

**DR. BAKÓ GÁBOR**  
 ÜGYVEZETŐ IGAZGATÓ  
 INTERSPECT KFT.



# Önkormányzati technológiák, térinformatika, légi-felvételek, légi-felmérés<sup>1</sup>

## Városfejlesztés informatikai alapokon

A települések problémáinak jobb megértésében, a gazdálkodási területek felügyeletében és a tervezésben az 1970-es évek második felétől rutinszerűvé vált a légi felvételekkel aktualizált, naprakész térképek, nagyfelbontású légifelvétel-térképek és a különböző tematikájú téradatok alkalmazása. Az 1990-es évektől ezen adatok feldolgozása fokozatosan a számítógépre tevődött át, majd a térinformatika az ezredforduló után a jól működő nagyvárosok elengedhetetlen szükségletévé nőtte ki magát (Bakó et al. 2014.)

Az országos alaptérképek a földhivatali és kormányhivatali szervezeteknél érhetőek el az önkormányzatok számára, immár ingyesen. Ezekből a vektorgrafikus térképekből ismerhetőek meg a hivatalosan jegyzett jogi állapotok. A természetben tapasztalható helyzet pedig a légi és terepi felmérésekből származtatható. A nagyléptékű légifelvétel-térképeket korábban az ARGOS Stúdió szolgáltatta a városok és a partnerségi egyeztetésben érintett felügyelőségek, nemzeti parkok és a vízügy számára, ma már azonban több szervezet készíti el ezeket az állományokat.

A terepi adatok egyre inkább kitelepített szenzorhálózatból érkeznek, amelyek egyre több mérési módot váltanak ki az eseti felmérések közül.

A megnövekedett információtartalom és az adatforrások növekedése fél-automatikus és merőben új, teljesen automatizált információkinyerési, adatbányászati módszereket igényel. A *Big data* elemzés az öntanító algoritmusok fejlődésével válik kifinomulttá, amikor az elemzőmotor olyan összefüggéseket is megvizsgál, amelyekre korábban nem volt kapacitás.

Az elmúlt években már külön fogalmat is bevezettek a földmegfigyelési, szenzoros és informatikai alapokon, komplex adatelemzéssel támogatott városi megoldásokra, az okos város képében, amely olyan települést vagy telepü-

lés csoportot jelent, amely természeti és épített környezetét, digitális infrastruktúráját, valamint a területén elérhető szolgáltatások minőségét és gazdasági hatékonyságát korszerű és innovatív információtechnológiák alkalmazásával, fenntartható módon, lakosainak fokozott bevonásával fejleszti [56/2017. (III.20.) Korm. rendelet az egyes kormányrendeleteknek az „okos város”, „okos város módszertan” fogalom meghatározásával összefüggő módosításáról]. Napjaink kihívása tehát az élhető, hatékony, fenntartható egészséges és innovatív, stabil gazdasági alapokkal rendelkező, megfelelő közlekedési struktúrákat képző városok megteremtése.

## A városi közlekedés fejlesztése, hosszú távon, romboló mellékhatások nélkül

Ide tartozik például a városok közlekedési rendszerének elemzése a mobil hálózati adatok segítségével, amely módszer összehasonlíthatatlanul megbízhatóbb a klasszikus forgalomszámlálásnál. A gyakran beduguló közúti szakaszok épp úgy vizsgálhatóak napszak és időjárás függvényében, mint az adott csomópontok terheltsége, illetve azon irányok kimutatása, ahol a legtöbbet kell várni az áthaladóknak. A település és a régió közlekedési struktúrájának ilyen mértékű megismerése lehetővé teszi a kötöttpályás és kerékpárúti kiváltó megoldások költséghatékony, optimális nyomvonal vezetésű megtervezését is.

A közlekedésfejlesztés része a parkolóhelyekkel való valósidejű gazdálkodás, amely segít a városok parkolási kapacitásának menedzselésében. A kihelyezett szenzorok segítségével a térképrendszerben valós időben látható, hogy mely parkolóhelyek foglaltak és melyek szabadok. Általában lézeres vagy az aszfaltba épített tömegmérő szenzorokkal látják el az út menti parkolósávok leálló helyeit, a felszíni parkolók beállít és parkolóházakat. A térképen történő megjelenítés azonban csak része a felhasználásnak, mert a különböző navigációs szoftverek így a szabad parkolóhelyre navigálhatják az autósokat. A szűrési beállítások lehetővé teszik például a

<sup>1</sup> A mű a KÖFOP-2.1.2-VEKOP-15-2016-00001 azonosítószámú, „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt keretében készült.

mozgássérülteknek fenntartott helyek elkerülését. A parkolóhely sikeres elfoglalása után ugyan abból a telefonos applikációból a fizetés is elindítható. Számos városban felmerült a parkolóhely előjegyző funkciók bevezetése is. Ezek a megoldások kényelmesebbé teszik az életünket és a hatékonyabb parkoláson keresztül csökkentik a káros anyag kibocsátást. Emellett a rögzített adatokat különböző elemzésekre használják a szakemberek, melyekkel finomítható a városok közlekedési és parkolási rendszere, jobban tervezhetővé válnak a fejlesztések. Mivel mérhető az egyes helyek foglaltságának időtartama, illetve észlelhető a szabálytalan parkoló-, kerékpárút- vagy buszsáv használat. Ahol gyakran fordulnak elő szabálytalanságok, az jelzés értékű a döntéshozók felé, megmutatja a rendszer tökéletesítésének igényét a kritikus helyszíneken. Ezáltal a felhasználói igények, a város közrendjének és a szolgáltatók üzleti modelljeinek figyelembevételével a lakosság a lehető legjobb utazási feltételekhez juthat hozzá.

Számos megvalósult projekt foglalkozik a területtel Európában, mint pl. a kerékpáros és gyalogos közlekedés minőségét javító FLOW vagy az elővárosi kerületek fenntartható közlekedésére és az innovatív városi áruszállításra összpontosító 2020 CIVITAS ECCENTRIC projekt. Ezek olyan fontos területek, amelyekre korábban kevesebb figyelem esett a városi közlekedési politikákban, napjainkban viszont a fenntartható gazdasági fejlődés alapvető szükségletévé váltak.

### Gyors reagálás és felelős döntések

Ez nem csak azt jelenti, hogy a legoptimálisabb, legolcsóbb és a fenntartható fejlődést leghatékonyabban támogató megoldást választhatjuk, de egyből indoklást is kapunk, hiszen nem egy testület választja ki a fejlesztési célt, hanem a számítógép „hibáztható” a beavatkozásokért. Elsőre nem is gondolnánk, hogy az utóbbi tény mennyire előnyös a városvezetés szempontjából, hiszen csak a legkritikább esetben van olyan közérdek, amely nem sérti egy-két szereplő érdekeit. Amennyiben a szoftveres kimutatások átmennek a szakértői véleményezésen, kimutatható a legkisebb károkozás mellett végbemenő beavatkozás lehetősége. Például amennyiben egy túlzásúfolt területen vízrendezési problémák miatt katasztrófa lehetőségét kell hosszú távon elhárítani, több tucat épület megóvása érdekében területet kell vásárolni műtárgy felépítéséhez, akkor a terület tulajdonosainak kártalanítása mellett előnyös lehet a környezeti adottságok figyelembevételével számításilag adódott optimális tervet végrehajtani.

### Elemzések a háromdimenziós térben

A háromdimenziós adatok esszenciális fontosságúak a tervezésben. A domborzat és a felületek ismeretében a csapadékvíz gyülekezése által okozott károk mérsékelhetők, a talaj közeli légmozgás modellezése nagy léptékben is lehetővé válik, az árvízi, belvizes, tűzterjedési és egyéb katasztrófa helyzetekre is kidolgozhatók beavatkozási modellek.

### Energiahatékonyság

Az egyik legnagyobb kihívás olyan települési gazdálkodás kialakítása, amely fenntartható és kevés terhet ró a társadalomra. Az energiahatékonyság növelésével és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével egészségesebbek lesznek az életterek, és gazdasági értelemben is erősebbek lesznek városaink.

Ide tartoznak az olyan kezdeményezések is, mint a teherautó forgalom vasútra helyezése, vagy a bécsi EMORIAL. Utóbbival az agglomeráció ingázói kötőtpályás tömegközlekedési lehetőséghez jutnak, úgy, hogy a lakóhelyükön elektromos autót, a célállomásukon elektromos kerékpárt kapnak a vasút megközelítéséhez. Az előzetes számítások alapján a koncepció megtérül, az amortizálódó elektromos járművek időközi cseréi mellett is.

A spanyolországi Sant Cugat del Vallèsben az emberi jelenlétre reagáló közvilágítás és a levegő és a talaj nedvességtartalma függvényében működő öntözőrendszer segítségével 30% költségmegtakarítást értek el (http1).

### Alkalmazások a közügyeken túl

A települési térinformatikai megoldások nem csak a városvezetés döntéseit segítik, de segítenek a nagyobb gazdálkodási területtel rendelkező szervezeteknek a vagyonynyilvántartásuk kezelésében, valamint az új vállalkozásoknak és struktúráknak a helyi adottságok felmérésében, a piackutatásban és a potenciális ügyfelekre épülő hálózatépítésben. Szintén a városi információs adatbázist használják a közlekedési információs és jegyvásárlási rendszerek. A tömegközlekedési hálózat térképének felhasználásán túl az autós navigációk egybevetethetik például a domborzati tér adatok alapján a személygépkocsik útvonalon várható fogyasztását a tömegközlekedési árakkal. Így nem csak akkor javasolják inkább a tömegközlekedést, amennyiben az úti cél közelében minden potenciális parkolóhely foglalt, de akkor is, ha az autóval drágábban vagy lassabban érnék célba.

Az NFC alapú jegyrendszer segít elemezni a tömegközlekedési viszonylatok szakaszainak terheltségét, ráadásul az időszakok ismeretében. Így könnyebben érhető el az optimális járatsűrűség. Nem beszélve a megoldással járó kényelmi funkciókról, mert a telefonon keresztül a felszállás pillanatában kaphatunk jegyet, még hozzá az utazást igénybe vevő személy adatainak ismeretében a rá vonatkozó kedvezmények legjobb variációjának automatikus igénybevételével.

De minden tervezési folyamathoz látnunk kell a természeti közeget és az épített környezetet a szenzorokból érkező adataink alatt. Ezt pedig a légi felmérésből származó, 2-4 évente megújított ortofotó teszi lehetővé.

### Az informatikai rendszer megalapozása ortofotóval

Láthattuk, hogy a térinformatikai platformon működő okos város koncepció számos területen teheti könnyebbé az életünket, kihagyhatatlan fejlődési lépcsőfok a környezetbarát,

egészséges és fenntartható, gazdaságilag stabil település megőrzésében. Az informatikai rendszer megvalósítása azonban rendkívül költséges lehet, amennyiben nem hangoljuk össze a felméréseket, vagy nem optimálisan építjük fel azokat, esetleg nem jól határozzuk meg az elvárásainkat.

A legfontosabb elvárások egyike, hogy megfelelő geometriai alapokra építsünk és átlátható, a legkisebb hibát is szembevetően visszaadó megoldással operáljunk. Ezért az okos város GIS (térinformatikai) alapjának kidolgozásához az első lépcső a kor technológiai színvonalának megfelelő geometriájú és részletességű ortofotó-mozaik elkészítése. Ez a téradat ellenőrző alapjául szolgálhat minden beérkező információnak. Ezzel pontosíthatóak a korábbi légi felmérésekből származó fotó-térképek, kiadja az alaptérképek hibáit, az aktuális állapothoz képest korábbi állapotot vagy téves feltüntetést tartalmazó térképrétegeket és tájékoztat bennünket különböző városökológiai inputokról, például a zöldfelületekről és a burkolt felszín arányáról is.

Egy kellően nagy terepi felbontású (legalább 5 cm) ortofotó-mozaik segítségével könnyen tájékozódhatunk. A rendezési, fejlesztési tervtérképek alá integrálva a természetbeni állapotok azonnali értékelése mellett dönthetünk egyes beruházásokról. Ez a felbontás lehetővé teszi, hogy a felvétel mintegy melléktermékeként létrejövő háromdimenziós pontfelhő segítségével kiértékeljük az épületállományt, a szélcsatornákat, nyomon kövessük a fák, a lombkoronák változásait. Az időről-időre rendelkezésre álló légi felmérésből nyert adatok számos változásanalízist lehetővé tesznek a kockázatok kiszűrése érdekében. A növényzet, az épületek, a közlekedési csomópontok változásai indikátor szerepet töltenek be a problémák kiszűrésében.

A légi adatgyűjtés tehát a rendszer megalapozó pillére. Nem száz százalékos, mert számos releváns objektum takarásban lehet, de a leghatékonyabb adatgyűjtési módszer. A későbbi terepi adatgyűjtésből származó információk is ellenőrizhetők általa. Például, amennyiben egy közlekedési tábla kataszterhez készülő terepi felmérés során nem a megfelelő objektumot méri be és a tábla adatai egy hibás lokációval érkeznek az adatbázisba, az ortofotón szemlélve azonnal szembeűnik, hogy az ikon nem a helyén jelenik meg. Míg a minőségi ortofotó hibája általában nagyjából homogén – tehát a hiba nagy területen hasonlóan jelentkezik és gyorsan észlelhető –, a terepi mérésben számos olyan hibalehetőség van, amely csak egy diszkrét objektumot terhel. A fehér lapon megnyitott vektorgrafikus térképelemek geometriai hibája nehezen volna észlelhető ortofotó alap nélkül. Így a legtöbb mérés kétszer érvényesül: egy légi felmérésből, illetve a terepi geodéziai bemérésből. Ez az ellenőrzési rendszer lényegesen megbízhatóbbá teszi a települési informatikai rendszereket.

### Térfotogrammetria – Az ortofototók

A távérzékelt képek centrális vetítéssel készülnek. A térkép és a legtöbb geoinformatikában alkalmazott vetületi rendszer viszont ortogonális vetülete a földfelszínnek. Az ortofotók előállításánál a nyers légifelvétel geometriáját megváltoztatjuk, kompenzálva a kameratest – objektív rendszer ismert

elrajzolásait és a kamera dőléséből adódó elrajzolásokat, valamint a domborzati viszonyokból és a kamera centrális vetítéséből adódó eltéréseket. A folyamathoz szükségesek a belső tájékozási adatok (általában a kamerarendszer előzetes kalibrációjával előálló adatok) valamint a külső tájékozási adatok amelyek sokszor terepi geodéziai méréseken alapuló illesztő pont felvételen, és általában emellett, vagy helyett a kamerához tarozó hely- és helyzet meghatározó rendszerből származó kamerapozíció és elfordulás adatok (direkt tájékozási adatok). A modern mérőberendezések ezeket az információkat a fotogrammetriai szoftverek számára könnyen beolvasható adatsomagban archiválják a felvételek mellett. Ezeknek az adatoknak és a bázispárokból adódó térmodell birtokában lehetséges a képek merőleges helyreállítása a térképi síkba vetítve. A térképi síkban újramintavételezett felvétel már mentes az elrajzolásoktól és ortogonális vetítéssel, koordinátahelyesen ábrázolja a földfelszín. Az így készülő távérzékelt állományok pontossága a megfelelő elvek betartása mellett akár az elemi képpont méretével is vetekedhet (Hirschmuller 2008).

### A felmérés megtervezését megelőző tájékozódás

A légifelvétel-térképek és ortofotó-térképek rendkívül sok elemzési módszerrel vizsgálhatóak, számtalan végfelhasználónak biztosítanak térbeli információkat. Nagyon fontos, hogy a légifelvétel-térképekről interpretált felszínborítási kategóriák, és az így nyert tematikus térképek megbízhatóságát is jelezzük a térképeken.

Az így előállított tematikus térképek megbízhatóságát elsősorban a következők határozzák meg:

- A távérzékelttel beszerzett alapadatok pontossága (ortofotó-térkép, helyszíni mérések, vizsgálatok, stb.)
- A levezetett adatok tematikus származtatásának pontossága (légifelvétel-térképek vizuális-, osztályozási interpretációjának torzítása és hibái; helyszíni adatok bevitelének helyes megadása, stb.)
- Végül ezekből adódik az eredményül kapott adatbázis térbeli származtatási pontossága (térbeli pontosság és reprezentativitás).

Nem minden felszínborítási kategória azonosítható és lokalizálható azonos típusú légifelvételekről. A térképezési feladat (légi fényképezés, képfeldolgozási utómunkálatok, ortofotó-, fotó-térkép előállítás, interpretáció, tematikus térképi fedvények előállítás) megtervezése a felhasználási célok figyelembe vételével kell, hogy kezdődjön. Tehát a végtermék (tematikus fedvényekből álló vektoros térkép és adatbázis) elvárt minőségének figyelembevételével kell megtervezni az adatgyűjtést, így a légifelvételezés paramétereit is.

Rendkívül fontos, hogy a felszínborítás térképezése egy-egy elvek alapján történjen (Büttner 2004). Ezért érdemes törekedni arra, hogy a legkülönbözőbb célokra is felhasználhatóak legyenek a felszínborítási adatbázisok, és az egyes felszínborítási kategóriák esetében ugyan olyan megbízható információkat tartalmazzanak. Fontos a nagyfelbontású állományokból interpretált információk integrálhatósága a kontinens léptékű adatbázisokba is.

## A légifelvételek minősége

A légifelvételek kiértékelésekor a térbeli felbontáson kívül nagyon fontos, hogy minél jobb legyen a képminőség. A légifelvételek képminőségét hátrányosan befolyásolja a képzaj. A képvándorlás szintén rontja a légifelvételen látható foltok azonosítását és a foltok pontos lehatárolását (Blumenthal 2007). A dinamikai tartomány, (az árnyalatterjedelem szélessége illetve az árnyalatgazdagság) szintén meghatározó a felvételekből levezethető információk megbízhatósága szempontjából. Amennyiben a kamera által elméletileg rögzíthető legsötétebb és legvilágosabb pont közötti különbség nem elég nagy, adott körülmények között nem létezik helyes expozíció, a felvételeken beégett, vagy árnyékos területek jelentkeznek. Az ilyen részletekben szegény képterületeken a kiértékelési lehetőségek korlátozottak.

A jobb minőségű érzékelőn több foton nyelődik el anélkül, hogy a képpontok túltelítődnének így egy adott téma árnyaltabban, nagyobb dinamikai tartományban leképezhető. Így adott digitális színmenységgel történő eltárolás esetén ugyan annyi fizikai tárhelyen több értelmezhető, „hasznos” információ kerül archiválásra, a felvételek színhelyesebbek, információ-gazdagabbak lesznek.

Rendkívül fontos a színhelyesség, a színvisszaadás pontossága. A valószínűs digitális felvételek három csatornából épülnek fel. A vörös (R), zöld (G) és kék (B) csatornák együtt tartalmazzák a -380-780 nm hullámhosszúság tartománybeli értékeket (a képalkotó szenzor spektrális érzékenységtől, és az expozíció során beérkező sugarak hullámhosszától, valamint szűrők alkalmazásától függően). A 24 bites felvételek három 8 bites csatornából épülnek fel, ahol 0-255 értéket vehet fel minden csatorna. Korunk digitális fényképezőgépei, szkennerei és a modern számítógépek képesek 12-16 bites csatornákat rögzíteni és kezelni.

Nagyon lényeges a képérzékelő pontos síkba fektetése, az autokollimáció, és az adott objektívvel együtt történő kalibráció, a felvételek geometriai viszonyai miatt.

Az objektívek elsősorban a leképzési tulajdonságokat határozzák meg, de a felbontást is korlátozzák. Tisztaságukkal, geometriai tulajdonságaikkal, spektrumon vizsgált viselkedésükkel, feloldóképességükkel, és fényerejükkel jellemezzük a minőségüket. Légifelvétel-térképek alapképei csak speciális, síkra korrigált, szimmetrikus felépítésű, kiváló minőségű, és minimális torzítású, rendkívüli szabályok szerint tisztántartott objektívvel, és kamerarendszerrel készülhetnek, mert az ezekből készülő állományokat határfelbontáson, teljes nagyságánál elemezzük és használjuk.

A kamerarendszert hordozó platform mozgási tulajdonságai, és a kamerát pozicionáló berendezés pontatlansága felelős a függőleges kameratengelytől való eltérésekért, és egyes képvándorlás jellegű bemozdulásokért is. Például a repülőgép orsózó mozgása általában jelentősebb bemozdulást okoz, mint a repülőgép haladási sebessége. Ideális esetben a tárgy távolság (esetünkben ez a relatív repülési magasság), a fókusz távolság és a kamera mozgási sebességének függvényében változik a leképzett pont sebessége a képérzékelőn. Amennyiben ez az elmozdulás meghaladja az elemi pixel legkisebb átmérőjét, repülésirányú bemozdulásról, azaz képván-

dorlásról beszélünk. Az orsó és bólintás irányú elmozdulások nagyobb mértékű képbemozdulást okozhatnak.

Ha 2,5-3°-nál nagyobb a kameratengely függőlegestől való eltérése, azaz a dőlésszög, a fotótérkép összeállítása nehezebben megy végbe (Specification for Aerial Survey Photography, 1982). Ez nem csak az analóg képfeldolgozó rendszerekre igaz, hanem a szoftveres képfeldolgozásra is.

A digitális fotogrammetriai képfeldolgozás jelentősebb eltéréseket is helyrehoz, de ez nem előnyös a képi minőség és a képfeldolgozás időtartama szempontjából. A nagyméretű dőlésszög a felbontás képterületen belüli változását okozza, ami bizonyos területeken információvesztéshez vezet. A tárgy távolsággal csökken a felbontás, az azonos méretarányra nagyított képterület újramintavételezése térképészeti értelemben orvosolja a hibát, de nem képes visszaadni az elvesztett képrészleteket. A probléma kiküszöbölése érdekében elfordulás érzékelő, tájoló és gyorsulásmérő műszerek adatait elemző számítógép által vezérelt motorok felelősek a kameratengely függőleges állásáért. A vetítési centrum koordinátáinak és a kamera felvételt készítőkor helyzetének pontos kiszámítása és rögzítése a nagy pontosságú D-GPS-INS rendszerek és a nagysebességű fedélzeti számítógépek feladata.

A pásztázó légi távérzékelési rendszerek esetében még bonyolultabb a helyzet, mivel a pászta szélein lényegesen eltérő megvilágítási értékekkel lehet számolni. A légköri sugárzás mértékét elsősorban a napszak, az évszak, és a légkör összetétele, a meteorológiai viszonyok befolyásolják. A detektor érzékenysége határozza meg, hogy adott megvilágításnál létezik-e olyan expozíció, ami a mozgás ellenére éles és kellőképpen világos képet ad. A napfény beesési szöge meghatározza az árnyékok hosszát. Ezért az évszaknak megfelelően változik a légifelvétel-térképezésre megfelelő órák száma. Hiperspektrális rendszerek esetében a felvételezésre alkalmas órák száma jóval kevesebb, mint a széles spektrális átfogású csatornákat rögzítő szenzorok esetében. Ezért gyakrabban kell bizonyos kompromisszumokat elfogadni a felvételezés tárgyidőszakon belüli megvalósítása érdekében. Jelenleg a költséghatékony hiperspektrális rendszerek terepi felbontása nem teszi lehetővé a topográfiai pontosságú nagyrészletességű térképezést. Legnagyobb előnyei a speciális minőségi és mennyiségi információk gyűjtése során jelentkeznek a magas információ-tartalmú állományaiknak.

A páratartalom káros fénytöréseket, torzítást és rossz látási viszonyokat okoz. Csökkenti a felvételek felszíni adattartalmát. Nagy különbségek vannak a levegő mindenkori páratartalma függvényében: a trópusi és tengeri légtömegek jobban szórják a fényt, mint a kontinentális és sarki légtömegek, de mindez alapvetően függ a légáramlatok konkrét páratartalmától, szennyezettségétől.

Az ultraibolya, látható és közeli infravörös tartományban az atmoszférikus szórás hatása jelentős. A szórásban résztvevő molekulák méretei szerint két csoportot különböztethetünk meg: a Rayleigh szórás a tiszta atmoszférát alkotó gázok okozzák, (molekuláinak átmérője kisebb, mint a detektált elektromágneses sugárzás hullámhossza). A repülőgép alatti légréteg is sugároz légfényt, ennek a sugárzásnak a Rayleigh komponensét csökkenthetjük ultraibolya, fekete-fehér képek



készítésekor pedig sárga szűrő alkalmazásával. Hatása sokkal jelentősebb a rövidebb hullámhosszokon.

A levegőben lévő nagyobb részecskék (molekulahalmazok, vízcseppek, füst, por, stb.) a Mie-féle szórást okozzák. Ez a szórás az atmoszféra alsóbb (~ 5000 m-ig) rétegeire korlátozódik. Nem egyenletes, a beeső fény irányához közeli szögek felé nagyobb az intenzitása (Belényesi et al. 2008.)

A hordozóeszköz motorjából, hajtóművéből származó füstgázok elterelésére, elvezetésére, nagy hangsúlyt kell fektetni. Ellenkező esetben üzemanyag, és olajcseppek jelenhetnek meg a véglencsén, vagy szűrőn (felmarva a reflexiómentesítő réteget), és meleg füst áramolhat a kamerarendszer alatt, erős képtorzító hatással.

A felhők közvetlen kitakarást eredményeznek, ha a repülőgép alatt vannak, és felhőárnyékot, ha magasabban. A felhő által beárnyékolta terepfoltra hibás expozíció, részletvesztés, kiértékelési hibát okozó tónus- és megvilágítás különbségek jellemzőek. Utóbbi problémát a legmodernebb képalkotó szenzorok valamelyest csökkentik, mert utólagos dinamikus hisztogram eltolással kiegyenlíthetőek a felhőárnyékban jelentkező alulexponált képfoltok fényerő jellemzői. Felhőárnyék-mentes területfényképezés felhőmentes időben, vagy teljesen zárt felhőtakaró alól **végezhető**.

A robosztus képelemzési algoritmusok fejlesztése mind a multi- mind pedig a hiperspektrális rendszerek felhasználási lehetőségeit, mind pedig a felszíni információk kinyerésének pontosságát növelik. A közeljövőben számíthatunk olyan intelligens vezérlésű, nagy dinamikájú fényképezőgépek megjelenésére, amelyek egyetlen exponáláskor megközelítőleg ugyan olyan tónusokat, árnyalatokat és kontúrokat produkálnak az eredetileg árnyékolta és a nagyon világos képrészleteken is.

Várható a valószínű, multispektrális és hiperspektrális légi rendszerek geometriai felbontásának növekedése. Ez különösen a hiperspektrális eszközök esetében jelent majd áttörést, mivel a jelenleg elérhető magas csatornaszámú berendezések felbontása nem teszi lehetővé gazdaságosan a topográfiai pontosságú térbeli meghatározását az egyébként rendkívül magas információtartalomnak.

A kinyerhető információ érdekében a módszer (megfelelő spektrumok és geometriai részletesség, stb.) és felvételezési időszak optimális megválasztása nagyon lényeges az adatfelhasználás érdekében.

## A légi felmérés típusai

Az **ortofotó-térkép** gyakorlatilag párhuzamos vetítésű, térképhelyessé tett légi fényképek összeolvasztásának az eredménye. Nem csak RGB, azaz a látható spektrumtartományt **három digitális csatornával átfogó** színes felvételleként hozható létre, de az alapjául szolgáló légi felvételek készülhetnek az emberi szem számára már nem, vagy kevéssé érzékelhető hullámhosszokban is, vagy például több csatornán. A felszínről színes infravörös, illetve ultraibolya tartományban a szenzorra érkező elektromágneses sugarak rögzítésével további hasznos információkhoz juthatunk. Speciális szennyezések felszíni megnyilvánulásait detektálhatjuk, **észlelhetjük** a

növénybetegségeket és a környezeti adottságok jobban feltáráhatóak a multispektrális passzív eljárásokkal, amelyek nem zavarják meg a vizsgált közeget, **így észrevétlenül végezhető az adatgyűjtés**.

A **multispektrális felvételek** esetében tehát több csatornánk van háromnál, ezzel növelve a detektálható objektumok, jelenségek számát, és a kiértékelés pontosságát. A spektrális érzékenységet a szenzor érzékelési tartománya, az objektívek minősége, tisztasága és a beérkező elektromágneses hullámok határozzák meg. A spektrális felbontást úgy fejezhetjük ki, ha legalább nm pontossággal megadjuk, hogy az elektromágneses spektrum milyen tartományában/tartományában (pl. VIS, NIR, UV) készül a légifelvétel-térkép. Adott terepi felbontás és geometriai pontosság mellett az érzékelt spektrális ablakok számának növekedése növeli a kiértékelési lehetőségeket, a detektálható, később azonosítható objektumok, folyamatok és élőlények számát és bizonyos esetekben a térbeli észlelés pontosságát is. Van, amikor egy adott objektumtípust szeretnénk jobban kiemelni a környezetéből, ezzel automatizálhatóvá téve a felvétel kiértékelést.

A képcsatornák által rögzített spektrumtartományok lehetnek folytonosak, de egymástól távoliak is. Az egyes csatornák átfogása is változhat (pl. b1: 400–422 nm, b2: 422–510 nm b3: 840–860 nm, b4: 890 – 910 nm).

A **hiperspektrális rendszerek** az extrém nagyfelbontású multispektrális kamerarendszerekkel ellentétben sok száz kisebb geometriai felbontású szűk spektrális tartományban rögzítik a terepi információkat, és ezek a szűk spektrális tartományok folytonosan követik egymást, így spektrálisan pontosabb méréseket tesznek lehetővé. Míg a multispektrális rendszerek jelentős része frame kamera elven működik, azaz egy diszkrét megvilágítási pillanatban rögzíti a kétdimenziós képet, addig a hiperspektrális eszközök többsége pásztázó elven működik és csak a csúcstechnológiájú HS berendezések képviselői frame rendszerűek. A leghosszabb időt talán a kiértékelés ellenőrzésére kell fordítani. Mivel az UV, VIS és NIR tartományban is több csatornán rögzítenek, és ennél jóval nagyobb hullámhosszúságú spektrális tartományban is detektálnak, sokkal érzékenyebbek az időjárási körülményekre. (A megfelelő expozícióhoz szükséges időtartam adott megvilágítási körülmények között a hullám hosszúságának növekedésével növekszik, ezért a hiperspektrális eszközök esetében már nagyon fontos a megfelelő megvilágítás.)

A **légi lézerszkennelés** már energiaközléssel működő, tehát aktív eljárás. A kibocsátott fény szenzorra visszaverődő hányadának segítségével rekonstruálják a felületmodellt és a legmélyebb jelviszátérésekből a terepre is következtetnek. Napjainkra egyre nagyobb részt hódít vissza a légi lézerszkennelési eljárásoktól a fotogrammetria, mert költséghatékonyan és rendkívül részletesen adja vissza a háromdimenziós valóságot.

Az **oblique** (lefelé oldalra is fényképező) mérőkamerás megoldás alacsonyrepülésből a téli időszakban meglepően jól belát a fás szárú növényzet alá, így kiváltva a költséges LiDAR felméréseket. Ráadásul nem csak három dimenziós színezett pontfelhőt és egy, a tájat felülről ábrázoló ortofotó-térképet kapunk általa, de négy irányban enged felülről-oldalról betekintést folytonos képként, döntött térképként.

## A légi felmérési módszer kiválasztása

A levegőből történő felmérés (légi távérzékelés) elvégzését célzó ajánlattételi felhívás (függetlenül attól, hogy repülőgépről, helikopterről, UAV-ról, vagy egyéb platformról valósul meg a repülés) a következő lényeges paraméterek segítségével fogalmazható meg:

**Terepi felbontás:** azt fejezi ki, hogy hány cm oldalhosszúságú terepi folt (négyzet vagy téglalap) képződik le 1 pixelen (elemi képponton), így a felvételek részletességét jellemzi. (Minél nagyobb az egy pixel által visszaadott terepi folt szélességére vonatkozó számérték, annál kisebb a felvétel részletessége.) A terepi felbontás meghatározó abból a szempontból, hogy a légifelvétel-térképen (ortofotókon, vagy ortofotó-mozaikon), milyen objektumok lesznek felismerhetők és lokalizálhatók, illetve a háromdimenziós modell milyen részletesen írja le a felszín (domborzat, vagy felületek) alakzatait. Fontos figyelembe venni, hogy a terepi felbontás mértékével egyező méretű objektumok nem, vagy csak kivételes esetekben azonosíthatóak. Általában 5-10 pixel szélességben kell ahhoz leképezni egy tárgyat, hogy az azonosítható legyen, attól függően, hogy mennyire különíti el a színe, alakja és textúrája a környezetétől.

**Geometriai pontosság:** A térképek geometriájának és méretarányának pontosságát jellemzi. Számszerűen általában a szórással vagy a középhibával adják meg (lásd: <http://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos> itt Excel táblázatot is közzéteszünk, hogy segítsünk pontosság ellenőrzésében.) A gyakorlatban ez a paraméter szabja meg, hogy mekkora lehet az eltérés egy terepen megtalálható tárgy, és a fotó-térképen megjelenő képe között. A pontosságot az ellenőrző pontok koordináta-eltérési átlagaként, és a legnagyobb tapasztalt eltérés megadásával is ki lehet fejezni. Minél nagyobb számértékről beszélünk, annál kisebb a pontosság, mivel akkora eltérést engedünk meg. Geometriai megbízhatóság szerint a következő minőségi osztályokba soroljuk az ortofotókat:

**Négyszeresnél nagyobb pixelhibájú felvételek:** Olyan légifelvétel-térképek, amelyek nem elégítik ki a tervtérképek levezetéséhez szükséges geometriai pontosságot, de analízisük elősegíti a döntéstámogatást és a monitoring folyamatokat. Egy 50 cm terepi felbontású felvétel négyszeres pixelhiba esetén 2 m geometriai elrajzolással rendelkezik. Egy 3 cm terepi felbontású négyszeres pixelhibájú felvétel azonban még mindig 12 cm pontos, ráadásul nagyon kisméretű objektumok azonosítását is lehetővé teszi. Ezért léptéktől függően ez a geometriai minőségi kategória is lehet megbízható termék.

**Négyszeres pixelhibájú felvételek:** A leggyakrabban elvárt geometriai minőség, amelynek során a fotó-térképen tapasztalható hibák átlagértéke nem lépheti túl a terepi felbontás értékének négyszeresét, tehát a hiba négy pixelnél kisebb mértékű. Az ilyen légi távérzékelési felvételek előállítása 5 cm terepi felbontásig rutin feladatnak számít Európában, és a legtöbb nagy méretarányú munka ilyen igények alapján valósul meg.

**Kétszeres pixelhibájú felvételek:** A tapasztalt eltérések átlaga a terepi felbontás kétszeresét nem haladja meg. Műszaki tervezés, beruházások dokumentálása és tervtérképek készítése indokolják nagy méretarányú térképezés esetén. 25 cm terepi felbontásnál kisebb (pl. 30, 40, 50 cm) terepi felbontá-

sú felmérés esetén azonban könnyen biztosítható, mert az illesztő-pontok és fedélzeti berendezések pontosságához képest már jóval nagyobb területet jelenít meg egy elemi képpont.

**„Subpixel” pontosságú felvételek:** Általában a mikro UAS technológia számára elérhető pontosságtartomány, amelynek során a terepi felbontáshoz képest kisebb méretű átlageltérés fordulhat elő. Általában úgy biztosítható, hogy egy nagyfelbontású felmérés anyagát redukálják kisebb felbontásúra, így előállítási költsége jelentősen magasabb a hagyományos felmérésekénél.

**A csatornák száma:** Az ortofotó-térképek árát befolyásolja a csatornák száma is. Alapesetben RGB (színes ortofotó), azaz 3 csatornás felvételek készülnek, de amint további csatornákkal (pl. Nir, azaz közeli infravörös) egészül ki a felmérés, az általában többletköltséget jelent. Ezeknek a multispektrális (70 folytonos csatorna felett hiperspektrális) felvételeknek a feldolgozása, értelmezése is speciális feladat, ezért itt feltétlenül egyedi a Megrendelői igény felmérése, és kölcsönös együttműködés szükséges a Megrendelő és a Vállalkozó között, már a feladat meghatározásakor. Fontos a távérzékelési feladatot elvégző szervezettel közölni a felhasználási célt, hogy a megrendelő azt kapja, amire szüksége van.

A fotogrammetriai munkálatok során készül a **felületmodell**, és az abból további terepi felméréssel levezetett **domborzatmodell részletessége** nem éri el az ortofotó felbontását, mert a háromdimenziós pontfelhő egyes pontjai egy több pixel által leírt valós objektumon képződnek le. Mivel az azonosítható felszíni pontokat több pixel írja le, így könnyen belátható, hogy a modell részletessége (terepi felbontása) jóval kisebb lesz az ortofotó terepi felbontásánál. A modell pontossága függ a felvételezés módjától, a felmérés részletességétől, a bázisviszonytól, a felvételezés sűrűségétől (háromszögelések száma), a felvételezés minőségétől (expozíció, képvándorlás-mentesség, élesség) és a felvételezéskor tapasztalható időjárástól. Bár az ortofotó készítés során előáll egy felületmodell, amely a fényképfelvételnek, mint kétdimenziós végterméknek a geometriai minőségét biztosítja, a végfelhasználó számára átadásra szánt háromdimenziós térképek esetében további geodéziai terepi felmérés és labormunka szükséges. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy mind az elkészítési idő, mind pedig a ráfordítás megnövekszik.

A feladat tartalmazhat olyan kiegészítő munkálatokat, amelyek nem képezik az ortofotó-térkép, illetve a domborzat- vagy felületmodell készítés szerves részét. Ilyen például, amennyiben a felvételekből történő **adatlevezetést, tematikus térképek készítését**, vagy a felvételek feliratozását, nyomtatható térképműve történő grafikai szerkesztését is egy ajánlati felhívásban kívánja lebonyolítani a megrendelő. Ezek a feladatok azonban nem a légi távérzékelési feladat közvetlen elemei, hanem független, térképmű előállítási folyamatok (például az utcákat, járdákat, tetőket, víztesteket tartalmazó vektorgrafikus térképek megrajzolása, esetleg számítógépes osztályozással történő levezetése), vagy grafikai és nyomdai feladatok (mint a méretarány, lépték, északjel, eséstüske, örkereszt, címsorok, dátumok feltüntetése, poszter szerkesztés, nyomdai kivitelezés). Az ilyen jellegű beavatkozásokat a Megrendelő egyéni, szubjektív igényei alapján kell meghatározni, térképészeti szemléleten alapuló megfogalmazással.

## A terepi felbontás optimális megválasztása

A terepi felbontás alapvetően meghatározza a légifelvétel-térkép részletességét, és az abból kinyerhető térbeli információk kiértékelési lehetőségeit. A távérzékelési eljárás rosszul megválasztott terepi felbontása kiértékelési torzulásokhoz vezet, és ilyenkor a feladat végeztével a valóságos állapotokhoz képest hibás felszíni adatokkal feltöltött adatbázist kapunk.

Sokan feltették számunkra az utóbbi időben a kérdést: milyen terepi felbontású légifelvételeket érdemes beszerezni adott terepi információ térbeli rögzítése céljából. Ezért a Földmérési és Távérzékelési Intézet Környezetvédelmi Távérzékelési Osztályán Büttner György és Maucha Gergő útmutatásai alapján, a VITUKI Távérzékelési Osztályának bevonásával az Interspect Kft. csapatával elvégeztük három mintaterület légifelvételését különböző vegetációs időszakokban, különböző kamerarendszerekkel. Digitális és analóg felvételek készültek 2-10 cm terepi felbontással, 1:240–1:1200 méretarányban, 600–930 m terepfelületi repülési magasságból, és analóg felvételek is készültek (Hasselblad 500, KODAK Aerochrome, és RC-30, AGFA P 200, M=1:10.000, 1530 m relatív repülési magasság, 7 mikron digitalizálási felbontás) 2008 és 2017 között. A mintaterületeken megtalálható a Budapest ivóvizének egy részét szolgáltató vízbázis, kaszált terület, felhagyott mezőgazdasági terület, legelők, nagytáblás mezőgazdasági területek, víztestek, tájsebek, erdő és települések belterületei is. Az azonos körülmények között készült légifelvétel-térképeket különböző terepi felbontású verziók esetében értékeltük ki, és az eredményül kapott felszínborítási térképeket összehasonlítottuk. Az „*azonos körülmények*” (azonos kamerarendszer, azonos légköri viszonyok, hőmérséklet és felvételi álláspontok, stb.) biztosítása a nagyfelbontású fotomozaikok digitális, kisebb (diszkért) felbontás értékeken történő újrámintavételezésével volt elérhető az egyes területeken. Arra azonban fel kell hívni a figyelmet, hogy az azonos tárgy távolság olyan kisebb felbontású légifelvétel-térképeket eredményez, amelyeknek a képi minősége lényegesen jobb, a nagy magasságból fényképezhető légifelvétel-térképénél. Ezért vizsgálati eredményeink azt mutatják meg, hogy mely felbontás-tartománytól kisebb felbontás-értékeken biztosan pontatlan az adott felszínborítási kategória kiértékelése. Ellenőrzésképpen a halásztelki mintaterületen ismételt felvételezést, és vegetációs időszakon kívüli felszínborítás térképezést is végeztünk.

Összehasonlítottuk a vizuális interpretációval nyert tematikus felszínborítási térképek vektorállományainak egyes felszínborítási kategóriák esetében mutatkozó különbségeit.

A vizsgálat kulcskérdésének megválaszolásához összehasonlítottuk a mintaterületekről ugyanabban az időben, de eltérő terepi felbontással készített légifelvételekből vizuális interpretációval származtatott tematikus felszínborítási térképeket. A vizsgálatok főleg ökológiai és mikroklíma szempontból lényeges felszíni információk kinyerésére irányultak, de a topográfiai és környezetvédelmi települési tervezési feladatok nagy részét is kielégítenék. Így olyan többcélú adatbázis minta felállítására is törekedtünk, amely sokféle gazdálkodási és kutatási ágazat számára hasznos lehet. A kiértékelés során többszöri terepbejárást és helyszíni ellenőrzést végeztünk.

A vizsgálatok érdekes torzítási és hibalehetőségekre hívták fel a figyelmet. Az 50 cm terepi felbontású, 1:10.000 méretarányú ortofotó-térképek már alkalmazhatóak topográfiai térképezésre és a lakott területek épületeinek pontos lehatárolására, a mesterséges objektumok elhelyezkedésének meghatározására. Amikor viszont nagy adatigényű és részletességű, összetett ökológiai modellekhez szeretnénk pontos adatokat szolgáltatni, az 50 cm, vagy annál kisebb terepi felbontású felvételekből nyerhető térbeli adatbázisok nem szolgáltatnak kellő mennyiségű információt. Az épületek és mesterséges objektumok által lefedett felületek összegének tekintetében megállapítható, hogy félrevezető eredményt nyújthatnak a 20 cm terepi felbontásnál kisebb részletességű távérzékelési állományokból nyert adatok.

A két hónap különbséggel készült légifelvétel-térképek kiértékelésében 10 cm terepi felbontás esetén nem mutatkozott jelentős különbség, (az adott kategória térképezési viszonylatában említésre méltó) azonosítható hiba. Nem voltak jelentős eltérések a lehatárolt területek méretében sem. Nem véletlen, hogy a **települési ortofotók terepi felbontása a felmérési gyakorlatban is 5-10 cm.**

**Ahol a háromdimenziós pontfelhő magassági adatai is kritikus fontosságúak, a 2-5 cm terepi felbontás-tartományban végzett felmérés javasolható.**

A vizsgálat általános tanulsága, hogy a felszín borító objektumok feltérképezése során az egyes felszínborítási kategóriákra vonatkozóan céltérképezésnél meg kell határozni a készítendő légifelvétel-térkép alapképeinek az elemzés pontos elvégzése szempontjából kívánt terepi felbontását és egyéb minőségi paramétereit. El kell döntenünk, hogy hagyományos topográfiai térképezés a célunk (és ezen belül milyen térképi elemek feltárása szükséges), vagy táj-érték, klimatológiai-, vegetáció-, hulladék-, fertőzöttség térképezése, esetleg valamely összetett környezeti folyamat modellezése a cél. A nagyterjedésű, homogén textúrájú és színvilágú területek észlelése kevésbé felbontás függő, mint a tagolt, összetett tájak felszínborítás elemeinek észlelése. Azok a tagolt, kisebb területet lefedő felszínborítási elemek, amelyek több szempontból (intenzitás, szín, textúra) eltérnek a környezetüktől, könnyebben észlelhetőek, mint a csupán egy szempontból eltérő kisebb területek. Ebből következik, hogy az elemezni kívánt jelenség, objektum, élőhely szerint kell megválasztani a felvételezés felbontását, amennyiben ez lehetséges, azaz a gazdasági szempontok is megengedik.

## A légi felmérés pontossága

A légi felmérésből származó termékek geometriai pontosságának (szabatosságának) meghatározásához többek között a Federal Geographic Data Committee FGDC-STD-007.3-1998 Geospatial Positioning Accuracy Standards szabványa javasolható, mert a téradatok megbízhatóságának egységes jellemzését teszi lehetővé.

A téradatok geometriai pontosságának ellenőrzése kizárólag a termék készítésétől független ellenőrzőpont beméréssel mehet végbe (FGDC-STD-007.3-1998/GPA), oly módon, hogy az ellenőrző pontok a fotogrammetriai (vagy egyéb a

termék előállításához szükséges) munkafolyamatban semmilyen szinten nem vehetnek részt (Bakó et al. 2014). Ez azt jelenti, hogy a fotogrammetriai szoftverekbe még kikapcsolt (inaktív) pontként sem hívhatóak be.

Az ellenőrzőpontok kijelöléséhez szabályos raszter hálózatot kell generálni a munkaterületre, amelynek sarokpontjai képezik az ellenőrzőpontok ideális elhelyezkedését. Ezek a helyszíneken azonban nem minden esetben lehet geodéziai mérést végezni (például egy tóra vagy elzárt területre esik a pont ideális eloszlás szerinti helye), ráadásul a térképen – aminek geometriai pontosságát ellenőrizni szeretnénk – nem biztos, hogy ezeken a helyeken találunk a terepen könnyen beazonosítható és a térképen is jól látható, határozott sarokponttal, vagy jól bemérhető középponttal rendelkező földfelszíni objektumot. Ezért a raszter hálózatból adódó ideális pontfelvételi helyekhez legközelebb eső, pontosan bemérhető földfelszíni objektumokat alkalmazzuk (ACRSA 2016). Az ellenőrző pontok pontossága a legegyszerűbben ismételt beméréssel ellenőrizhető, a meghatározás várható pontossága alapvetően meghatározza az eredményt és annak ellenőrizhetőségét is. Például RTK GNSS meghatározás esetén eleve nem beszélhetünk mm-es pontosságról.

**A termék minőségére vonatkozóan minimálisan a következő paramétereket kell közölni:**

**1. A síkrajzi eltérések átlaga**

Az átlag számításának képlete:

$$A = \frac{|a| + \dots + |a^n|}{n}$$

A síkrajzi átlaghiba jele: HCEa (Average Horizontal Circular Error)

**2. A síkrajzi eltérések maximuma**

A maximum az ellenőrzőpontok és a vizsgált állomány között tapasztalható legnagyobb eltérés abszolút értéke.

A maximális síkrajzi eltérés jele: HCEmax

**3. Síkrajzi pontosság az átlagos négyzetes hiba gyökeként megadva (RMSE, Root Mean Square Error).**

Lehetőség van koordináta tengelyek szerint és eredőként megadva, ez utóbbit fogjuk előnyben részesíteni, jelölése a következő lehet: RMSEh = RMSEr

Képlete:

$$RMSE_h = \sqrt{\sum(|l_i|)^2 / n}$$

ahol

$|l_i|$ ,  $i$  a térképen jól azonosítható pont és az ellenőrző mérésből származó pont távolsága az  $i$ -edik ellenőrzési helyen.

**4. Megbízhatóság<sub>r</sub> a 95%-os konfidencia szinten = 1.7308\*RMSEh**

**5. A magassági értelemben vett átlagos hiba jele: VEa**

**6. A maximális magassági eltérés jele: VEmax**

**7. Magassági pontosság az átlagos négyzetes hiba gyökeként megadva (RMSE, Root Mean Square Error). Jelölése a következő lehet: RMSE<sub>v</sub>**

Képlete:

$$RMSE_v = \sqrt{\sum(|Dh_i|)^2 / n}$$

ahol

$|Dh_i|$ ,  $i$  a térképen jól azonosítható pont magassága és az ellenőrző mérésből származó pont magasságának a különbsége az  $i$ -edik ellenőrzési helyen.

**8. Megbízhatóság<sub>h</sub> a 95%-os konfidencia szinten = 1.9600 \* RMSEv**

**Referenciák**

56/2017. (III.20.) Korm. rendelet az egyes kormányrendeleteknek az „okos város”, „okos város módszertan” fogalom meghatározásával összefüggő módosításáról  
 ACRSA (2016): <http://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos> (Hozzáférés: 2018. január 12.)  
 BAKÓ G. (2010): *Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében*, Tájékológiai Lapok 8 (3): 1–00 (2010) 507–522 p.  
 BAKÓ G., MOLNÁR Zs., és GÓBER E. (2014): *Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei – A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon*, Tájékológiai lapok 12 (2): 285–305. (2014)  
 BELÉNYESI M., KRISTÓF D., MAGYARI J. (2008): *Távérzékelés a környezetgazdálkodásban*. Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 14–18.  
 BLUMENTHAL D., BOOTH D. T., COX S. E., FERRIER C. E (2007): *Large-scale Aerial Images Capture Details of Invasive Plant Populations*, rangeland Ecol Manage 60:523-528, september 2007, p. 524  
 BÜTTNER GY. (2004): *Környezetállapot értékelés távérzékelés segítségével, informatikai vonatkozások*. Környezetállapot értékelés Program Munkacsoport tanulmányok 2003-2004, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, p.7  
 ECCENTRIC <http://civitas.eu/eccentric>  
 FLOW <http://h2020-flow.eu/>  
 HIRSCHMÜLLER H. (2008): *Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information*, In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 30(2), February 2008, pp. 328-341.  
<http://barcelonaregion.net/sant-cugat-smart-city/?lang=en> (Hozzáférés: 2017. 01. 03.)