromdimenziós felületmodell, amelyre rávetítve újraexponálhatóak (ortorektifikálhatóak) a felvételek (GINIA et al. 2013). A folyamat eredménye a 3. ábrán jól megfigyelhető.

A matematikai kapcsolat alapvető elemei:

- a mérőkamera kalibrációs adataiból ismert kamera modell (BROWN 1971), amely az érzékelő-kameratest-objektív rendszer elrajzolásait közös függvénnyel írja le, beleértve a geometriai, kromatikus és radiometriai (MARKELIN 2013), illetve a spektrális elrajzolások helyreállítását elősegítő értékeket (BAKÓ 2012b);
- az úgynevezett „Tie” („összekötő”) pontok, amelyek a felvételek átfedő részeinek nagy biztonsággal azonosítható közös pontjai, amelyek összeköttetést teremtenek a nyers felvételek között, így segítségükkel felépíthető a képrendszer;
- a felvételen biztosan azonosítható és pontosan lokalizálható pontokhoz terepi geodéziai felméréssel beszerzett földrajzi koordináták és tengerszint feletti magasság együttesen eredményezi a GCP-eket, azaz kapcsolópontokat, amelyek megteremtik a kapcsolatot a képi pixel koordináta rendszer és a valós földrajzi tér között az adott térképészeti vetületi rendszerben;
- a direkt tájékozás által biztosított (a mérőkamera GPS és tájoló rendszere által mért) optikai vetítési centrum koordinátái (x, y, z) az exponálásakor és a képérzékelő dőlés adatai (φ, ω, κ) felgyorsítják a képfeldolgozás menetét, mert ismeretükben soronként három GCP gyűjtése is elegendő lehet az ortorektifikálási folyamathoz.

A sugárnyaláb kiegyenlítés (Bundle Block Adjustment) a soron belül legalább 60%-ban átfedő, sorok között pedig legalább 20%-ban átfedő teljes területfedéses légifelvételek esetében végezhető el. Kiszámítja a kamera állását (bólintás, dőlés, orsózás) az expozíciók pillanatában, földrajzi koordinátákat és magasságadatokat rendel a Tie-pontokhoz (a digitális képek pixel-koordinátáihoz térbeli vetületi koordinátákat rendel), minimalizálja és kiegyenlíti a geometriai hibákat a blokkon belül.

A folyamat általában a következő sorrendben megy végbe:

- belső tájékozás: az objektív és az érzékelő elrajzolási hibáinak csökkentése és képpont koordináta rendszer illesztése a felvételekre;
- kölcsönös tájékozás: a képsorok összetartozó (Tie) pontjainak mérésével a térmodellek előállítása;

- abszolút tájékozás: ismert vetületi koordinátájú GCP megadásával a térmodellek vetületi rendszerbe illesztése. Az újraháromszögelést követően kigenerálható a felületmodell;
- rektifikáció: a centrális vetítés, a dőlés, a kamerarendszer és a domborzati elrajzolásoktól mentesített felvételek levetítése a létrehozott háromdimenziós felületmodell segítségével és ortofotókká történő újramintavételezése;
- mozaikolás: az ortofotókból egységes képi világú ortofotó-térkép létrehozása;
- szelvényezés: az egységes ortofotó-mozaik feldarabolása a felhasználók számítógépei és mobil eszközei által könnyen kezelhető, egymáshoz pixel pontossággal illeszkedő térképszelvényekre;
- webes csempeszerkezet létrehozása: az online publikálást és a gyors internetes böngészést elősegítő adatstruktúra generálása.



3. ábra Orthofotók mozaikolás előtt (Veszprém külterülete). Jól megfigyelhető a domborzati torzítás. Az ortofotók azonban itt is hűen tükrözik a felszínt. Sík transzformációs eljárással ilyen területen nem lehetséges a szabatos térképezés.

Figure 3 Orthophotos before mosaicking (Veszprém, Hungary). The distortion arising from the elevation is clearly shown. However, the orthophotos reflect the surface. The accurate mapping is not possible in such areas with the Multipoint Registration method.

Limitációk

A módszertani részben bemutatott műszaki lehetőségek – mint minden más mérés-technikai eljárás – limitáltak. Fontos meghatározni a fotogrammetriai módszerekkel szemben támasztott minőségbeli elvárásokat és a lehetőségek határát.

Az ortofotó-mozaikok elérhető pontossága

A légifelvételekből transzformációs, ortorektifikációs eljárásokkal előállított térkép pontosságára vonatkozó információt nem a képfeldolgozás során használt fotogrammetriai szoftver projektjelentésében szereplő kedvező értékek adják. Ezek az értékek csupán az operátor által bevitt kapcsolópont kijelölési hibáit jellemzik (CLEVENGER 2013). Egy térkép pontossága egy, a térkép előállításától és annak részfeladataitól teljesen független

terepi geodéziai mérési hálózat kialakításával határozható meg. Ez a gyakorlatban úgy valósul meg, hogy lehetőség szerint adott távolságonkénti ellenőrzőpontokból álló hálózat felvételekor olyan tereptárgyakat keresünk, amelyek:

- a felszínen helyezkednek el, és nem emelkednek ki jelentősen, nem takarja el őket közeli magas objektum;
- biztonsággal azonosíthatóak;
- olyan éles sarkuk, hegyük, vagy meghatározott középpontjuk van, amely lehetővé teszi az 1,5 cm vízszintes és az 5 cm magassági pontosságú lokalizálást.

A geodéziai GPS-ek segítségével, GNSS szolgáltatással az utóbbi pontosság általában három másodperces mérési üzemmódban is elérhető. Az ismertetett módon elvégzett pontosság analízis megfelelően reprezentatív ellenőrzőhálózattal lehetővé teszi az átlagos (relatív) és legnagyobb előforduló (abszolút) hiba értékeinek kiszámítását, sőt, egyértelművé teszi, ha egy részterületen lokális hiba jelentkezik. Utóbbi esetben általában a hiba okaira is fény derül (például hibás GCP kijelölés, élelten felvétel a sorozatban, esetleg tarlóégetés füstjének téves Tie-pontokat generáló hatása stb.).

Az Amerikai Nemzeti Térkép Pontossági Szabvány (NMAS 1998) nagypontosságú légi felmérésekkel szemben támasztott követelményrendszerében 2,5 pixel RMSE (Root Mean Square Error, átlagos négyzetes eltérés, szórás) értéket enged meg a fotogrammetriai termékek pontosságát illetően, felbontástól függetlenül. Ettől bizonyos esetekben el lehet térni, de az amerikai térképészeti felmérések esetében ez az érték nem is elvárás. Az amerikai USDA Forest Service természeti katasztrófák utáni gyors erdőkár felmérési kísérletében például átlagosan 4,47 volt az RMSE pixelérték (1 m terepi felbontású felmérések esetében is) (LÁZÁR és ELLENWOOD 2006). Az erdészeti légi felméréseknél nem rendhagyó az 5 méteres abszolút hiba – mivel a lombkoronán nem szokás kapcsolópontot rögzíteni –, a felmérések felbontása viszont jellemzően 10–30 cm. A hurrikánok és egyéb váratlan események gyors megítélése érdekében azonban a méteres pontosság elfogadható kompromisszumnak számított.

Az elérhető pontosságot befolyásolja a felvételek felbontása (részletessége) is, mivel a terepi felbontás eleve meghatározza, hogy milyen tereptárgyak és/vagy kapcsolójelek használhatóak kapcsolópontnak. A kislebontású felvételeken általában nagyméretű jeleket alkalmaznak, amelyek középpontja a felvétel felbontásánál is pontosabban meghatározható. Sajnos ebben az esetben kisebb a természetes kapcsolópontok felhasználásának lehetősége. A nagyfelbontású (0,5–5 cm részletességű) felvételeken nagyságrenddel több a kapcsolópontnak biztonsággal alkalmazható tereptárgyak és a természetes jelek száma. A kisebb méretű hegyes tárgyak és a földre simuló kiszögellések (például útburkolati jel, vagy hegyes kőzetdarab) szegletei pedig nagyon pontos kapcsolást tesznek lehetővé.

A 8–30 cm terepi felbontású ortofotó-mozaikek pontosságának alakulása

Számos, kutatási eredményekkel alátámasztott tapasztalat szerint a mérőkamerás légi-felvételekből előállított ortofotó-térképek sohasem tökéletes leképzései a felszínnek. Az ideális légköri körülmények mellett, nagyméretű, pontosan kimérhető középpontú mérőjelekkel, sík területen végrehajtott, ellenőrzött körülmények között zajló pontossági kísérletek során átlagosan kétszeres pixelhiba mutatkozik az ortofotókon azonosítható pontok és a terepi ellenőrzőpontok között. Ezt támasztja alá a „Német kamera kiértékelési

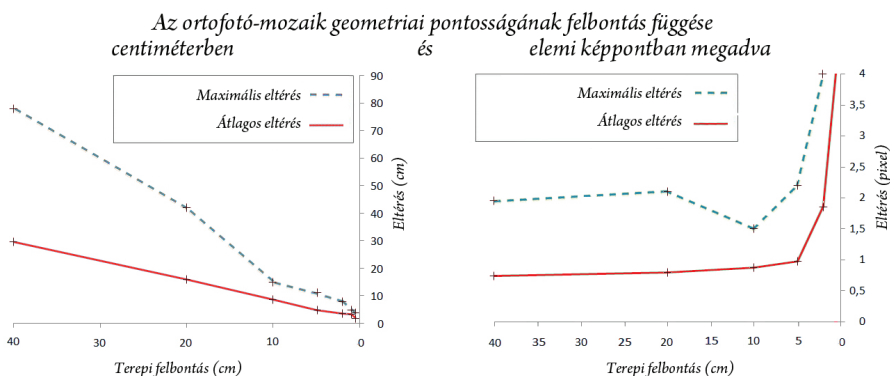
projekt” eredménye is (HAALA et al. 2010). Változatos domborzat és párás, szennyezett légköri viszonyok mellett az átlaghiba jól ellenőrzött körülmények között is elérheti a pixel méretének négyszeresét.

A 0,5-8 cm terepi felbontású ortofotó-mozaikok pontosságának alakulása

A kapcsolópont-gyűjtés pontossága korlátokba ütközik. A geodéziai GPS fáziscentrumában 1,5 cm vízszintes pontossággal bemért kapcsolópontok hibája egy felmérés során további hibákkal terhelt:

- A mérést végző személy kézremegése;
- A libella korlátozott pontossága;
- A számítógépes munkaállomással dolgozó fotogrammetriai szakember ítélőképessége a kapcsolópont felvételen történő kijelölésekor.

Ezért nagyjából 5 cm pontosság garantálható abban az esetben, amikor a kapcsolópont a légifelvételen pontosan értelmezhető. Mivel a néhány cm pixelméretű felvételeken a kapcsolópontok általában nagyon jól azonosíthatóak, az ezekből előállított ortofotók geometriai pontossága centiméterben megadva jóval felülmúlhatja a 10–20 cm terepi felbontású ortofotók geometriai pontosságát. Ellenben a pixelben megadott RMSE a centiméteres terepi felbontás-tartományú fotók esetében rosszabb, hiszen a terepi felmérési eszközök 5 cm alatt aránylag kevésbé pontosak. Ezért a pixelben mért átlaghiba az egy cm terepi felbontású légi felmérés esetén elérheti a tízszeres értéket is. Érdekes figyelembe venni azonban, hogy ez a hiba alatta marad a 10 cm terepi felbontású felmérések centiméterben kifejezett átlaghibájának (BAKÓ et al. 2014), tehát a két térkép közül az 1 cm terepi felbontású jelentősen pontosabb lesz, pedig az RMSE pixelben megadott értéke rosszabb (4. ábra).



4. ábra A terepi felbontás növekedésével javul az ortofotó-mozaikok abszolút pontossága
 Figure 4 The absolute accuracy of orthophoto-mosaic is improving by increasing the spatial resolution

A 30–3000 cm terepi felbontású ortofotó-mozaikok pontosságának alakulása

A kisfelbontású légi távérzékelési állományok és az űrfelvételek pontossága pixel alatti (subpixeles) is lehet, tehát a térkép pontossága meghaladhatja felbontást (PHETCHARAT et al. 2014). A gyakorlatban ez egynél kisebb RMSE-t jelent. Könnyen belátható, hogy a 15 m terepi felbontású pankromatikus és 30 m terepi felbontású multispektrális Landsat 8 felvételek feldolgozása mérés technikailag lehetővé teszi a pixel alatti pontosságot, hiszen a mérőhálózat és a GCP kijelölés pixelen belül is jól közelíthető.

A nagyobb terepi felbontású űrfelvételek pixelértékben mért pontossága azonban jóval kisebb. Ilyen a kisebb részletességű légi felmérések felbontását közelítő IKONOS (0,82 m pankromatikus, 3,2 m színes és multispektrális), a WorldView (0,46 m pankromatikus, 1,84 m színes és MS), a QuickBird (0,61 m pankromatikus, 2,4 m színes és MS) és a GeoEye (0,41 m pankromatikus, 1,65 m színes és MS) műholdak szenzorainak pankromatikus felbontása. Jelenleg ezek a legnagyobb felbontású polgári műholdak. Mivel ezek a műholdak 15–18 km szélességű pásztával teljesítik ezt a felbontást, a georeferált űrfelvétel-mozaik ára általában vetekszik a légi felmérés költségével, bizonyos esetekben meg is haladja azt.

Mivel a terepi felbontás nagyobb, a geometriai pontosság abszolút (földrajzi) értelemben véve jobb, mint a kisebb felbontású műholdak esetében. Ezzel szemben a pixelhez viszonyított hiba értéke már nem subpixeles. Az IKONOS esetében a 3–4 m CE90 hibával terhelt feldolgozás még elfogadható (TOUTIN 2003). A CE90 (Circular Error of 90%) annak a kétdimenziós körnek az átmérőjében adja meg egy térképmű pontosságát, amely befoglalja az ellenőrzőpontok 90%-át. A DigitalGlobe termékek esetében egyébként 6,5 méterben adják meg ezt az értéket, ami a gyakorlatban átlagosan 4–5,5 m között alakul (BRESNAHAN 2011), ez pedig négyszeres, néhol nyolcszoros átlagos pixelhibát jelent a georeferáltan megrendelt űrfelvételek, mint termékek esetében. Mindezt a DigitalGlobe brosúrája is megerősíti (DIGITALGLOBE 2014). Egy ettől független kanadai tanulmány az IKONOS és a QuickBird II műhold pankromatikus felvételeinél 2 pixel értékű RMSE-ben határozta meg az ortorektifikáció után elérhető pontosságot (AGUILAR et al. 2008).

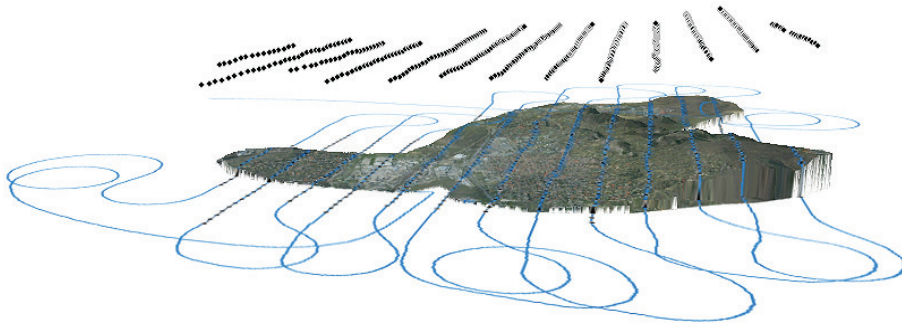
Méréseink alapján a GeoEye GoogleEarth szolgáltatásban elérhető Budapest XIV. kerületi felvételeinek hibája átlagosan 7,21 pixel (2,96 m) és a kerületre előforduló legnagyobb eltérés (abszolút hiba) 4,63 m.

A háromdimenziós felületmodell elérhető pontossága

Ahogy a kétdimenziós ortofotó-mozaik készítésének elérhető pontosságát eleve meghatározza a felvételek terepi felbontása (részletessége), úgy a háromdimenziós modell pontosságára is kritikus hatással van a felvételek felbontása (ACHARYA et al. 2000). A felületmodell függőleges pontosságában általában átlagosan az ortofotó CE90 értékének kétszerese tapasztalható.

Anyag és módszer

Légi felméréseink módszere a terepkövető sormagassággal tervezett, merevszárnyú repülőgéppel végzett, koordinátára exponált diszkrét megvilágítási pillanatokban leképző (frame rendszerű) mérőkamerás függőleges kameratengelyű légi fényképezés (5. ábra).



5. ábra Terepkövető sormagasságú repülés nyomvonala a felszínre vetítve, és az expozíciós helyek háromdimenziós megjelenítése. (Budaörs légi felmérése az Interspect IS 4 mérőkamerával, 2013,

©BAKÓ – MOLNÁR – GÖBER)

Figure 5 Track of elevation-follower flight lines projected to the surface and the exposure sites in 3D (Aerial survey of Budaörs, Hungary by the Interspect IS 4 calibrated aerial camera in 2013,

©BAKÓ – MOLNÁR – GÖBER)

A felmérésekre 20 kilométernél rövidebb aktív repülési sorok esetén egymotoros repülőgéppel kerül sor. Ennél hosszabb nyomvonalak esetében a kétmotoros változatot, ritkább esetben nagysebességű repülőgépet alkalmazunk. A repülőgép haladási sebessége optimális megvilágítási viszonyok mellett nem befolyásolja az alkalmazott mérőkameráink képminőségét. A települési légi felméréseket azonban hagyományos munkasebességgel, azaz széliránytól és szélesebségtől függően 160–230 km/h terephez viszonyított repülési sebesség mellett végezzük el. (A repülőgépes légi felméréseink egyébként 150–800 km/h repülési sebességgel végezhetőek el.)

A relatív repülési magasságot a gyakorlatban 500–3500 m között választjuk meg. Ebben a relatív repülési magassági tartományban 5–100 cm terepi felbontás között bármilyen részletesség, bármely magasságról megvalósítható a fókusz távolság megfelelő megválasztása mellett. Ennek ellenére a nagyrejtettségű települési légi felméréseket 1200 m alatti repülési magasságból célszerű végrehajtani, hogy a légkör szennyezettsége, páratartalma minél kevésbé befolyásolja az eredményt. A közeghatás (a páratartalom és a légszennyezés káros hatásai) csökkentése érdekében határoztuk meg ezt a magasság-tartományt, és csak nagyon indokolt esetben választanánk ennél nagyobb munkamagasságot. A légköri szórások ugyanis károsan befolyásolják a nagy távolságból fényképezett állományok kiértékelési lehetőségeit (BELÉNYESI et al. 2008).

A direkt tájékozást (Direct Georeferencing) a repülőgép fedélzetén működő mérőkamera optikai vetítési centruma és a repülőgépen elhelyezett geodéziai GPS aktív antennáinak fáziscentrumai közötti matematikai kapcsolat megismerése, valamint a kamerában található tájoló és a repülőgép farok részében elhelyezett magnetométer teszi lehetővé. A módszer az ezredfordulón vált általánossá a légi fotogrammetriai szervezetek körében (CRAMER et al. 2000). A direkt tájékozás legnagyobb előnye a sok ezer felvételtől álló tel-

jes területfedéses légifelvételzés, a mintavételszerű légifényképezés, valamint a vonalas létesítmények fényképezésekor is jelentkezik (MOSTAFA et al. 2006).

Ma már a kereskedelemben kapható, az ember nélküli repülő platformmal történő (mikro UAS technológia), általában kis, pár száz méter átmérőjű munkaterületekre korlátozódó légi felmérések esetében is alkalmazzák a direkt tájékozást, mivel nagymértékben gyorsítja a képfeldolgozást (SKARLATOS et al. 2013). Így már a leszállás után jól ellenőrizhető minőségű, gyorstérképészeti alkalmazások válnak lehetővé (IP et al. 2007), és a felvételek feldolgozási ideje is csökkenthető (SCHWARZ et al. 1993). Amennyiben a pár méteres pontosság elegendő - mert a kiértékelési cél nem kíván meg ennél nagyobb pontosságot - a felvétel-mozaik végtermékként a repülés napján elkészül (WHITE et al. 2006). Az ilyen, kizárólag direkt tájékozással készült ortofotó-mozaikoknak nemcsak egy kisebb térképészeti pontosságú végtermékként vehetjük hasznát (IP. et al. 2006), de elősegítik a terepen való eligazodást is a GCP gyűjtéshez. Így már a saját felvételünk lehet a terepi geodéziai felmérés térképi alaprétege, amikor ugyanezeknek a felvételeknek a szabatos feldolgozásához mérünk kapcsolópontokat. Ez a lehetőség is lényegesen meggyorsítja a felvételek fotogrammetriai utómunkálatait, amelynek különösen a nehéz terepen, (például közvetlenül Eger légi felmérése után) vettük hasznát (6. ábra).



6. ábra A terepi felmérő csoport és a kapcsolópont-gyűjtésnél tájékozódásra és képi kapcsolópont ellenőrzésre használt GPS-el és Global Mapper szoftvercsomaggal ellátott laptop, amely mindig az aktuális pozíciókat mutatja a direkt tájékozással generált előzetes ortofotó-mozaikon megjelenítve. A felvétel pontossága ekkor nagyjából három méter, a fotogrammetriai blokk kapcsolópontokkal történő újrarámszögélése és az ortorektifikáció után 15-25 cm volt.

Figure 6 The surveying team and the laptop equipped with GPS and Global Mapper software for helping the orientation while collecting the GCPs and checking the points in the images. This always shows our current position in the prior orthophoto-mosaic generated by direct orientation. In this case, the accuracy of the map is approximately three meters. After the re-triangulation and the orthorectification of the photogrammetric block with the GCPs, the accuracy became 15-25 cm.

A terepi kapcsolópont-gyűjtést szabatos fotogrammetriai képfeldolgozás követi, a szakmai áttekintésben ismertetett egy blokkban történő sugárnyaláb kiegyenlítéssel végrehajtott térfotogrammetriai eljárással.

Egyre népszerűbb az alternatív megoldások keresése a repülőgép, mint légi térképészeti platform kiváltására, ugyanakkor a ballonok, helikopterek és egyéb mikro UAV eszközök kis területek felmérésére alkalmazhatóak és lassú előrehaladással működnek (PLANER-FRIEDRICH et al. 2008). A termelékeny légi térképészeti felméréshez így mindmá-

ig a közepes és nagyméretű merevszárnyú repülőgép jelenti az ideális megoldást. Mindez egyértelművé vált a nagyfelbontású (0,5 cm terepi felbontásig) és nagy sebességű (800 km/h terephez viszonyított repülési sebességig) repülőgépes légi felmérési módszer megjelenésekor (BAKÓ 2012).

A települési, városökológiai felmérések alapvető igényei az ortofotó-réteggel szemben a következő csoportokban oszthatóak:

- Részletességbeli igény: a felmérés méretaránya a 2005–2010 időszakban leggyakrabban 1:1200 (10 cm), 1:2400 (20 cm), ritkábban 1:3600 (25 cm) volt. Az ettől eltérő nyomtatási méretarányú, városokat megjelenítő térképművek az esetek 40%-át tették ki az Argos és az Interspect felméréseinek esetében. 2010 és 2014 között már nagyobb arányban készítettünk 1:600 (5 cm terepi felbontású) ortofotó-térképeket. Ez a felbontás-tartomány nagyjából megfelel a nyugat-európai városok térinformatikai igényeinek, a magyarországi települési elemzések részletességében felzárkózás tapasztalható az utóbbi időszakban. A legnagyobb részletességű belterületi felmérés 1:120 (1 cm) volt.
- Geometriai pontosság: A felvételek geometriai pontossága három kategóriába sorolható, úgymint négyszeres pixelhibájú felvételek, kétszeres pixelhibájú felvételek és subpixel pontosságú felvételek. A pontosság megállapítását kizárólag az ortofotó előállításától független, utólagos terepi geodéziai ellenőrzőpont-gyűjtéssel lehet egzakt módon megállapítani.
- Speciális igények: A lombmentes és tenyészidőszakban végrehajtott légi felmérések mellett, hóborítottság melletti vagy valamilyen speciális alkalomhoz igazított légi felmérés is előfordult. 2010-ben megjelent a teljes, összefüggő felhőzet alól történő légi felmérés igénye, amely az árnyékok kiértékelést befolyásoló hatását csökkenti. 2011-ben talákoztunk először az éjszakai települési ortofotó előállítására történő felkérésrel, a fényszennyezés ellenőrzése és világitótést nyilvántartás érdekében.

A felmerülő új igények újszerű műszaki megoldások kidolgozásához vezettek, amit elsősorban a nagyobb érzékenységű, mindeközben alacsony zajszintű érzékelők, a pontos és egyre több fázisból felépülő kamera kalibrációs eljárások bevezetése, az egyre többféle objektív alkalmazása, illetve a hagyományos felmérési sebességhez képest lassan és gyorsan repülő merevszárnyú repülőgépek beszerzése tett lehetővé.

A felvételek spektrális tulajdonságait eleinte „valószínűs” (RGB) és „infravörös” (IR) kategóriákban meghatározó felhasználók tájékoztatása után a feladat-specifikus szenzorbeállítás került előtérbe. A konkrét kiértékelési feladathoz javasolt ultraibolya, színes és közeli infravörös tartományok helyes megválasztása kiemelten fontos, mivel az nagyfelbontású multispektrális vizsgálat esetén csak a felmérés előtt végezhető el. Ezért részletes tájékoztatási rendszert, ábrákkal, mintaállományokkal jól illusztrált adatbázist hoztunk létre.

A képfeldolgozás eredménye az azonnal térinformatikai rendszerbe másolható, további utómunkálatokat nem igénylő, kiértékelésre kész ortofotó-mozaik, amelyet bármilyen szabványos raszteres formátumban, tetszőleges szelvényezéssel el lehet készíteni, így ma már nem okozhat gondot a felvételek megnyitása, kezelése, értékelése.

Eredmények – A legutóbbi időszak ortofotó programjai Magyarországon

Az utóbbi években számos települési ortofotó felmérést valósítottunk meg, és ahogyan a 7. ábrán is megfigyelhető, mind a belterületen, mind a külterületi részekben sokszempontú kiértékelésre alkalmas ortofotó-térkép fedvények jöttek létre.



7. ábra Lekicsinyített részletek az Interspect mérőkamera sorozattal készített munkáinkból. A települési ortofotó számos területen hasznosul a városfejlesztési alkalmazáson túlmenően is, mivel régészeti, vadbiológiai, növényzeti, hidrológiai és még számos szempontból értékelhető térbeli elemzésekre ad lehetőséget.

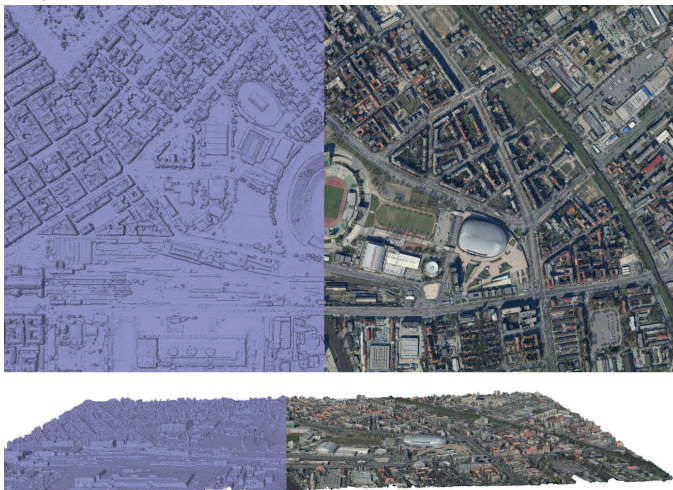
Figure 7 Some minimized sections of our projects made by the Interspect calibrated aerial camera-series. The municipal orthophoto is utilized in a number of areas beyond the urban development applications, as it allows spatial analyzes in archaeological, wildlife biology, botanical, hydrological and many other aspects.

Tiszaújváros légi felmérése egységes képi világú 10 cm (1:1200) részletességű belterületi, 20 cm terepi felbontású (1:2400 méretarányú) külterületi ortofotó-mozaikot eredményezett. A felmérésre lombbal borított időszakban került sor, kiváló légköri viszonyok között. A háromcsatornás raszter fedvény felhasználásakor érkező pozitív visszajelzés alapján hasonló módszert állítottunk be több településnél. A felmérést három év után azonos paraméterek mellett megismételtük.

Veszprém esetében háromszintű felmérést alkalmaztunk. A belváros esetében az ortofotó-mozaiak 7 cm terepi felbontású (1:840 méretarányú), hatszatornás multispektrális felvétel. A színes (RGB) csatornák mellett háromféle közeli infravörös spektrális tartományú csatornát tartalmaz, így itt a felvétel 4-féle vizualizációja szemlélhető a térképi rendszerben. A belterület többi része 10 cm terepi felbontású (1:1200 méretarányú) RGB ortofotó-térképként jelenik meg, míg a külterület 20 cm terepi felbontású (1:2400 méretarányú). A lombmentes (téli) időszakban készített felvételeket januárban kellett elkészítenünk, a legmegfelelőbb időjárású és légkör állapotú napon. A páratartalom ebben a rövid időszakban nem teszi lehetővé a tenyészidőszakra jellemző hidegfront utáni, száraz légtömeg megjelenésekor tapasztalható tiszta légköri felvételkedzítést, ezért a 20 cm részletességű felvétel képi színvilága eltér a 10 és a 7 cm terepi felbontású belterületi részektől, de mindez korrigálhatónak bizonyult. A felvételek minősége mind a külterületen, mind pedig a belterületen lehetővé teszi az elemzési célfeladatok elvégzését.

Paks 20 cm terepi felbontású (1:2400 méretarányú) ortofotó-térképeinek készítésekor kiváló légköri körülmények mellett dolgozhattunk, mivel a hosszabb (több hetes) periódusban meghatározott repülési időszak lehetővé tette ezt.

Budapest egyes kerületeiről 10 cm terepi felbontású (1:1200 méretarányú) ortofotó-mozaikok készültek, külön megbízások alapján. A legtöbb kerület esetében 90% soron belüli és 40% sorok közötti átfedésű, sűrű fényképezésű módszerrel került sor a légi felmérésre (8. ábra).



8. ábra A Budapest XIV. kerületéről készített alacsony lomb-borítottságú ortofotó készítésekor már a feldolgozás előtt (közvetlenül a repülés után) ilyen részletes felületmodell állt rendelkezésre, segítve a tájékozódást a terepi kapcsolópont felméréskor.

Figure 8 When making the orthophoto at low foliage of the XIV district of Budapest, Hungary, we have highly detailed surface model even before the image-processing (immediately after the flight) to help the orientation when collecting the GCPs

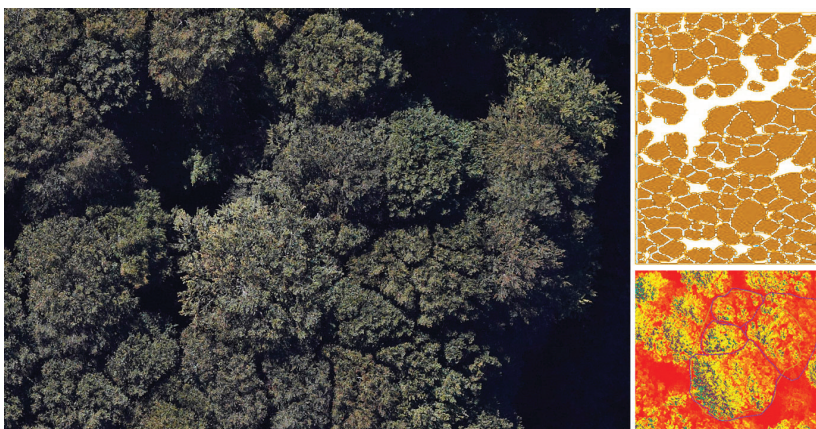
A települések külterületén gyakran használják a felvételeinket a vadállomány felméréséhez (9. ábra), a védett állatok élőhelyének térbeli vizsgálatára (10. ábra) és vegetációtérképezési, valamint erdőgazdasági feladatok segítségét (11. ábra) célzó elemzésekre.



9. ábra A vadállomány is megfigyelhető egyes téli és koratavaszi ortofotók segítségével
Figure 9 Even the wildlife can be observed by using some orthophotos made at winter and early spring

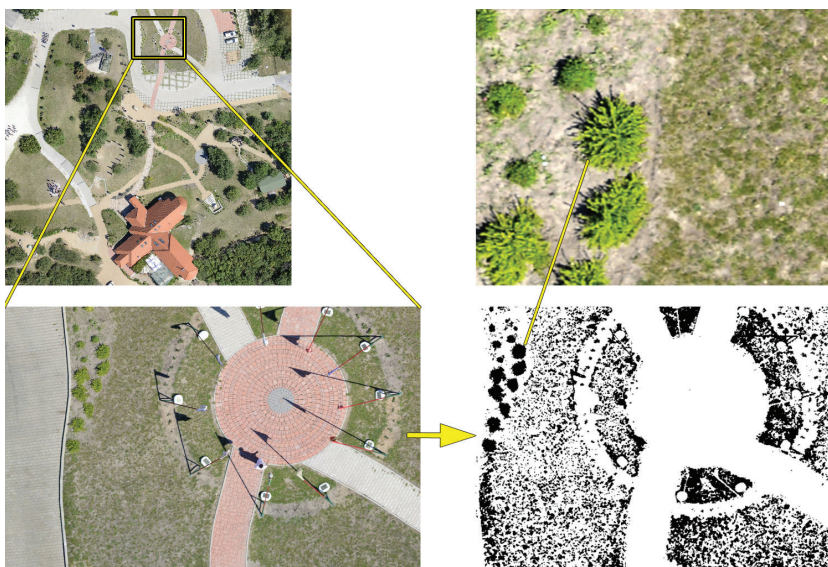


10. ábra Kócsag- és szürke gém-telep látható Pákozd külterületén, a Velencei-tavon a 0,5 cm terepi felbontású ortofotó-mozaik részletén
Figure 10 White Egret and Grey Heron colony at Lake Velencei in Pákozd, Hungary in the orthophoto-mosaic section at 0.5 cm spatial resolution



11. ábra A nagyfelbontású légitérkép a vegetáció térképezését és az erdészeti felméréseket is segíti. Feltérképezhető az egyedek lombfelülete, borítása, állapota. (Mátraháza külterülete, 5 cm terepi felbontású ortofotó részlete)

Figure 11 The high-resolution aerial map also helps the vegetation mapping and the forestry. The coverage and the condition of trees can be surveyed. (Mátraháza, Hungary, orthophoto-mosaic section at 5 cm spatial resolution)



12. ábra A gyepek a hagyományos, 10–25 cm terepi felbontású ortofotó-mozaikon egybefüggő növényi biomasszával borított területeknek tűnnek. 0,5 cm terepi felbontás esetén azonban már a valós borításukat detektáljuk. A nagy felbontás így lényegesen árnyaltabb felmérési lehetőséget biztosít.

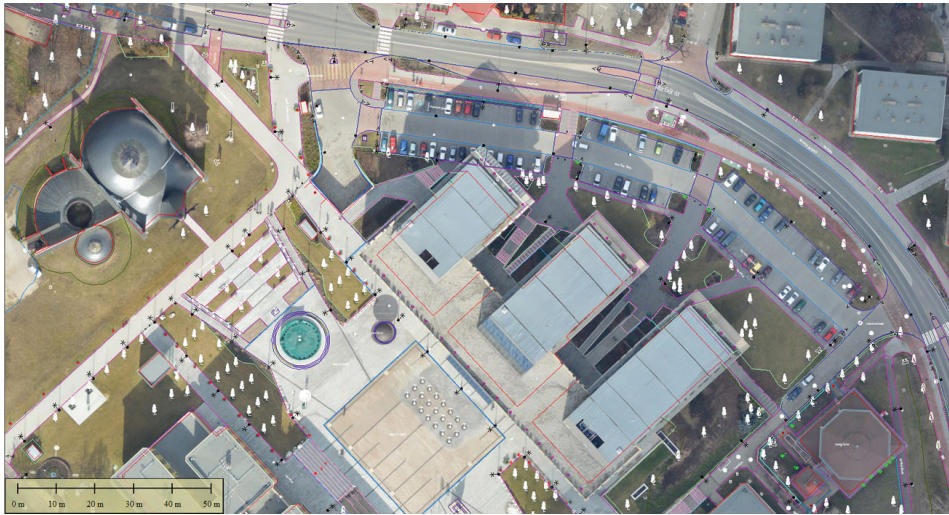
Figure 12 The grasslands appear to be a homogeneous area covered with vegetal biomass in the orthophoto-mosaic at 10-25 cm spatial resolution. However, at spatial resolution of 0.5 cm, the real coverage can be detected. Thus, the high resolution provides much more nuanced surveying opportunities.

A felbontás növekedésének célja nem korlátozódik a kisebb részletességnél azonosíthatatlan objektumok térképezhetőségére. Bizonyos felszíni elemek, felszínborítási kategóriák feltérképezése, minőségi és mennyiségi adatainak kinyerése nem oldható meg egzakt módon a kisebb léptékű felmérések esetében (Bakó 2010b). A 12. ábra nyílt gyepek biomassza borítottság elemzésén keresztül szemlélteti ezt.



13. ábra Halásztelek 0,4 cm terepi felbontású ortofotójának részlete
Figure 13 Orthophoto section of Halásztelek, Hungary at 0.4 cm spatial resolution

Százhalombatta 5 cm terepi felbontású (1:600 méretarányú) ortofotó-térképe kísérleti célból készült el (14. ábra). Mivel a települési légi felméréseket a gyakorlatban megfelelő viszonyok között végezzük, ebben az esetben több felszállással gyűjtöttünk különböző hatásoktól terhelt képanyagot. A területet különböző időjárási körülmények között fényképeztük, a légkör hatásainak utólagos szűrése, javítási algoritmusok kidolgozása érdekében. A vizsgálat tárgyát képezte még a felhőárnyékokkal tarkított felvételek elkészítése is, mert a munkafolyamat sebességére és automatizálhatóságának csökkenésére gyakorolt hatását vizsgáltuk különböző képfeldolgozó algoritmusok felhasználásával. A felmérés eredményeit a Geodézia Zrt. gépjárműre épített lézerszkenneres felméréssel is egybevetettük a két eljárás összehasonlítása érdekében. A szokásos körülmények között készült mozaik belvárosi részét díjmentesen a város rendelkezésére bocsátottuk.



14. ábra A jogi állapotot reprezentáló vektorgrafikus térképfdvény és a természetbeni állapotot megjelenítő ortofotó-mozaik együtt szemlélve komplex áttekintési és vizsgálati lehetőséget biztosít.

Figure 14 The combined appearance of vectorgraphic map overlay representing the legal status and the orthophoto-mosaic showing the in-kind status provides complex reviewing and researching opportunities

Budaörs 10 cm terepi felbontású (1:1200 méretarányú) ortofotó-térképezése a koratavaszi, rügyfakadás előtti időszakban valósult meg. A felmérés kelet-nyugat irányú, a domborzatot követő repülési sormagasságokkal ment végbe, Piper Pa 32 típusú repülőgéppel.

Eger légi felmérése 7 cm terepi felbontással (1:840 méretarányal) zajlott, az ortofotó-térkép azonnal, már a direkt tájékozási adatok felhasználásával előállt. Az így kapott 0,5-6 m hibával terhelt mozaikot GPS-el ellátott terepi számítógépekre másoltuk, és a laminált részletnyomatos gyakorlat helyett ennek alapján végeztük el a kapcsolópont-gyűjtést. A monitoron a haladásunkat automatikusan követő digitális fotómozaik használata lényegesen felgyorsította a munkánkat. Ez szükséges volt, mert a külterületen nehéz volt a haladás, a speciális domborzati viszonyok, a sűrű növényzet, az esőzések, a terepjárót tengelyig elnyelő sár miatt így is két csoportban két hétig dolgoztunk a területen. Az erdőben történő 5 cm hiba alatti GPS méréseket csak Topcon Hyper technológiával tudtuk elvégezni. A felvételeken jól látható erdőalji kövek, sziklák éles sarkai jelentették az egyedüli biztonságosan felhasználható kapcsolópontokat az észak-keleti területen és az újfajta antennák olyan területeken is biztosították a mérési lehetőséget, ahol a hagyományos Topcon geodéziai GPS-el már nem lehetett mérni. Különösen megkönnyítette a munkát a mobilhálózattól elzárt völgyekben is használható bluetooth megoldás, ami az antennától 300 méterre elhelyezett egységgel is üzemel.

Törökbálint és Diósd 20 cm terepi felbontású (1:2400 méretarányú) ortofotó-térképeinek elkészítésére is a 2013-as lombmentes időszakban került sor. Elkészült még Mosonmagyaróvár, Zalaegerszeg, Dorog, Balatonyörök, Miskolc, Esztergom (belterület), Szigetszentmiklós és Halásztelek, Pilisvörösvár (belterület), Dunaföldvár, Gödöllő, Kaposvár (belterület), Simontornya és még számos lakott terület ortofotó-térképe.

A 2014-es év Zalaegerszeg és Tiszaújváros ismételt felvételezésével kezdődött, amely felmérések a módszerek folyamatos javulására hívják fel a figyelmet, mivel a technológia négy év alatti fejlődése a felvételek idősoros összehasonlításán is megfigyelhető. Sor került a Tisza-tó egy részének, a Balaton északi partjának légi felmérésére is. Érd ortofotó-mozaikja 5 cm terepi felbontással készült el (1:600 térkép méretarány). Budapest északi kerületeinek 2014 kora tavaszi légi felmérése 10 cm terepi felbontással (1:1200 méretarányban) valósult meg. Az első félévben sorra került még Ráckeve, Csepel és Cegléd egyes részeinek, valamint útszakaszok, folyók és tavak légi felmérése is. Sopron külterületéről 20 cm terepi felbontású (1:2400), belvárosáról 5 cm terepi felbontású (1:600) ortofotó-mozaikot készítettünk, és felmérést végeztünk Halásztelken és Felsőtárkányban is.

Résztvevők és szerepvállalás

Az ismertetett települési légifelmérések repülőgép személyzete:

- Arday András, Lengyel Tamás – pilóták
- Bakó Gábor – a légifelvételek készítője
- Molnár Zsolt, Eiselt Zoltán – műszaki vezetők.

A légi fényképezést követő terepi felmérés és képfeldolgozás résztvevői:

- Bakó Gábor, Molnár Zsolt, Góber Eszter, Eiselt Zoltán, Kovács Gábor, Tolnai Márton, T. Futaki Csenge.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni munkatársaink segítségét, kiemelten Arday András, Lengyel Tamás pilóták, Tolnai Márton geográfus, Kovács Gábor geoinformatikus, Molnár Krisztina térinformatikai szakreferens és Kirisics Judit PhD hallgató szakmai szerepvállalását. Köszönjük Biró Gyula, a Geodézia Zrt. vezérigazgatója és Csörgits Péter, a Geodézia Zrt. főmérnökének segítségét a százhalombattai lézerszkenneres pontosság ellenőrző tesztek kapcsán. Szeretnénk megköszönni a települések, a támogatók közreműködését, a területi engedélyek beszerzését és a terepi munkánk során tapasztalt segítséget.

Szeretnénk külön köszönetet mondani Licskó Bélának, a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Távérzékelési Osztály, valamint az ARGOS Stúdió vezetőjének, hogy szakmai tapasztalataival és gazdálkodási, előrehaladási tanácsaival a kezdetektől segítette munkánkat.

Irodalom

- ACHARYA, B., FAGERMAN, J., WRIGHT, C. 2000: Accuracy Assessment of DTM Data: A Cost Effective Approach for a Large Scale Digital Mapping Project. IAPRS XXXIII: 6.
- AGUILAR, M.A., AGU ERA, F., AGUILAR, F.J., CARVAJAL, F. 2008: Geometric accuracy assessment of the orthorectification process from very high resolution satellite imagery for Common Agricultural Policy purposes. International Journal of Remote Sensing 29(24): 7181–7197.
- ALAN W.L., MOSTAFA, M.R. 2006: A Fully Integrated System For Rapid Response. MAPPS/ASPRS 2006 Fall Conference November 6–10. San Antonio, Texas, pp. 1–10.
- BAKÓ G. 2010: Nagyfelbontású légifényképezés alkalmazása a települési szintű környezetvédelemben és a természetvédelemben. Diplomadolgozat, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi kar, Gödöllő
- BAKÓ G. 2010b: Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képmínőség függvényében. Tájékológiai Lapok 8(3): 507–522.

- BAKÓ G. 2012: Modern optikai légi távérzékelési módszerek – Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III. In: DR. LÓKI JÓZSEF (szerk.) Térinformatikai konferencia és szakkiallítás kiadványa: Debrecen, pp. 35–41.
- BAKÓ G. 2014. Geoinformációs rendszerek és a távérzékelés szerepe a döntéselőkészítésben. In: JENEY L., HIDEG É., TÓZSA I. (szerk.) Jövőföldrajz. A hazai gazdasági fejlődés területi és települési aspektusai a jelenben és a jövőben. Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz és Jövőkutatás Tanszék – Belügyminisztérium Önkormányzati Államtitkárság közös kiadványa. Budapest, pp. 87–98.
- BAKÓ, G., MOLNÁR, Zs., GÖBER, E. 2014: Developments from Hungary: Multispectral Aerial Cameras. *GIM International*: 21–23.
- BAKÓ, G.; TOLNAI, M.; TAKÁCS, Á. 2014: Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing. *Sensors* (2014 július), 14, 12828–12846.
- BELÉNYESI M., KRISTÓF D., NEIDERT D. 2008: Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Gyakorlatok. Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, Gödöllő, p. 15.
- BRESNAHAN, P.C. 2011: Geolocation Accuracy Evaluations of WorldView-1 and WorldView-2. *Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop 30 March 2011*
Elérés: http://www.digitalglobe.com/index.php/48/Products?product_id=23 (Hozzáférés: 2014. január 11)
- BROWN, D.C. 1971: Close-range camera calibration. *Photogrammetric Engineering* 37(8): 855–866.
- BAKÓ G. 2012b: Mérőkamerák kalibrációja. *Fotómozaik* 15(6): 34–37.
- CLEVENGER, R. 2013: Photogrammetric data processing comprehensive quality control. In: Galanits Project Report, Canada.
- CRAMER, M., STALLMANN, D., HAALA, N. 2000: Direct Georeferencing Using Gps/Inertial Exterior Orientations For Photogrammetric Applications, *Iaprs, XXXIII*, Amsterdam, pp 1–8.
- DIGITALGLOBE 2014: Geolocation Accuracy of WorldView Products. Elérés: http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/WorldView_Geolocation_Accuracy.pdf (Hozzáférés: 2014. április 5.)
- GINIA, R., PAGLIARIB, D., PASSONIB, D., PINTOB, L., SONAA, G., DOSSOC, P. 2013: Block Triangulation Comparisons, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W2*, 2013 UAV-g2013, 4–6 September 2013, Rostock, Germany.
- HAALA, N., CRAMER, M., JACOBSEN, K. 2010: The German Camera Evaluation Project - Results From The Geometry Group. Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart.
- IP, A.W.L., MOSTAFA, M.M.R., LIBERTY, E., HUTTON, J. 2007: An End-to-End Airborne Digital Mapping Solution, for Rapid Directly Georeferenced Orthophoto Production. *RSPSoc Newcastle*, Sept 11–14.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄDTER, R., RESSL, C., SPRECKELS, V. 2010: DGPF project report: Evaluation of digital photogrammetric camera systems - geometric performance, *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, Volume 2010, Number 2, May 2010, pp. 83–97(15)
- LÁZÁR Á., ELLENWOOD, J. 2006: Accuracy assessment of automated aerial triangulation for the orthorectification of aerial imagery. In: *Eleventh Forest Service Remote Sensing Applications Conference Salt Lake City, Utah April 24–28, 2006*.
- LICSKÓ B., BAKÓ G. 2010: Víz és környezetgazdálkodási célú területfedéses légifelvételek készítése digitális fényképezőgépekkel és a légifelvételek értelmezésével készülő felszínborítás-térképek számítógépen történő előállítása. In: (2005–2010) VITUKI saját finanszírozású (belső) K+F témajelentés.
- MARKELIN, L. 2013: Radiometric Calibration, Validation and Correction of Multispectral Photogrammetric Imagery (doktori disszertáció), Kirkkonummi, pp. 1-86.
- MOLNÁR Zs., BAKÓ G. 2014: Rapid Aerial Mapping Methods for Water Management. *GEO Informatics* 17 (2014. Jan/Febr.): 44–45.
- MOSTAFA, M.M.R., IP, A., HUTTON, J. 2006: The DSS 322 Airborne Mapping System: A Versatile Fusion of Digital Photogrammetric Sensing with Direct Georeferencing. *ISPRS Comm. I Symposium*, Paris, France, July 3–6, 2006.
- NMAS 1998: Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy, Subcommittee for Base Cartographic Data. *Federal Geographic Data Committee*, p. 3–24.
- PHETCHARAT, S., NAGAI, M., TIPDECHO, T. 2014: Influence of surface height variance on distribution of ground control points. *Journal of Applied Remote Sensing* 083684–12 8 p. 4
- PLANER-FRIEDRICH, B., BECKER, J., BRIMER B., MERKEL, B. J. 2007: Low-cost aerial photography for high-resolution mapping of hydrothermal areas in Yellowstone National Park. *International Journal of Remote Sensing* 29. No. 6:1781–1794.
- SCHWARZ, K.P., CHAPMAN, M.A., CANNON, M.E., GONG, P. 1993: An Integrated INS/GPS Approach to The Georeferencing of Remotely Sensed Data. *PE&RS*, 59(11): 1167–1674.

- SÍKHEGYI F., TISZAI A., UNGER Z. 2001: Kármentesítési útmutató 3 - III. Távérzékelte alapanyagok készítése, beszerzése. Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest. p. 414.
- SKARLATOS, D., PROCOPIOU, E., STAVROU, G., GREGORIOU, M. 2013: Accuracy assessment of minimum control points for UAV photography and georeferencing. Proc. SPIE 8795, In: First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment.
- SUSANTO, A. 2014: Evaluation of Rapid Semi-Orthorectification of Low Cost Small Format Aerial Photogrammetry. elérés: http://www.researchgate.net/publication/27634448_Low_altitude_small_format_aerial_photogrammetry (Hozzáférés:2014.04.20)
- TOUTIN, T., 2003: Error Tracking in IKONOS Geometric Processing Using a 3D Parametric Model. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 69: 43–51.
- VERICAT, D., BRASINGTON J., WHEATON, J., COWIE, M. 2008: Accuracy assessment of aerial photographs acquired using lighter-than-air blimps: Low-cost tools for mapping river corridors, Wiley InterScience River. Res. Applic. DOI: 10.1002/rra.1198
- WHITE, S., ASLAKSEN, M. 2006: NOAA's Use of Direct Georeferencing to Support Emergency Response. PERS Direct Georeferencing Column, p. pp. 4–6.

RASTER LAYERS FOR URBAN GIS AND DECISION SUPPORT SYSTEMS –
EXPERIENCES OF THE LATEST MUNICIPAL ORTHOPHOTO SURVEYS IN HUNGARY

BAKÓ, G.^{1,2}, MOLNÁR, ZS.¹, GÓBER, E.¹

¹Interspect Photogrammetric and Environmental Research Group
H-2314 Halásztelek, II. Rákóczi Ferenc út 42.; e-mail: info@interspect.hu

²Szent István University, Institute of Botany and Ecophysiology
H-2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.; e-mail: bakogabor@interspect.hu

Keywords: aerial survey, orthophoto, landscape management, urban ecological monitoring

The orthophoto-mosaic is a popular data source for landscape ecology and urban ecological researches because it represents the whole working area as a unified aerial image map. The article reports the experiences of preparing data source which reflects objectively the natural state, and also deals with technical solutions, methodologies and economic issues. We describe how to create our remotely sensed maps. We present the accuracy, the resolution and the productivity limitations of the different satellite images and the different aerial surveys. The procedure of orthophoto mosaic production and the factors affecting the quality of maps are illustrated by aerial surveys recently conducted by the Interspect.

