E-GOVERNMENT TANULMÁNYOK

XL. 2015

Légi fényképezés

a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban

Arial Photogrammetry in Economy and Public Services

Írta és fényképezte:

Bakó Gábor

E-GOVERNMENT ALAPÍTVÁNY
BUDAPEST - HUNGARY
WWW.E-GOVERNMENT.HU

E-Government Tanulmányok XL.

Légi fényképezés a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban

Arial Photogrammetry in Economy and Public Services

Írta és fényképezte:

Bakó Gábor

Lektorálták:

Licskó Béla, Tózsa István

Kiadó:
E-Government Alapítvány a Közigazgatás Modernizációjáért

ISSN: 1785-6108
ISBN 978-963-9753-27-3

Készült:
A Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz és Jövőkutatás Tanszékén az INTERSPECT Kft. támogatásával
Címlapterv: Budai Balázs Benjámin és Bakó Gábor
Nyomda: Dunamix Kft
Felelős kiadó: Tózsa István.

Budapest
2014

A kiadvány szerzői jogvédelem alatt áll. A kiadványt, illetve annak részeit másolni, reprodukálni, adatrögzítő rendszerben tárolni bármilyen formában és bármilyen eszközzel – elektronikus úton vagy más módon – a szerző előzetes írásbeli engedélye nélkül tilos.

Légi fényképezés a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban

Arial Photogrammetry in Economy and Public Services

Írta és fényképezte:

Bakó Gábor

Lektorálták:

Licskó Béla, Tózsa István

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék 4
Előszó 5
1. Légi felmérések a közigazgatásban 6
2. Légifényképből térkép - Hogyan készülnek az ortofotó-térképek 8
3. Légifelvételek az alapvető települési feladatok szervezésében és a településrendezésnél, területi tervezésnél 13
4. Katasztrófavédelem, árvíz- és belvíztérképezés 30
4.1 A belvíz elleni védekezés térképei 30
4.2 Katasztrófavédelem és térinformatika 32
4.3 Vegyi szennyezések jeleinek detektálása 33
4.4 Az árvízvédelmi beavatkozások megtervezése 36
5. Légifényképezés a környezetvédelemben és a természetvédelemben 38
5.1 Repülőgépek a természetvédelem szolgálatában 38
5.2 Környezetvédelmi és ökológiai monitoring rendszer 42
5.3 Az ökoszisztéma szolgáltatások beárazását segítő légi felmérések 45
6. A légi felméréssel támogatott talajtérképezés 46
6.1 A talajjavító munkálatok tervezése és ellenőrzése 49
7. Távérzékelés alkalmazása a mezőgazdaságban 49
8. Bányák, bányatavak terjeszkedésének ellenőrzése 51
9. Szennyvíztisztító monitoring 52
10. Áramlástani vizsgálatok 55
11. Vegetáció térképezés 58
12. Hogyan segítik a légifelvételek a régészek munkáját 65
12.1 A légi régészet kialakulása és első évtizedei Magyarországon 66
12.2 Légi régészet a második világháború után 68
12.3 Légi régészet napjainkban 69
13. Idegenforgalom és marketing 77
14. Hogyan épül egymásra a légi távérzékelés, a fotogrammetria és a térinformatika 83
14.1 A különböző tudományterületek térinformatikai integrálása 84
15. A távérzékelési feladat megtervezéséhez szükséges információk 85
15.1 Miért lényeges a fényképek részletessége, azaz terepi felbontása 85
16. A felvételek minőségét meghatározó tényezők 86
17. A légi felmérések biztonsági oldala 102
18. Háromdimenziós térrögzítés 103
19. Űrfelvételek 107
19.1 Passzív távérzékelő szenzorok a világűrben 107

19.2 Radar távérzékelés a világűrből 109
20. A különböző távérzékelési platformok összehasonlítása 115
Fogalomtár és szakszótár 117
Felhasznált irodalom 123
Köszönetnyilvánítás 124
Ajánlott irodalom 125

Előszó

A fényképekkel és ábrákkal gazdagon illusztrált tankönyv a távérzékelés széleskörű alkalmazásaiból ragad ki egy nagy csokorra valót a gazdálkodás és a közszolgáltatás területeiről, valamint ismerteti a légi felmérések során előállított térképek készítésének menetét. Segíti az így készült ortofotók, fotó-térképek minőségi ellenőrzését, a vizsgálati szempontoknak megfelelő felmérési mód kiválasztását. Átfogó képet ad a műholdas távérzékelés és a robotrepülőgépes felmérések lehetőségeiről, de bevezeti az olvasót a RADAR és LiDAR technológia alapszintű ismereteibe is.

A könyv a szerző több, mint hetven repülőgépes és több, mint húsz távirányítású, vagy előre programozott repülőeszközzel végzett légi felmérésének tapasztalatai alapján készült, amelyekben a repülési terv készítőjeként, mérőkamera kezelőként és a felvételek feldolgozójaként vagy a feldolgozás minőségellenőreként vett részt. Mérőkamera tervezőként repülőgépek felszerelését, alkalmassá tételét is levezényelte, de a légi ortofotók és űrfelvételek vegetációkutatási szempontú kiértékelésével is foglalkozik. Kevesek rendelkeznek ekkora rálátással a munkafolyamatokra, mivel a terület valamennyi munkafolyamatában részt vesz.

A tárgyalt alkalmazási területek: településtervezés, településrendezés, katasztrófavédelem, árvíz és belvízvédekezés illetve az elöntések térképezése, légifényképezés a környezetvédelemben és a természetvédelemi feladatok ellátásához. A felszínborítás változás, mint a táj változásának fontos mutatója (Légi felszínborítás vizsgálatokon alapuló környezetvédelmi és ökológiai monitoring rendszer).

További témák: légi felméréssel támogatott talajtérképezés, mezőgazdasági alkalmazások, tájsebek, rekultiváció, vegetáció térképezés, szennyvíz-monitoring, áramlástani vizsgálatok.

A könyv kiemelten foglalkozik a légi-régészettel, mint speciális, ugyanakkor igen eredményes felhasználási területtel. Megismertet a turisztikai, idegenforgalmi és marketing célú légi felvételekkel, és bemutatja, hogy az űrfelvételek felhasználása miben különbözik a légi felvételekétől.

Ismerteti a légifénykép térképpé alakítását, és bemutatja hogyan épül egymásra a légi távérzékelés, a fotogrammetria és a térinformatika. Az egyes eljárásokat tárgyaló fejezeteket fogalomtár és szakszótár egészíti ki.

Licskó Béla
VITUKI Távérzékelési osztály
osztályvezető

1. Légi felmérések a közigazgatásban

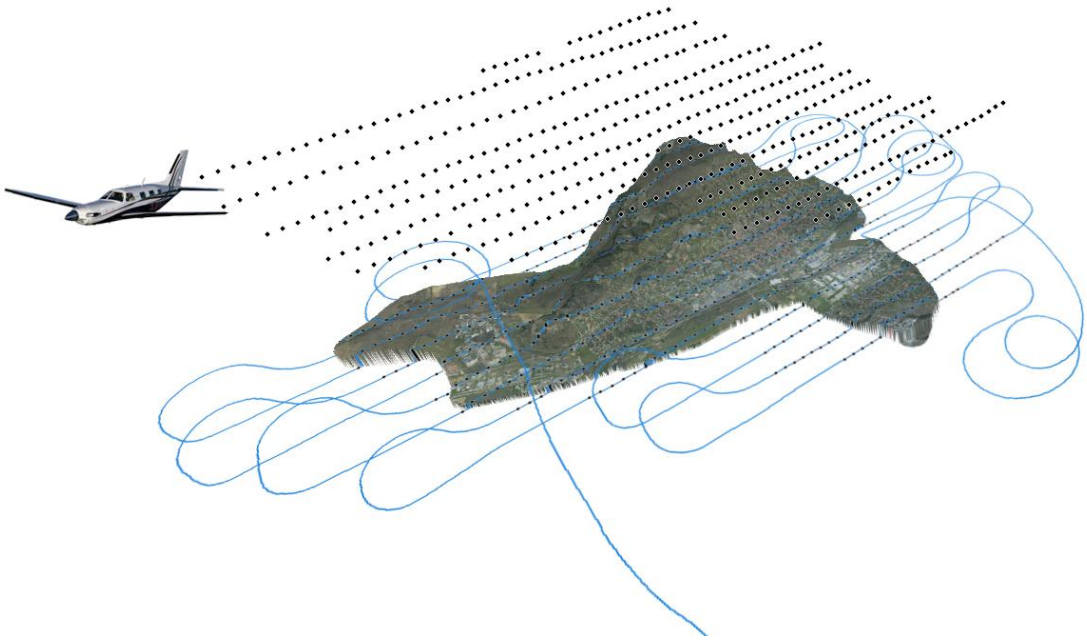
A települési szintű környezetvédelem és a természetvédelem szervezéséhez és ellenőrzéséhez nagy mennyiségű, (a terepen általában nehezen beszerezhető) térbeli adatra van szükség. A levegőből és a világűrből történő felvételezéssel olyan fotó-térképek állíthatóak elő, amelyek segítik a döntéshozókat a földfelszíni folyamatok megértésében, a megalapozott döntésben, és a beruházások megtervezésében, azok lehetséges hatásainak átgondolásában. Amennyiben egy település szerkezetében, vagy egy táj felépítésében jelentős változást idézünk elő, az hatással lesz az ökoszisztémára, és azon keresztül befolyásolja az életminőségünket. Éppen ezért nagyon fontos, hogy a környezetünkbe történő beavatkozások megalapozott, a jövőképünknek megfelelő döntések alapján menjenek végbe. A levegő, a talaj, a felszíni és a felszín alatti víz tisztaságának, a táj értékek megőrzésének alapvető eszköze a területi tervezés. Ebben segít a légifelvételeket térképpé alakító légi távérzékelés, a földmegfigyelés részletes és gyorsan bevethető módszere. A repülőgépről függőlegesen készülő fényképek térképpé alakítása közel száz éve segíti a közigazgatási és térképészeti munkálatokat.

2. Légifényképből térkép - Hogyan készülnek az ortofotó-térképek

A felvételek a repülőgép, helikopter, vagy egyéb repülő eszköz aljából (padlónyílásából) kitekintő mérőkamerával készülnek. Léteznek külső felfüggesztésű kamerák is. Ahogyan a repülőgép halad, a sorozatfelvétel következő fényképe részben átfedi az előző felvételt.

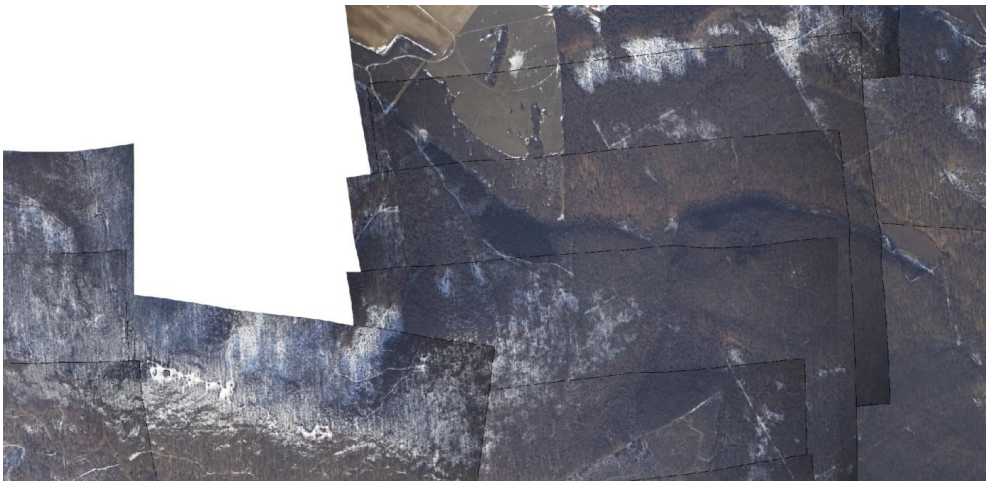
1. ábra A repülőgép haladása közben a mérőkamera diszkrét megvilágítási pillanatokban rögzíti a földfelszín állapotát. A részben átfedő felvételekből később folyamatos, egységes képet hozunk létre.

2/a. ábra A repülőgép a repülési sor végén visszafordul, hogy folytathassa a teljes munkaterületet lefedő légifényképek elkészítését. A következő sor az előzővel párhuzamos, és részben átfed a korábbival.



2/b. ábra Egy konkrét légi felmérés áttekintő képén a repülés nyomvonalát láthatjuk a felszínre vetítve (kék vonal), valamint a fekete pontokat, amelyek a fényképek készítésének koordinátáit jelölik. Az ábra a földfelszínnek csak a fényképezett részét (munkaterület) jeleníti meg. A repülési sorok magasságát elsősorban a felmérés részletessége szabja meg, ezért a domborzati viszonyokat követve ezek a sormagasságok is változnak, hogy a tárgytávolság (a felszíntől számított repülési magasság) nagyjából azonos maradjon.

Az így készített fotók még nem tükrözik hűen a földfelszínt, mert a kamera és az objektív sohasem tökéletes térképi felvételeket készít. A felvételek geometriai helyreállítása, térképi vetületbe illesztése során nyerünk belőlük légifelvétel-térképeket, úgynevezett ortofotókat (3. ábra). Ezek a képek már egyesítik a térképek és a fényképek előnyös tulajdonságait: geometriailag hűen adják vissza a földfelszínt és nem csak a térképrajzoló által fontosnak tartott elemeket örökítik meg, hanem a fénykép részletgazdagságával rögzítik a földfelszín változatosságát.



3. ábra A fotósorozat immár térképhelyesen ábrázolja a földfelszínt

Ezek a térképi vetületben szemlélhető fényképek már önmagukban is értékesek. Az ortofotók egyesítésével (úgynevezett mozaikolásával) azonban még könnyebben kezelhető, egységes képi világú ortofotó-térképeket kapunk (4. ábra).

4. ábra Három felvétel összeolvasztásával előállított mozaik

Az ortofotó-mozaik egységes képnek tekinthető, még akkor is, ha szelvényekre vágva tároljuk. A szelvények tökéletesen illeszkednek egymáshoz, a gyorsabb kezelést segítik. Az ortofotó-mozaik (4. ábra)

használatának számos előnye mellett is előfordul, hogy az ortofotókat inkább egyesítés (mozaikolás) nélkül használjuk fel (3. ábra). Ennek az az előnye, hogy az átfedő képterületek megmaradnak minden felvételen (más és más szögből fényképezve). A többképes kiértékelés során több oldalról szemlélhetjük az objektumokat és ez a módszer sztereo kiértékelésre is lehetőséget teremt. Ugyanakkor az ortofotók többképes kiértékelése nehézséget is jelenthet, mivel az elemzőnek többször fel kell dolgoznia ezeket a területeket, és így akár nyolcszoros időráfordítással is számolhatunk. Mivel a többképes elemzés hosszadalmassá és nehezen követhetővé teszi a munkamenetet, a legtöbb esetben az ortofotó-mozaikot tekintik a légi felmérések végtermékének.

Ezeknek az állományoknak, a változások nyomon követhetősége érdekében naprakésznek és reprodukálhatónak (archiválhatónak) kell lenniük. A légifotó-térképek számtalan szempont szerint kiértékelhetőek, hiszen a légi felvétel nem generalizál, mint a topográfiai és egyéb igazgatási térképek, minden objektum megjelenik rajta, amit a képminőség és a feloldóképesség (a képérzékelő és az objektív felbontása) megenged. Éppen ezért a felmérés tervezésekor kell megválasztani, hogy milyen szempontok szerint és milyen részletességgel szeretnénk feldolgozni a képanyagot. Ennek alapján kell meghatároznia a felvételi paramétereket.

A térbeli vizsgálatok legszemléletesebb eredménye a tematikus térkép, amely a légifotó-térképek elemzése során készül. A következő fejezetekben néhány fontos elemzési lehetőséget ismerhetünk meg.

3. Légifelvételek az alapvető települési feladatok szervezésében és a településrendezésnél, területi tervezésnél

Az épületállomány nyilvántartása, az objektumokban, zöldterületekben és úthálózatban, valamint az elektromos hálózatban beállt változások rögzítése minden nagyobb település számára fontos feladat. A térképeknek mind a külterületen, mind pedig a belterületen naprakésznek és részletesnek kell lenniük.

5. ábra Illegális beépítések leválogatása városi térinformatikai rendszerben

A légifelvétel-térképek segítségével ellenőrizhető a jogi és a valós, természetbeli állapotok eltérése. Az engedély nélküli építkezések-bontások, a szabálytalanul létrehozott vízparti stégek, a nádpusztítás, a szabályozást meghaladó beépítés, fakivágás gyorsan feltűnik, amennyiben a légifelvételre vetítjük a jogi határokat (6-7.ábrák).

6. ábra Az alaptérkép hibái (a) az ortofotó-térkép segítségével kijavíthatóak. Az ortofotó-térkép raszter állományán megnyitott alaptrérkép vektor együttes alkalmazása során az új épületek (b) és a változások, átépítések (c) szembetűnőek lesznek, azokat könnyű ellenőrizni és felvezetni a kataszterbe. (Szigetszentmiklós ortofotó-térképének részlete – Interspect Csoport)

7. ábra Az épületeket lehatároló és a hozzájuk tartozó jogi határokat rögzítő poligonokkal (a), új építésű, az alaptérképen még nem szereplő

épületekkel (b), és lebontott, már nem létező, de az alaptérképen még megjelenő objektumokkal (c) találkozunk Dorog ortofotó-térképe esetében is. (Interspect Csoport)

A területi viták eldöntésében, telekhatárok módosításának kérdésében, épületek korának meghatározásában (8. ábra) is napi rutinnal használják őket. Van azonban a napi közigazgatási feladatokon kívül számos speciális terület, amelynek a zökkenőmentes működése ma már szintén elképzelhetetlen a légi felmérések gyors és precíz adatai nélkül. Ide tartozik például a beruházások tervezése, a közlekedési hálózat korszerűsítése, valamint a csapadékvíz elvezetés megtervezése is.

8. ábra A jelenlegi állípotot tükröző és az archív légifelvétel-térkép összevetésével ellenőrizhető egyes épületek kora. (Bakó Gábor – Interspect: Veszprém 2012 telén készült ortofotó-térkép részlete, valamint a Magyar Állami Térképészet 1941-es légifelvételének részlete)

A légi-térképek segítségével hatékonyan elvégezhetjük a városszerkezeti elemzéseket is. A következő példák különböző településszerkezetek esetében szemléltetik az egyes települési struktúrák jelentőségét (9-26. ábrák).

9. ábra Alföldi település, a – történelmi városrésszel, sok zöldterülettel, b – modern középületekkel, c – kertvárosi részekkel (családi házas és kertes beépítés), d – zártkertekkel, e – külterületi mezőgazdasági parcellákkal, amelyeket belvíz terhel, f – a város levegőjét pozitívan befolyásoló erdővel, g – belvíz által időszakosan használhatatlanná tett fotbalpályával (Kalocsa légifelvétel-térképének részlete – 2010. június .12., délután.)

10. ábra Ugyan az a városrész és környezete perspektivikus (dőlt kameratengelyű) légifelvételen (Bakó Gábor 2010. június .12., délután.)

11. ábra Összetett telekelrendeződés a belterület szélén. a – gazdálkodást folytató lakosok ingatlanjai, b – a terület mezőgazdasági jelentőségének csökkenésével felhagyott gazdasági épület, c – új építésű lakóház

medencével, d – szőlőgazdálkodás, e – régi építésű lakóházak, f – új építésű lakóházak (Bakó Gábor- Interspect, Szigetszentmiklós 2012.)

12. ábra Összefüggő településszerkezet Budapest VII. kerületében, az Erzsébet körútnál. Zárt lakótömbök, szilárd útburkolattal, a zöldterület előfordulása csak kivételes. A klasszikus bérházakat (a) felújítják, modernizálják (b), lebontják (c) és így a tömb rehabilitáció miatt foghíjak keletkeznek, amelyeken sokszor parkolókat hoznak létre. A lebontott házak helyére modern, sokszor a környezetükbe nem illő épületek kerülnek (d).

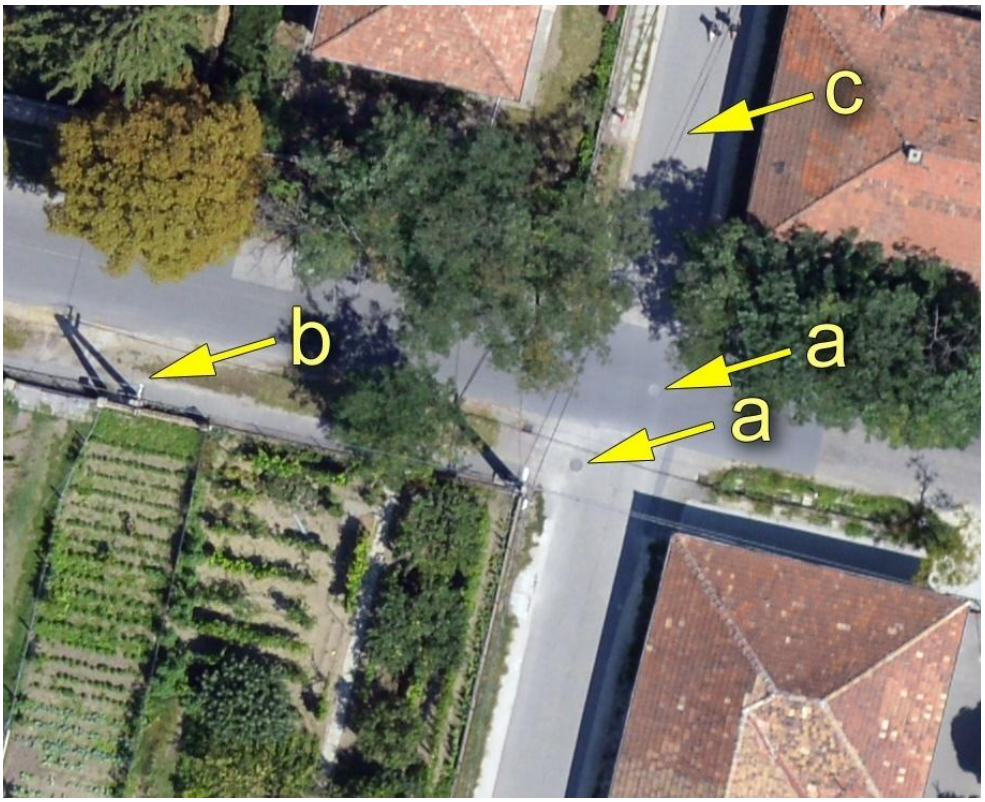
13. ábra Felújított lakótelep részlete tömbelemes lakóházakkal, a – klasszikus közparkokkal, b – modernizált közparkokkal és játszóterekkel, c – parkolóhelyekkel. (Bakó Gábor- Interspect, Százhalombatta, 2012.)

14. ábra A XX. század utolsó negyedében épített lakótelep (a), épülő (b) és elkészült lakópark részek (c), sportpályák (d), csónakházak (e),

úszómedence (f), valamint parkosított terület (g), és lebontott épületek után megmaradt törmelék, rendezetlen telkek (h), bevásárlóközpont (i) a Soroksári Dunaág mentén.

15. ábra A zöldfelület felmérését a belváros esetében nehéz volna pusztán földi ellenőrzéssel megvalósítani. Az ortofotók segítségével a körbezárt területeket is átláthatjuk, egységes léptékben vizsgálhatjuk a teljes munkaterületet. A város fejlődésével fogyatkozó zöldterületek csökkenésének mértékét bejárásos módszerrel nagyon nehéz volna dokumentálni. A Rákóczi tér zöldfelülete is csökkent a metróépítéssel (a), a vásárcsarnok épülete (b) előtti rész kinagyítva szemlélteti az ábra. A terek mérete az utóbbi száz évben jelentősen csökkent, és az elmúlt években jelentős részük szilárd burkolatot kapott (c). Elzárt helyeken is találhatóak zöldterületek (d) és ezek is hozzájárulnak a mikroklíma alakulásához, így a városökológiai modellek nem nélkülözhetik ezek megismerését sem.

16. ábra A város madártávlati képe is ábrázolható térképi vetületben, és a bár tematikus térképi kiértékelés könnyebben megvalósítható a várost felülről bemutató ortofotó-térképek segítségével, ez a megoldás nagyban segíti a térképen ábrázoltak könnyebb megértését. Ezen az ábrán az előzőhöz hasonlóan ugyancsak Budapest VIII. kerületét láthatjuk. A madártávlati ortofotók perspektívikus, oldalról – felölről készülő légifényképek térképi vetületbe illesztésével készülnek. Mivel a magas épületek és fák nagy térrészt kitakarnak a mögöttük található felszínből, ez a technológia inkább a navigációs rendszerek és internetes térképek látványvilágát hivatott kiszolgálni.



17. ábra A települések ortofotó-térképén kimutatható a csatornázottság is. A csatornafedelekre (a) különösen a becsatlakozó utcáknál számíthatunk. A felvételen merőlegesen megjelenő villanyoszlopokra sok esetben az árnyékuk hívja fel a figyelmet (b). Míg az előbbiek 10 cm terepi felbontástól (1:1200 méretarány) láthatóvá válnak, addig az elektromos vezetékek (c) biztonságos azonosítása nagyjából 5 cm terepi felbontásnál válik lehetővé (M=1:600). Ennél a felbontásnál az avatott szakemberek a fászárú növényzet faji szintű azonosítását is el tudják végezni.

18. ábra Vegetációs időszakban, és ugyanazt a területet lombmentes időszakban ábrázoló ortofotó-térképek részletei. A lombozat kitakaró hatása az épületállomány vizsgálatát nem nehezíti meg, de egyes csatornafedeleket, telekhatárokat eltakarhat. A lombmentes időszakban készített légifelvételek viszont sok esetben kevésbé jó minőségűek a téli, kora tavaszi időszakra jellemző páratartalom és fényviszonyok miatt. (A felvételek Dunaföldvár 2010. évi légitérképeiből származnak – Interspect Csoport)

19. ábra Az előző ábrán látható terület dőlt kameratengelyű, perspektivikus légifelvételen.

20. ábra Ipari és áruszállítási létesítmények: A csepeli Szabadkikötő 2011 szeptemberében. A Gabonatárház a kikötő legnagyobb épülete (a). A lebetonozott felszínen tárolt konténerek jól felismerhetőek (b), ahogyan a talajfelszínen tárolt fémáru készlet is (c). A hűtőtárolók (d) és a darabáru raktár (e) is jellegzetesek. Az utóbbi években nagyon sok épületet lebontottak. Ezek helyén rendezésre váró, gazos területeket látunk (f).

21. ábra Az üzemanyagtöltő állomások általában fedett létesítmények, de felismerhetőek a ki- és behajtást biztosító aszfaltozott útszakaszokról, a parkolóhelyekről, és egyes járulékos létesítményekről (pl. kereknyomás ellenőrző, gáztartály). Altalábana főutak mellett helyezkednek el.

22. ábra Az ipari területen szabadtéri tárolású hulladékot (a), földmunkát, tereprendezést (b), elhanyagolt területeket, feleslegessé vált betonburkolatokat (c) és szabadtéren tárolt nyersanyagkészletet (d) látunk. (Paks 2012-es ortofotó térképének részlete. A szerző felvétele.)

23. ábra Illegális hulladéklerakó halmok.

24/a ábra Állattartó telep színes és színes infravörös ortofotó-térkép részleten Gödöllőn. A karámok (a) közelében feltalajt vesztett, kitaposott futtatók (b) szerves trágya ideiglenes tárolása és hígtrágya szennyezés (c) figyelhető meg.

24/b ábra Különböző mértékű nitrites szennyeződések az előző felvétel részletén.

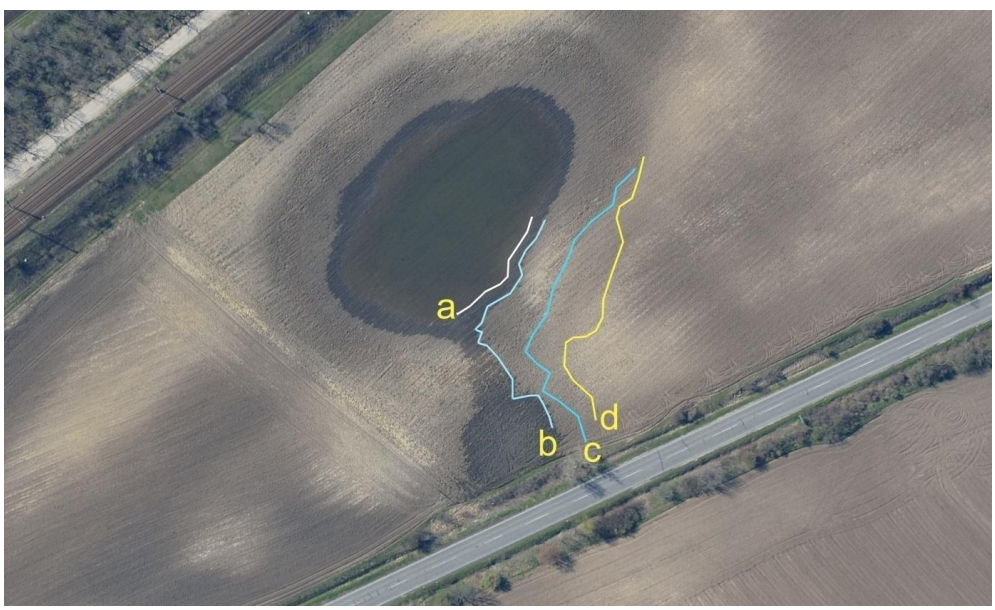
25. ábra Dunai vízbázis részlete a folyamon átívelő magasfeszültségű vezetékkel, csápos kutakkal és betonnal burkolt felületekkel, a vízbe merülő betonúttal. A növényzet jól vizsgálható, még a lágyszárú vegetáció foltjai is elemezhetőek. A vízben látszanak a szerves anyag felhalmozódási zónák, a part hulladékkal történő szennyezettsége is kimutatható.

26. ábra A nádas állapotának, a hínár és az alga kiterjedésének meghatározását, valamint a stégek és a parti beépítések ellenőrzését segíti a légi felmérés a Balatonon.

4. Légi felérések a katasztrófavédelemben, az árvíz- és belvíztérképezésben

4.1 A belvíz elleni védekezés térképei

A hagyományos módon, helyszíni bejárással készülő belvíztérkép – azon túl, hogy az elkészítése rendkívül időigényes – számos hibalehetőséget is rejt magában. Ezek fő okai az egyes területrészek megközelítésének nehézségei, a rálátás korlátozott volta, valamint a térképező személyétől nagyban függő pontosság és részletesség. A belvízi elöntések távérzékeléssel – esetünkben légi felvételezéssel – történő rögzítése az említett hibalehetőségeket kiküszöböli. Nagy területre (belvízrendszerekre, térségekre) kiterjedő, pontos és részletes belvízelöntési térképek kellő hatékonysággal történő előállítására csak távérzékelési módszerek javasolhatóak (Licskó, Ditzendy 2003). A kiértékelés során ebben az esetben is fennáll a légifelvételeket elemző személy tévedése a szubjektív döntései során. Különösen az átnedvesedett talajállapot lehatárolása lehet bizonytalan, ezért nagyon fontos, hogy jó minőségű, nagyrészletességű felvételeket használjunk (27. ábra). A távérzékelt felvételek archiválhatóak, ezért a kiértékelés eredménye bármikor utólag is ellenőrizhető.



27. ábra Mezőgazdasági parcella részlete belvízfolttal és talajerózióval. Könnyen feltérképezhető a nyílt vízfelület (a), a teljesen átnedvesedett, vizenyős talaj (b), a felszín alatt nedves, a gyökérzónában vízzel telített talaj (c) és a száraz területek határa (d).

A vízrendezési feladatok megalapozásához a "mértékadó" belvízi helyzetet ábrázoló légifelvételek alapján készített digitális formátumú belvízelöntési térképek a legmegfelelőbbek. A légifelvételeket ezért az egyes tájegységeken mértékadónak tekinthető belvízhelyzet kialakulásakor célszerű elkészíteni.

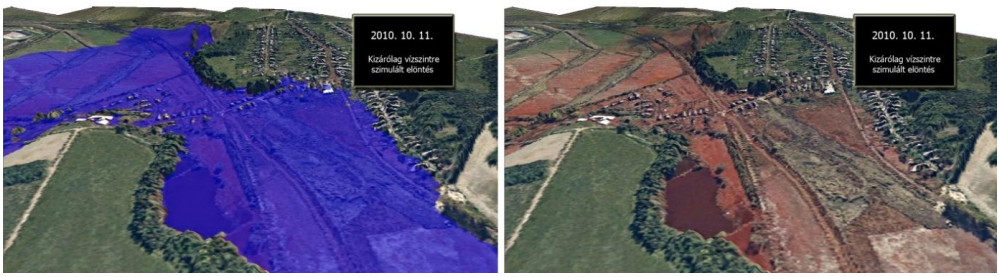
28. ábra Légifelvétel-térkép, a légifelvétel-térképre rajzolt tematikus térkép, és a tematikus belvíztérkép a légifelvétel-térkép nélkül.

A belvíztérképek elkészítésének fázisai:

- Légi fényképezés
- A digitális légifelvételek fotogrammetriai feldolgozása (A légifotók geometriai helyreállítása és térképi vetületbe illesztése)
- A légifelvétel-térkép kiértékelése (tematikus térképeket rajzolunk a légifelvétel-térkép alapján, amely kizárólag a számunkra fontos terepi foltokat tartalmazza)
- A térinformatikai alapú digitális belvízelöntési térkép a légifelvétel-térképet és a tematikus térképeket, valamint a helyszínen gyűjtött információkat adatbázis formájában tároló és bemutató rendszer.

4.2 Katasztrófavédelem és térinformatika

A légi felmérés az árvízi védekezésben is fontos segítséget jelent, hiszen a meggyengült gátszakaszok, az elöntéssel fenyegetett területek gyorsan feltérképezhetőek. A katasztrófahelyzet szükségessé teszi az érintett terület alapos megismerését, a kockázati zónák feltérképezését. Gátszakadás esetén a döntéshozóknak tudniuk kell, hogy melyik területek elárasztható más értékesebb védendő területek megmentése érdekében. Ezért a települések, természeti és gazdasági értékek védelme érdekében kockázati térképeket készítenek. A katasztrófavédelem számára a térinformatikai adatbázisok használata nagyon előnyös, hiszen komplex módon lekérdezhetőek területi adatok, például a legközelebbi olyan mély fekvésű, külterület, ahol a legcsekélyebb a termőföld értéke, és egy vésztározó létrehozása nem veszélyeztet tájértékeket sem. Az előző példa a gyakorlatban úgy valósul meg, hogy a térinformatikai rendszer összeveti az adott területről rendelkezésre álló tematikus térképeket, így a kataszteri (ingatlan nyilvántartás), a vízrajzi, a talaj- és természetvédelmi térképeket, valamint a domborzatviszonyokat. Ezek a tematikus térképek egymásra helyezett rétegenként kiadják a kívánt szempontrendszernek megfelelő földfelszíni foltokat. Mivel a digitális térképek világában az információk térben összekapcsolhatóak, így nem csak a jelenlegi állapotra vonatkozó kérdéseinket tehetjük fel a szoftvernek, de bizonyos folyamatokat modellezni is lehet. Ma már egyszerű feladat egy gáton észlelt tönkremenetel esetén a várható átszakadás következményeinek térbeli modellezése. A prediktív modellek nem csak akkor segítik a munkánkat, ha a helyzet már kritikussá vált. Segítenek a területi tervezésnél, optimális döntést hozhatunk a lakóövezetek tervezésénél, útszakaszok, beruházások elhelyezésénél. A háromdimenziós domborzatmodell segítségével, és a vízhozam ismeretében pillanatok alatt meghatározható, hogy mely területeken, és milyen vízszinttel fog levonulni egy adott árhullám. Ezáltal a gyorslefolyású események egy részére is fel lehet készülni.



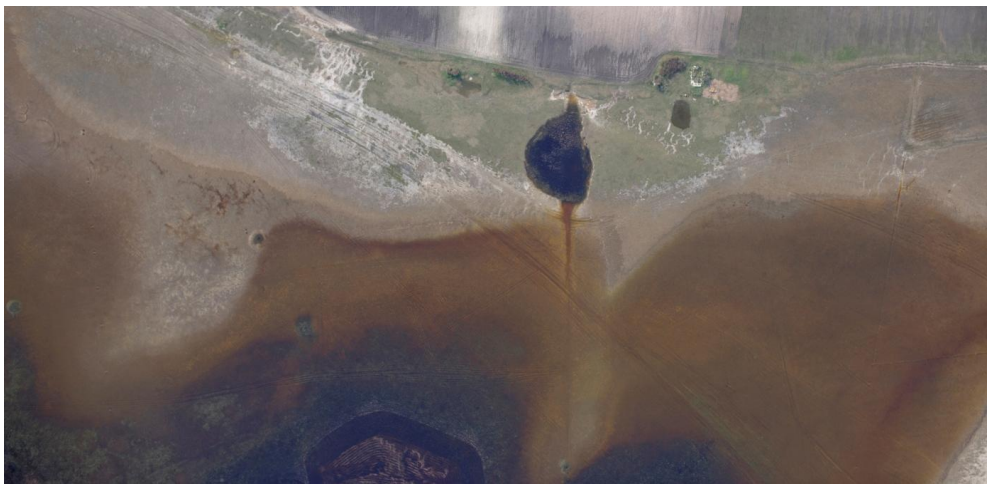
29. ábra A baloldalon látható, a vörösiszap katasztrófa bekövetkezése után készített modell elöntési területe egybeesik a katasztrófáról készített légi felmérésen látható valós elöntési területtel. Így a modell pontossága igazolható. A hasonló létesítmények által veszélyeztetett területeken el kell készíteni a bekövetkezési modelleket, amelyek alapján kárelhárítási terv készíthető, és nem szabad kiadni építési engedélyt a veszélyeztetett zónába.

Ennél sokkal bonyolultabb feladat például a klíma változásának előrejelzése, modellezése. Ehhez már ismernünk kell az elmúlt évtizedek meteorológiai adatait, felszínborítás változásait (a növényzet, a talaj és az épületek térbeli változását), és még számos, nehezen beszerezhető adatra is szükségünk van. A katasztrófák bekövetkezésére és azok elkerülésének lehetséges módjaira vonatkozó modellek mellett talán ez a legnépszerűbb modellezési irányzat napjainkban.

4.3 Vegyi szennyezések jeleinek detektálása

Az ortofotó-térkép jól alkalmazható hirtelenül bekövetkező szennyezések felmérésére is. A kárelhárításnál nagyon fontos a szennyezett területnek és környezetének gyors megismerése, feltérképezése. Ilyenkor a lehető legrövidebb idő alatt lehatároljuk a szennyezett területeket, a szennyező forrásokat és azonosítjuk a veszélyben lévő élőlényeket és javakat. Az esemény gyors dokumentálására szintén alkalmas a légi felmérés, hiszen azonnal rögzíthető az érintett terület állapota, a bekövetkezett károk mértéke. A vészhelyzet elhárítása után a változások szabályos időközönként történő összehasonlító légifényképezéssel nyomon követhetőek. Például a szennyeződés térhódítása, visszaszorulása, a szennyeződött terület felszínborítási állapot változásai, a növényzet megváltozása, az épített objektumok rongálódása is követhető. Jól látható szennyezőket, vagy látható nyomot hagyó szennyező anyagokat felderíteni nagy területen és gyorsan, repülőgépről lehetséges. Ilyenkor környezetidegen foltokat és jelenségeket keresünk. Ilyen lehet például

mezőgazdasági területen berothadt vízfolt, algás pocsolya (helytelen trágyázásból és állattartásból származó szennyezések), kiégett, degradálódott növényzet, kilúgozott talajfolt.



30. ábra Belvíz térképezési célból készített alföldi légifelvétel-térkép részlete szennyezésre utaló jelekkel.

A szennyezőanyagok folyókba, tavakba juttatása is észlelhető. A nagy vízhozamú, de rövidtávon elkeveredő szennyezések műholdfelvételeken például nem azonosíthatóak, csak nagyfelbontású légi felméréssel észlelhetőek (31. ábra).

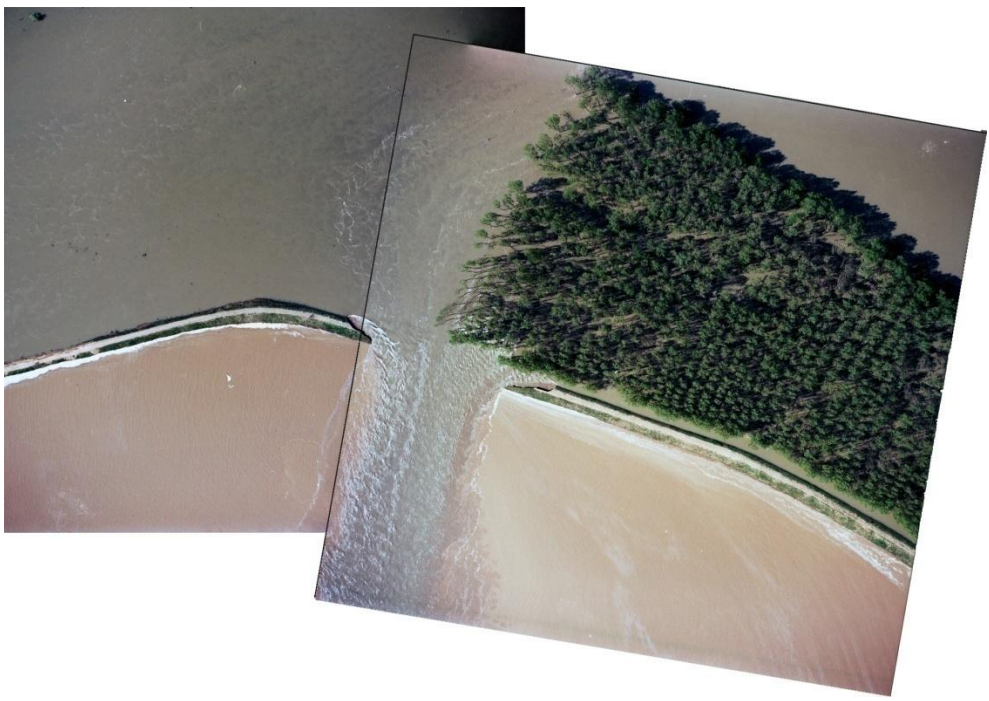
31. ábra Tó vegyi szennyezése ortofotó részletén, és folyóba történő illegális szennyvízbeeresztés. A nagy mennyiségű de rövid távon eloszló szennyezések csak nagyfelbontású felméréssel azonosíthatóak, az űrfelvételeken nem látszanak.

A szennyezések lokalizálásában bizonyos esetekben nagy segítséget jelent, ha a felvételezés nem csupán az emberi szem számára látható 400 – 700 nm hullámhosszúságú fénnyel képezi le a földfelszínt, hanem további elektromágneses hullámokat is rögzít (32. ábra). Az ilyen, háromnál több csatornát rögzítő képeket multispektrális felvételeknek nevezzük. Ezeknek a felvételeknek az első három csatornája legtöbbször a színes fényképek R,G,B csatornája, de emellett további színes, infravörös, ultraibolya csatornákkal is rendelkezhetnek.

32. ábra A mulrispektrális felvételek egyes csatornái az elektromágneses spektrum különböző tartományaira érzékenyek, ezért különböző szennyezőanyagokat jeleníthetnek meg a környezetüktől jól elválaszthatóan. A felvétel az első magyar gyártmányú digitális multispektrális kamerával készült. A 2010. októberében átszakadt falú vörösiszaptározót ábrázolja. (Bakó Gábor – Interspect Csoport)

4.4 Az árvízvédelmi beavatkozások megtervezése

A vízügyi műtárgyak és a folyamszakaszok, valamint az árvízi kiöntések térképezése Magyarországon 1927-óta légi felmérésből származó alapanyagok feldolgozásával történik.



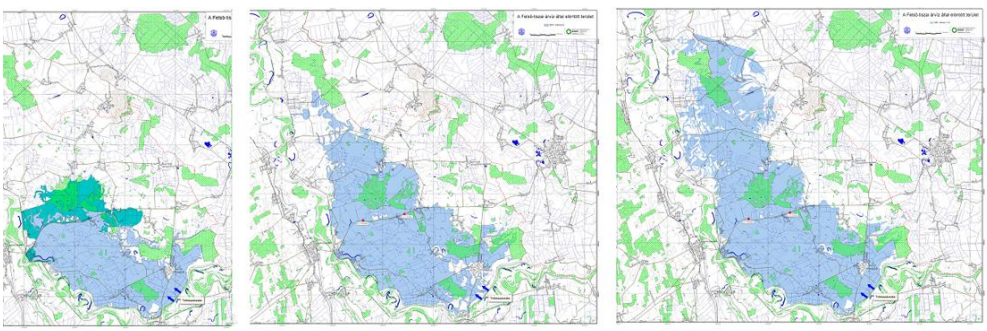
33. ábra Archív légifelvétel sorozat gátszakadásról (ARGOS Stúdió, fényképezte: Sziklai Gábor)

A korszerű elöntés-térképezés különböző távérzékelési módszerekkel valósítható meg, amelyek között a digitális, nagyfelbontású légifelvételezés (gyorsaságával és részletességével) egyre jelentősebb helyet foglal el.

Magas vízállás idején az árvízvédelmi létesítmények állapota és terhelése ellenőrizhető a levegőből. Nagyvíz idején készülő fényképekkel támogatható a védelemvezető mérnökök munkája, ami elősegíti a megalapozott döntéseket. Megtudhatjuk, hol kell átgondolni, áttervezni a védekezést, megerősíteni a védműveket. Csak légi felmérő eljárással biztosítható a nagyvíz idején történő folyamtérképezés gyors elvégzése, mivel közel azonos időpontban lehet feltérképezni a tetőző folyamszakaszt. Az így nyert képek jól kiegészítik a helyszíni vízhozam-méréseket, vízszint adatokat.

Kisvíz idején készült légi térképekről megállapítható a folyószabályozási művek állapota és hatásossága, ellenőrizhető a folyók tisztasága. A felvételek lehetővé teszik a hullámtéri vegetáció térképek elkészítését, hiszen jól lehatárolhatók az egyes növénytársulások. A rendszeresen elvégzett felmérés segíti a folyóak vízszintváltozásaival, a hullámtér ökológiájával és a víztisztasággal kapcsolatos összefüggések megértését, és a megfelelő hullámtéri gazdálkodás kidolgozását.

Amikor valamely tervezési, kivitelezési, vagy védekezési hiba, avagy a tervezési határértéket meghaladó vízállás következtében kialakul az elöntés (árvíz), esetleg a mély fekvésű területek felhasználása nem megfelelő, vagy a megelőzésre nem fordítottak elég figyelmet, ez esetben a légi felvételezés az elöntés határának detektálásával segíti a mentési és lokalizációs munkálatokat, információkat nyújt a következő árvizek elleni védekezés megtervezéséhez, valamint a kártérítési igények elbírálása, a jogi állapot rögzítése szempontjából is fontos.



34. ábra A kettős gátszakadás következtében elöntött területek térképezése légifelvételek kiértékelésével történt. A víz alá került területek folyamatos nyomon követése a mentesítési munkálatokhoz komoly segítséget jelentett. A területet különböző időpontokban bemutató elöntési térképek felhasználásával pontosíthatók (kalibrálhatók) a számítógépi elöntési modellek. (Fotó: Sziklai G., feldolgozás: Argos Stúdió)

5. Légifényképezés a környezetvédelemben és a természetvédelemi feladatok ellátásához

5.1 Repülőgépek a természetvédelem szolgálatában

A természetvédelem se nélkülözheti a légi felméréseket, különösen a gyorsan változó rendszerek esetében. Légi felméréssel időről-időre dokumentálható az ökológiai folyosók állapota, a növényzet összetétele, a természeti területek visszaszorulása, vagy sikeres megőrzése. A felszínborítás változása nyomon követhetővé válik.

35. ábra Motorcross okozta tájsebek védett területen

36. ábra A zöldmezős beruházások hatalmas tájátalakítással járnak. A degradált talajfelszíneken rendszerint nem az őshonos növényzet képes megtelepedni, hanem az agresszívan terjedő invazív növényfajok. A feladatok meggondolatlan ütemezése hozzájárul a klímaváltozáshoz, az elégtelen csapadékvíz gazdálkodáshoz és a talajpusztuláshoz.

Az ökológiai folyosók, az erdő természetesség (37. ábra) és a vegetáció részletes felmérése nagyfelbontású távérzékeléssel valósítható meg a leghatékonyabban. Kis méretarányú fotótérképeken a keskeny mezsgyék beolvadnak a környezetükbe, az összeköttetési rendszer a természetközeli állapotú foltok között nem deríthető fel. Kis felbontásban fényképezett területeken a vegetáció sem térképezhető fel pontosan, ezért terjedt el a nagyfelbontású légi felmérés alkalmazása.

37. ábra Ültetett erdő a téli időszakban, és erdőrezervátum késő tavasszal, nagyfelbontású ortofotó-térképek részletein

A természetvédelmi szemléletű felméréseknél fontos a vízgyűjtő területek geomorfológiájának ismerete, és a természetes területegységekben való gondolkodás. A jogi határok által elválasztott felmérési területek általában nehézkesen összehasonlítható információkat produkálnak, nem jól reprezentálják a természetes egységeket. Amennyiben vízgyűjtő területeken, természetes határokkal elkülönülő munkaterületekben gondolkodunk, optimálisabb környezetvédelmi stratégiákat és környezetgazdálkodási terveket építhetünk fel.

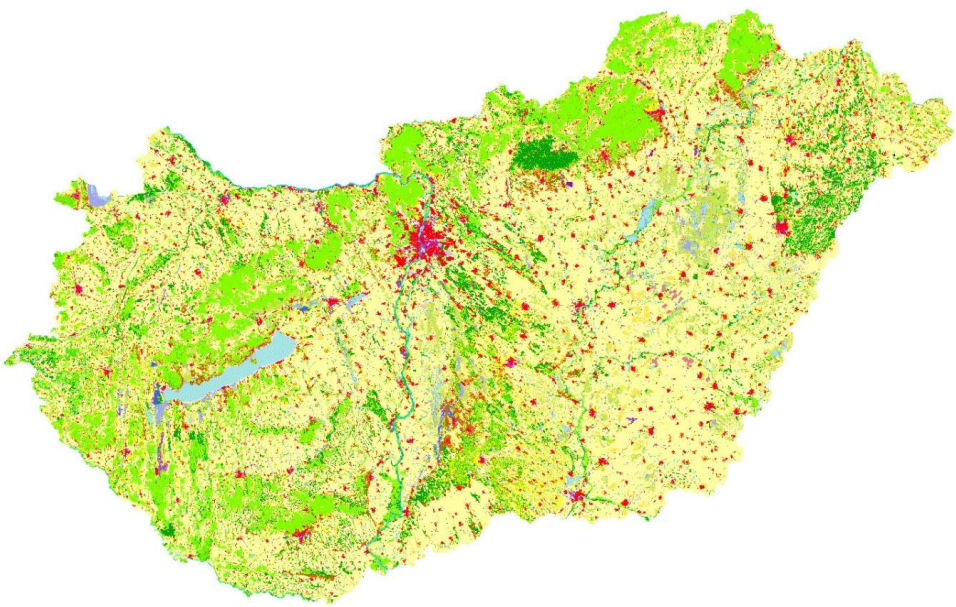
Szakszerű távérzékeléssel könnyebbé tehetjük az életünket, hiszen egészségesebb, élhetőbb környezet megóvását, kialakítását elősegítő döntéseket hozhatunk. Gyorsabban, jobban megérthetjük a természeti összefüggéseket, optimálisabb környezetgazdálkodást folytathatunk, és a gazdaságos területhasználat segít megőrizni táj-értékeinket az utókor számára.

A természeti értékeink megóvására hivatott természetvédelem mellett az emberi élettér fenntartható, egészséges megőrzését célzó környezetvédelem is használja ezeket a térbeli adatokat. A környezetvédelemben felmerülő információk helyhez köthetőek, ezért érdemes és szükségszerű a környezetvédelmi modelleket térinformatikai alapokon felépíteni.

Természetesen a múltra vonatkozó ismereteink megőrzése, a múltbeli állapotok vizsgálata, a környezetrekonstrukció nélkül kevésbé tudnánk értékelni a jelen állapotról keletkező adatokat. Digitalizáljuk a régi térképeket, légifelvételeket, harmonizáljuk a belőlük kinyert vektorgrafikus információkat. Begyűjtjük a helyneveket, amelyek a századok során változhattak, hogy a korabeli elnevezés alapján is lehessen területeket, településeket, keresni a térképrendszerben. Ezek a régi elnevezések számos esetben utalnak a terület egyes tulajdonságaira (például meredekségre, egykori erdőtípusra, történelmi eseményekre, vagy az egykor ott élő közösségekre). Az archív térképek, légi és űrfelvételek nagyon értékesek a számunkra.

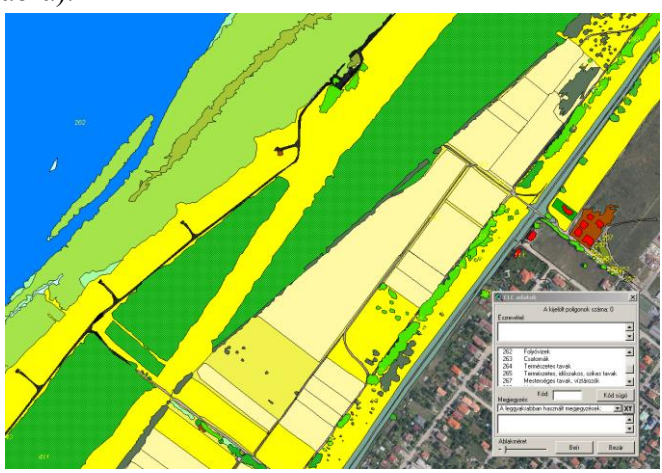
5.2 A felszínborítás változás, mint a táj változásának fontos mutatója (Légi felszínborítás vizsgálatokon alapuló környezetvédelmi és ökológiai monitoring rendszer)

A közgazdasági és birtokviszonyokat rögzítő területhasználati térképeken kívül egyre nagyobb jelentősége van a felszínborítási (a felszínt borító természetes és mesterséges elemeket, objektumokat, növényzetet rögzítő) adatbázisok elkészítésének. A zöldterületek arányát és minőségét, a vadon élő állatok élőhelyének állapotát és az élőhelyeket összekötő ökológiai folyosók meglétét, a káros folyamatokat ellensúlyozó természeti területek arányát és eloszlását rögzítenünk kell, különben egyes régiók természetvédelmi, ökológiai, vagy levegőtisztasági állapota veszélybe kerülhet anélkül, hogy számítanánk rá. A felszínborítási információk megszerzésének és naprakészen tartásának egyetlen hatékony módszere a távérzékelés (Licskó 1999). A naprakész felszínborítási adatbázis felállítása egész Európában fontos követelmény (38. ábra) (Büttner 2004).



38. ábra Magyarország az európai szintű CORINE felszínborítási adatbázisban

Egy országos léptékű felszínborítás állapot rögzítése optimálisan megoldható egy időben történő színes infravörös és valósszínes felvételezéssel, legalább 30 cm terepi felbontásban. Ezért a valósszínes / közeli infravörös ortofotó-térképek a legalapvetőbb elemei a rendszeres tájelemző és monitoring légifényképezésnek. Az ilyen multispektrális felvételek elemzésével következtethetünk a növényzet, a talaj állapotára, a különböző felszínborítású területek nagyságára, tájban való eloszlására, a biodiverzitásra, a területhasználatra, a talaj felületi rétegének víztartalmára, az invazív növények jelenlétére és területfoglalására, a tápanyag-ellátottságra. Azonosíthatóak az illegális szemétlerakók, az átnedvesedett, belvizes talajfoltok, a túlterjeszkedő beépítések, és a fakitermelés, az engedélyezett méretet meghaladó, terjeszkedő bányatavak. Lehatárolhatóak az azonos korú erdőrészek, a mezőgazdasági szántó, legelő területek, fasorok, facsoportok, ültetvények, füves területek, rétek, bebokrosodó, környezetszennyező növények miatt rendezést igénylő részek, vízfelületek, lakott helyek, települések, kopárok, építési területek, a friss tereprendezés, folyómedrek, holtágak, tavak, műtárgyak és számos egyéb felszínborítási kategória. Az egyes felszínborítási kategóriák különböző színekkel jelennek meg a digitális tematikus térképen, az egyes felszínborítási foltok háttéradatai (atribútumai) pedig gyors statisztikai ellenőrzést tesznek lehetővé (39. ábra).



39. ábra A 10 cm vagy nagyobb részletességű légifelvételek kiértékelésével készült felszínborítási környezetinformatikai adatbázis már a település léptékű természetvédelmi (ökológiai) és katasztrófavédelmi modellezést is elősegíti.

Az ily módon készült állományok évről évre, de legalábbis meghatározott időközönként összevethetőek, így a változások kiütköznek. Az állapotrögzítési célú légi felmérésekkel viszonylag kis költség-ráfordítással olyan területi adatbázis, archívum hozható létre, amelyről a

gyakorlatban bebizonyosodott, hogy ésszerűvé, hatásossá teszi a természetvédelmi és területrendezési beavatkozások tervezését és végrehajtását. Segít a folyamatok megértésében, céltudatosan befolyásolhatók a környezetünkben lezajló változások, nyomon követhetőek a beavatkozások következményei. Az ilyen komplex adatbázis jelzi a spontán erdőtűzzel veszélyeztetett területeket a száraz időszakokban, felkészít bennünket az árvízi elöntés várható következményeire, jelzi, hogy egy esetleges beruházás milyen növényi és állatpopulációt veszélyeztet, hol alkalmas a talaj arra, hogy felette a talajvizet kevésbé veszélyeztető hulladéklerakót létesítsünk, vagy éppen hol érdemes víztározót kiépíteni. Rámutat egyes tervezési hibákra, mint például arra, hogy mely útszakasz vagy pincerendszer megépítése változtatta meg a talajvíz áramlási viszonyait, aminek következtében belvíz alakult ki. A felszínborítási adatok idősoros vizsgálatának természetvédelmi jelentősége óriási. Gyorsan kimutathatóak olyan változások, amelyek sokszor csak évtizedek múltán, az utolsó pillanatban tűnnek fel. Ilyen lehet például, amikor egy növénytársulás kiterjedése évről évre csak kismértékben csökken, de a tendencia pár évtized alatt megfordíthatatlanná válik. A tematikus térképek segítségével következtethetünk a változások okaira, időben beavatkozhatunk, megállíthatjuk a káros folyamatokat.

Az erdőtüzek okozta veszteségek, valamint a tőzegtüzek is gyorsan felmérhetőek légi térképészeti módszerekkel (40. ábra).

40. ábra A Kapos völgyében készült színhelyes és színes infravörös filmre rögzített légifelvétel, valamint a színes felvétel keretezett területének hőképe. A színes infravörös légifelvétel-térképen könnyebben elkülöníthető az élő és élettelen növényzet, mint a színes felvételen. A hőtérképen kijelölhető a lappangó égő tőzeges terület homlokfrontja (piros színnel kiemelve). A felmérés 1:2000 méretarányban rögzítette a terület állapotát, segítségével jelölték ki a területet, amit a tűzoltóknak oltani kellett. (Felvételek és feldolgozás: Licskó B. Argos Stúdió)

5.3 Az ökoszisztéma szolgáltatások beárazását segítő légi felmérések

A nagyrészletességű légi felmérés során olyan adatokat gyűjtünk a földfelszínről, amelyek a repülés időpontjában jellemzik azt. A növényzetet, az élővilágot és az ökoszisztémát veszélyeztető tényezőket vizsgáljuk. A módszer segítségével a korábbi lehetőségekhez képest gyorsabban és pontosabban mérhetőek fel egy terület ökoszisztéma szolgáltatásai: becsülhető a növényzet gázcsere forgalma, a levegőminőség felszínváltozások hatásaira bekövetkező alakulása. Előre jelezhető, hogy egy tartós árvízi elöntés, vagy szennyezés milyen károkat okozhat, a biológiai produkció mely régióit csökkenti. Nehéz volna felsorolni, hányféle az ökószisztémának köszönhető szolgáltatás fenntarthatósága, megőrzése válik tervezhetőbbé. Mindez megalapozza a tájalapú környezetvédelmet.

Egy terület természetvédelmi értékéről korábban nagyon nehéz volt beszélni. Fontos kérdéseket kell megválaszolni a táj és természeti értékek összetett besorolásához: mit veszítünk, ha egy adott térszínt beépítünk, vagy hulladéktárolót hozunk létre rajta. Mért azt a területet válasszuk, és ne egy másikat. Ezeket a döntéseket ma már objektív, mérésekkel alátámasztott információk egybevetésével lehet meghozni.

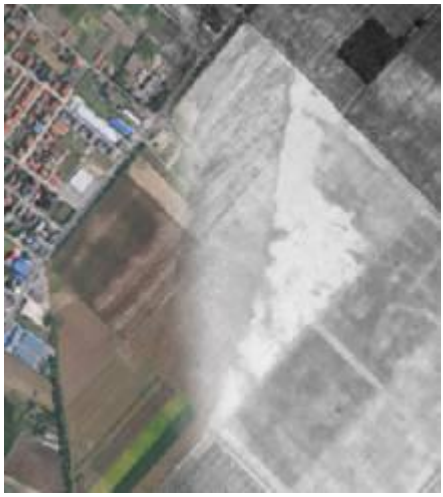
A földfelszín térbeli vizsgálata, a különböző terepen gyűjtött és nagyrészletességgel levegőből felmért adatokból képzett adatbázisban azonos elvek mentén hasonlíthatjuk össze az egyes területek növényzetének állapotát, az őshonos és védett fajok jelenlétét, a terület szennyezettségét, talajminőségét, vízellátottságát, stb. A különbségek alapján a korábbinál tárgyilagosabban és egyértelműbben hasonlíthatunk össze különböző térszíneket, vagy vethetjük össze egy adott terület állapotát egy korábbi felméréskori jellemzőivel. Így a negatív hatások idejekorán kiderülnek, a degradáló folyamatok időben visszaszoríthatóak.

A láthatatlan szennyezések láthatóvá tétele annak köszönhető, hogy a kamerák egy képpé fényképezik a különböző színes, infravörös és uv felvételeket, ami aztán egy rendszerként elemezhető. A legkisebb szennyezések, legrészletesebb növénytársulások felmérését a nagy felbontás biztosítja. Az illegális szennyvíz folyókba engedése például nem látszik 5-12 cm-nél rosszabb pixelméretű felvételeken. A gyepek ökológiai vizsgálatához 3 – 7 cm terepi felbontás szükséges.

6. A légi felméréssel támogatott talajtérképezés

A földértékeléshez be kell azonosítani a talajtípusokat, minőségi rangsort kell felállítani, le kell határolni a közel egységes minőségű területeket. Magyarország talajtani térképezése 1937-ben kezdődött meg. A több évtizedes kutatómunkát terepi felmérésekkel és laboratóriumi vizsgálatokkal végezték. Az így előállított Kreybig térképek digitalizálása, vektorizálása, pontszerű adatainak adatbázisba integrálása a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetének munkatársai által megtörtént az ezredforduló után. A talajfoltok határát és a talajparaméterek megbízhatóságát, a térképek pontosságának és megbízhatóságának növelését újabb helyszíni mérésekkel (terepi reambuláció), és az országos ortofotó-térképek felhasználásával végezték. Így jelenleg a DKTIR a legrészletesebb térképi alapú adatrendszer, amely országos lefedettséget biztosít. Bár hazánk teljes területéről hozzáférhetőek a talajtani térképek, és az országos adatbázis nagyszerű lehetőséget teremt a tájegységek, térségek szintjén meghozott döntésekben, méretaránya és részletessége nem minden esetben elégíti ki a területi gazdálkodási szempontokat és az egzakt földértékelést. Így bizonyos esetekben a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpontja, valamint más szervezetek igénybevételével érdemes részletes felmérést végezni. A talajfelszín ásványtani, és szervesanyag tartalommal összefüggő minőségi és mennyiségi jellemzői teszik lehetővé, hogy a kora tavaszi vegetációmentes időszakban légi felméréssel megfelelő pontossággal lehatárolhassuk a különböző talajtípusok foltjait légi felmérés segítségével, ezzel elősegítve a talajtérképezés térbeli részletesség növelését. A terepi és laboratóriumi mérések azonban továbbra is szükségesek, sőt nélkülözhetetlenek maradnak, hiszen a talaj vertikális tagolásának megismerését, és a pontos minőségi és mennyiségi információkat a már klasszikusnak mondható eljárások szolgáltatják. A fizikai, kémiai és talajbiológiai vizsgálatok pontszerű, lokális mintavételezésen alapulnak, a légifelvételek pedig segítenek a mérési eredményeket térben kiterjeszteni. A felvételekről becsülhető a talajtípus átmenetek határterülete, a szerves és szervetlen anyagok koncentrációjának az egyes terepi mintavételi pontok közötti megoszlása, az adott talajfolt határa, lefutása.

A talaj távérzékelési módszerekkel történő vizsgálatakor a felszínről, és a felszín közeli rétegről rögzítünk információkat, amelyek alapján a talaj típusára, állapotára és a benne lejátszódó folyamatokra következtetünk. Ahhoz, hogy a talaj felső rétegét a felvételeken láthassuk, borításmentes időszakban kell kivitelezni a felmérést. A mezőgazdasági területek esetében erre leginkább a kora tavaszi időszak alkalmas, amikor a parcellák talajfelszínét láthatjuk.



41. ábra A nyílt talajfelszínen jól lokalizálhatóak a humuszos felső rétegüket elvesztett talajfoltok (Forrás: Interspect)

Az ilyenkor legkönnyebben lokalizálható jelenség az erózió. Az erodált talajfoltok és a róluk elhordott, a lejtő alján jelentkező lejtőhordalék a légifelvételek alapján jól térképezhetőek (41. ábra). A szántóföldi eróziós foltok, az időszakos vízfolyások által alakított felszínek színes felvételen általában világosak, míg a közepesen erodált erdőtalajok esetében a felszínre kerülő vas és alumínium oxidok vöröses árnyalata árulkodó. Ilyenkor a felszíni réteg kevés agyagot tartalmaz. A defláció (szélerózió) felmérésében épp úgy segítségünkre lehet a fent említet eljárás. A szél a talaj fedettségétől, kötöttségétől, nedvességétől és a humusztartalmától függően okoz deflációs károkat. ezek a légi felvételeken általában a környezetüknél világosabb foltokként jelentkeznek. A több időpontban készített felvételeken a defláció folyamata, kiterjedésének változása is nyomon követhető. Az elhordott talajfoltok színes, míg a homokveréssel károsított növények detektálása színes és színes infravörös felvétel kompozitokon lehetséges.

42. ábra Talajeróziós foltok zsenge növényzettel borított és kopár talajfelszín esetében (baloldali ábra). A felvételek digitális osztályozásával

a különböző mértékben erodált talajfoltok gyorsan leválogathatóak, térképezhetőek.

A talaj nedvességtartalmának becslésére, ezáltal vízgazdálkodásának ellenőrzésére a spektrum 800 – 1100 nm-es tartománya, a termális infravörös (2000-5600 nm; 8000-1200 nm) és a mikrohullám (1-30 cm) hullámhossztartományai jól alkalmazhatóak. A közeli infravörössel kombinált színes légifelvételekkel a felszíni talajnedvesség viszonyok jól vizsgálhatóak, mivel a közeli infravörös tartományban a felszíni talajréteg nedvességtartalmának növekedésével visszaverő (reflektáló) képessége arányosan csökken, így minél nagyobb a felszíni talajréteg nedvességtartalma, annál kevésbé veri vissza a Napból származó közeli infravörös sugarakat. A talaj felső pár centiméterének nedvességtartalma, porozitása, szerves anyag tartalma, szerkezete erősen befolyásolja a talajfelszín hőcseréjét. Így a felső 1-2 cm-es réteg nedvességére következtetünk a termális távérzékeléssel (hőtérképezéssel) nyert állomány elemzésével is. A mikrohullámú kisugárzásból a talaj felső 20 cm-ének víztartalmára, szemcseösszetételére következtethetünk.

Bizonyos degradáló talajfolyamatok térbeli rögzítésében segít, amennyiben vegetációs időszakban is fényképezzük a felszínt. A növényzet állapota általában az adott fajok gyökérszintjében megtalálható anyagokra, a felszín közelében lejátszódó folyamatokra utal. A kevésbé üde, fejletlen foltok az egységes növénytakaróban lokalizálják az erodált, szerves anyagokat vesztett talajfoltokat, de utalhatnak vegyi szennyezésre, vagy kártevők jelenlétére is. Ezeket a foltokat a terepen könnyen ellenőrizhetjük, a szerves anyag pótlásával (trágyázás), a növénybetegségek elleni védekezéssel (permetezés, vagy a fertőzött folt megsemmisítése) meggátolhatjuk, hogy a probléma a jövőben is terméskiesést okozzon.

A mezőgazdasági táblában látható nedves területek, a pangóvizes belvizes foltok vizsgálata felfedi a talajszerkezet bizonyos hibáit, elégtelen vízelvezető képességre utal.

6.1 A talajjavító munkálatok tervezése és ellenőrzése

A beavatkozások során a távérzékelési adatok mind tervezési alaptérkép készítéséhez, mind a terepi munkához, mind pedig a talajvédelmi munkálatok ellenőrzésében nagyon jól alkalmazhatók. A munkálatok tervezéséhez, a beavatkozási mód megválasztásához célszerű 1:2000 méretarányú, 20 cm terepi felbontású légifelvételeket alkalmazni. Érdemes rögzíteni a talajjavító munkálatok előtti talajállapotot és a rákövetkező évben vizsgálni a beavatkozás hatékonyságát. A beavatkozás után 3-4 évvel a növényzet állapotán is ellenőrizhető a művelet hatása. A dréncsövek helye és egymáshoz viszonyított távolsága a fektetés után évekig nagyon jól meghatározható a légifelvételről.

7. Távérzékelés alkalmazása a mezőgazdaságban

A vetésterület térképezése a bizonyos termőtalaj foltokat érintő degradáció megállításának, a gazdaságos és környezetkímélő, hosszú távú termőhelyi gazdálkodás beállításának első lépése. Az ökológiai adottságok kihasználása gazdasági előnyökhöz juttatja a gazdálkodót, hiszen a pontosabb termésbecslés, a részarányos vegyszerkiszórás, a GPS vezérlésű talajművelés rengeteg felesleges, esetenként káros, nem utolsósorban költséges beavatkozástól kíméli meg. A talajjavító munkákat csak a degradált talajfoltokon kell elvégezni, a vegyszert csak a fertőzött területre és környékére kell kijuttatni.

Éppen ezért a talajtani adatbázisok szervesen beépülnek a földhasználati és vidékfejlesztési programokba, agrár-környezetvédelmi tervekbe, a környezeti modellezésbe, a környezeti erőforrás felmérésbe, a kockázatbecslésbe, a kárfelmérésbe és a klímakutatási modellekbe is.

A talajtani adatbázisok térbeli pontosságának növelése és a fenntartható tájgazdálkodás megtervezése mellett légi felméréssel ellenőrizhető a földhasználat is. Évente dokumentálható, hogy milyen növényeket termesztenek az adott földterületeken és az összhangban van-e a felvett

támogatás mértékével. Ezt hivatott ellenőrizni a parcellaazonosító rendszer, amely az Európai Unió tagállamainak bevált módszere a mezőgazdasági adatok nyilvántartására és a mezőgazdasági támogatás jogosságának ellenőrzésére. Így ellenőrzik hazánkban is, hogy az adott parcella mérete és a művelési ág megegyezik-e a kiutalt támogatás igénylésekor figyelembevett adatokkal.

Európában a parlagon hagyott földek komoly közegészségügyi problémát jelentenek, mivel az ezeket a földterületeket könnyedén és gyorsan birtokba vevő invazív növényfajok nagyon sok esetben allergének is egyben. Ezért a parlagon hagyott parcellákat is ellenőrizni kell, azok növényi fertőzöttségét meg kell akadályozni. A földterületek feltérképezése lehetővé teszi az adottságok (ökopotenciál) kihasználtságának felmérését, a belvíz veszélyeztetettség megállapítását, a gyomosság feltérképezését, a termesztett növények egészségi állapotának felmérését, fenológiai fázisok részletes kimutatását, terméshozam előrejelzést, vízellátottság javításának megtervezését, az öntözések hatásainak ellenőrzését.

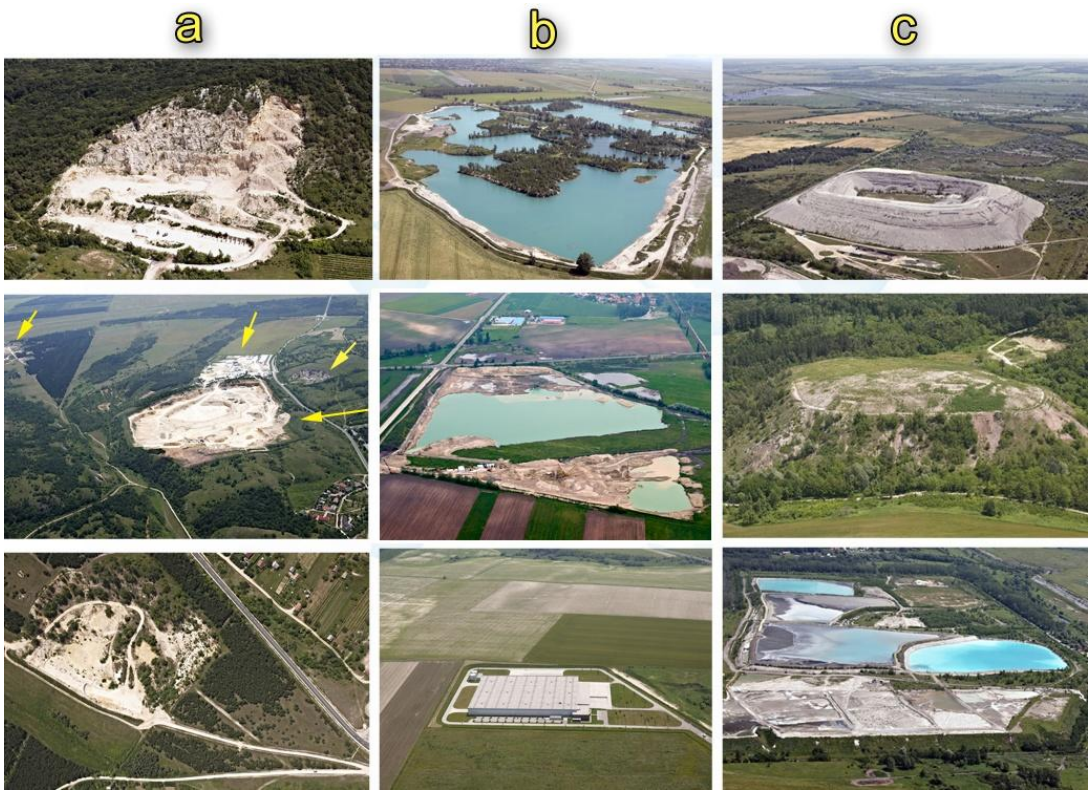
A növényi kártevők, növénybetegségek korai kimutatásával, a fertőzött foltok lehatárolásával a kijuttatott permetezőszerek mennyisége mérsékelhető. Ez költséghatékony megoldás, hiszen a növényvédőszerek drágák, ugyanakkor kevesebb mérgező anyag jut a környezetbe. Az agrotechnikai műveletek minőségének ellenőrzése, hiányosságának kimutatása segíti a hatékonyabb termőhelyi gazdálkodást. Az elemi károk okozta veszteségek felmérése, szennyezések, talajerózió lehatárolása a következő gazdálkodási év termelési feladatainak ésszerű, átgondolt megtervezését segíti elő. Talán a legfontosabb lehetőség a növény védőszerek, tápanyagok és talajjavító anyagok precízen megtervezett kijuttatásában rejlik, a felesleg megtakarítása, a talaj terhelésének csökkentése miatt.

8. Bányák, bányatavak terjeszkedésének ellenőrzése

A külszíni fejtés és a bányatavak engedélyeztetése, pontos ellenőrzése szinte elképzelhetetlen távérzékelés nélkül. Az aktuális állapot összehasonlítása az engedély mellékletekben szereplő térképpel légifotó-térképek alapján gyorsan és könnyen elvégezhető. A bányatavak engedélyezett mértéken belüli növelésének ellenőrzése így időről - időre megoldható.

Nem csak a terjeszkedés ellenőrzését segíthetjük légi felméréssel (43. ábra), de a tószabályozás, tógazdálkodás tervtérképeit is előállíthatjuk. A kora tavaszi felvételezés során, amikor még nem szaporodtak el az algák, mélyebbre belátunk a felszín alá. Kisebb vízmélység esetén a fenék domborzata, az iszap is megfigyelhető. Későbbi hónapokban az eutrofizáció mértéke is becsülhetővé válik. A növényi élet vizsgálatát nyár végén célszerű elvégezni. A vízi és szárazföldi növényfajták megkülönböztetése, vegetáció folt típusok lehatárolása 800 méteres repülési magasság alatt válik lehetővé. A domborzati, áramlási jelenségek nagy léptékben magasabbról is szembetűnőek, de amennyiben lehetőség nyílik az alacsony, részletes és pontos légi térképezésre, érdemes ezt választanunk.

43. ábra Kavicsbánya fokozatos terjeszkedése a zöldel jelölt vízmű védterületének irányába. 1993. április 25. színes infravörös légifelvétel, 1995. június 29. fekete-fehér légifelvétel, 1997. június 28. színes légifelvétel; 2000. augusztus 12. színes légifelvétel (Az ARGOS Stúdió által készített 1:10 000 méretarányú felvételek a Győrújfalu településen található bányatavat ábrázolják). (Síkhegyi et al. 2001)



44. ábra A természeti értékek kiaknázásának és a természetes felszínek átalakításának felügyelete fontos és felelősségteljes feladat. A külszíni fejtések (a), a bányatavak és beépítések (b), valamint a depóniák, meddők és szikkasztók (c) hatalmas felületeken változtatják meg a mikroklímát, csökkentik az ökoszisztéma szolgáltatások mértékét és gyorsütemben csökkentik a térség tájképi értékeit.

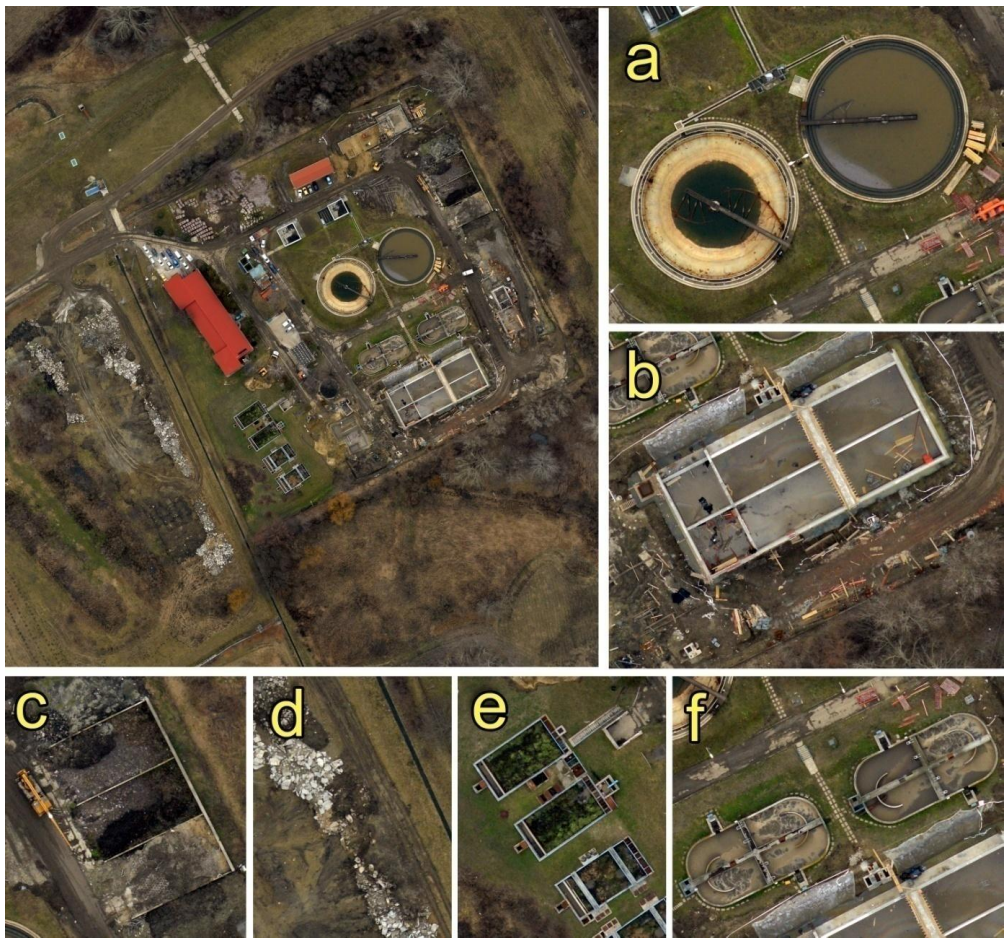
9. Szennyvíztisztító monitoring

Magyarországon az 1970-es évek óta vizsgálják a szennyvíztisztító telepek működését légifelvételekről. A szennyvíztisztítók megfelelő üzemeltetésének jelei és hibái szembetűnőek, így ezek a telepek is jól ellenőrizhetőek légifelvételek elemzésével. Megfigyelhetőek az aktuálisan működő és a nem üzemelő berendezések és a tisztítás hatásfoka is érzékelhető az elő és utóülepítők színkülönbségén. A telepen belüli nedves foltok a csapadékelvezetés hibáira, üzemi törésekre, szennyeződésekre, esetleges átfolyásokra utalnak.

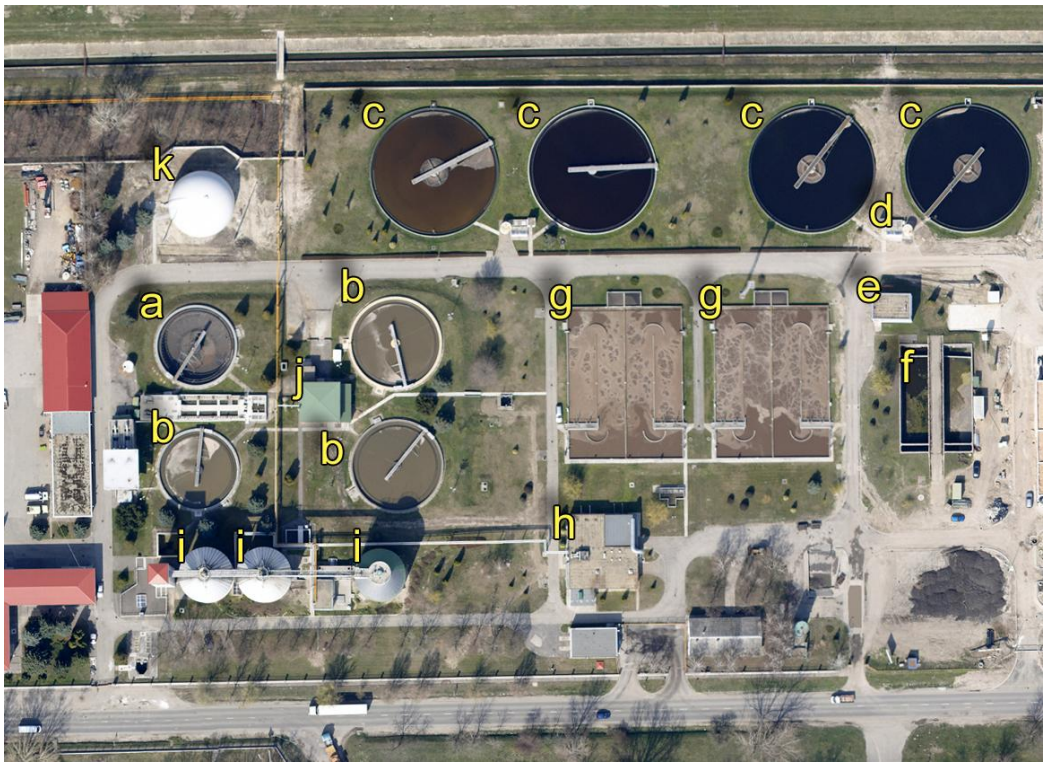
Jól működő szennyvíztisztító érkező és távozó vizei színben nagyon eltérnek (46. ábra). Túlterhelt telepnél alig érzékelhető különbség,

amennyiben a tisztítás hatásfoka elégtelen, úgy ez az elfolyó víz színén, tónusán a levegőből jól látható.

Nagyon jól vizsgálhatóak az **e**lkeveredési, áramlási jelenségek, így a tisztított szennyvíz elkeveredése is.



45. ábra Szennyvíztisztító telep kiszáradó és telített Dorr ülepítővel (a), építés alatt álló derítőmedencével (b), hulladék és szennyvíziszap elhelyezésre kialakított terekkel (c), kopár talajfelszínen elhelyezett nagymennyiségű bontásból származó hulladékkal (d), vizi növényekkel benőtt fertőtlenítő medencékkel (e), bécsi típusú levegőztető medencékkel (f).

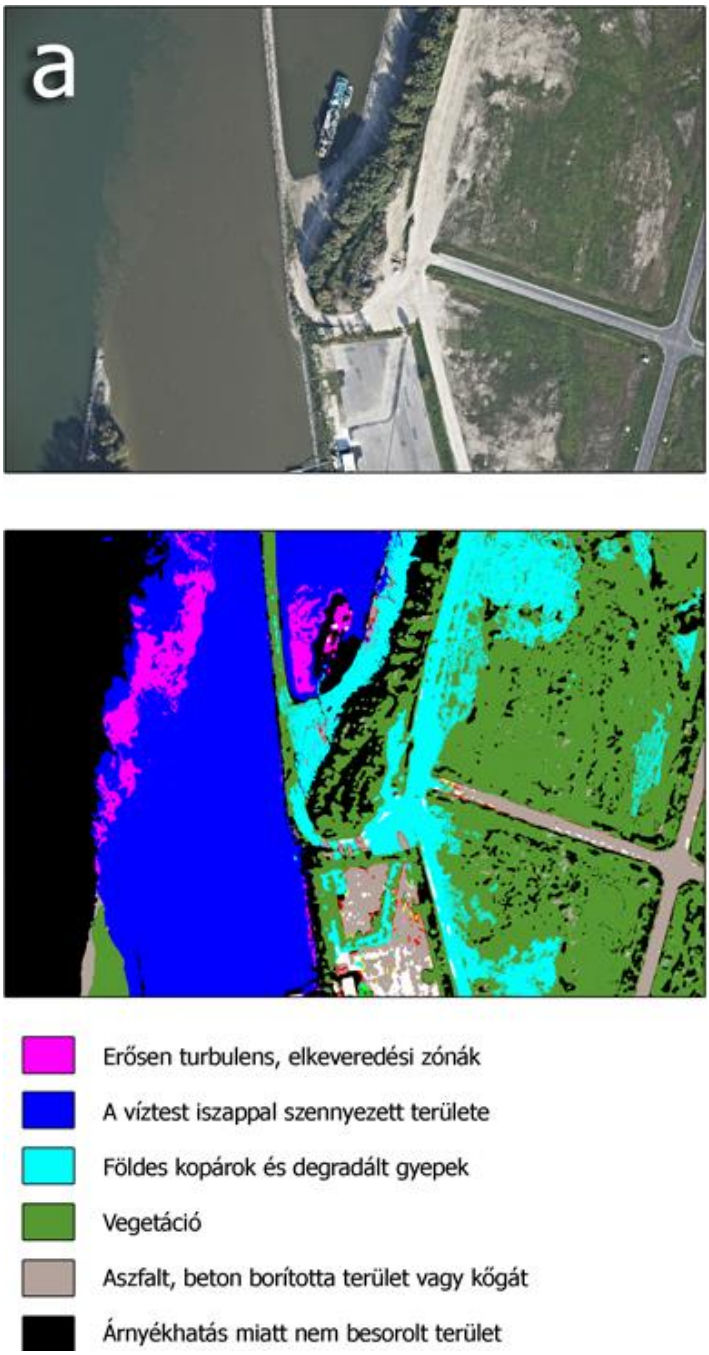


46. ábra Szennyvíztisztító telep Kecskemét 2010-es ortofotó-térképének részletén. Iszapsűrítő (a), előülepítők (b), utóülepítők (c), recirkulációs és fölösiszap átemelő (d), klórozó (e), fertőtlenítő (f), levegőztetők (g), fúvó- és gázmotor gépház (h), rothasztók (i), iszapsűrítő gépház (j), gáztartály (k).

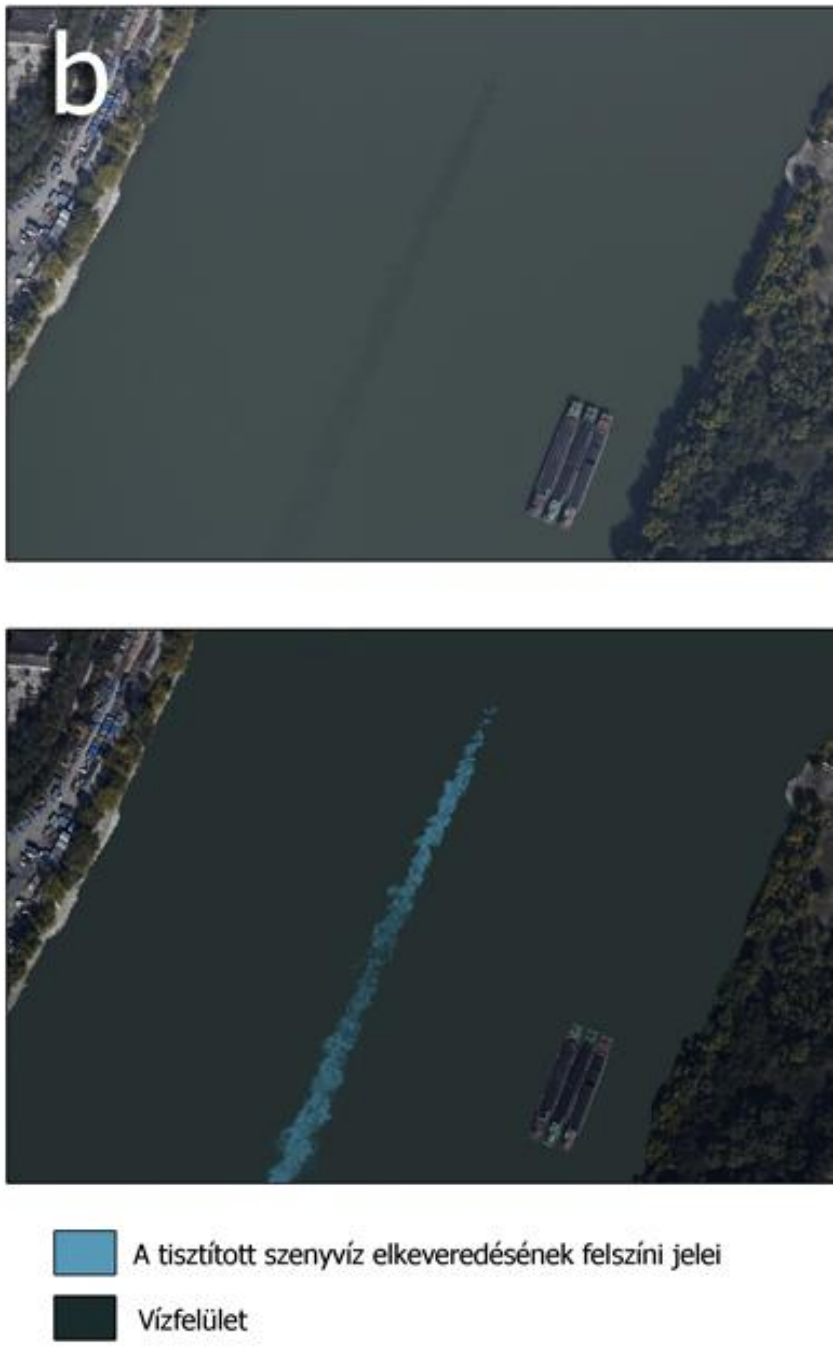
10. Áramlástani vizsgálatok

Áramlástani vizsgálatoknál általában olyan víz alatti műtárgyak, zátonyok, roncsok jelenlétére vagyunk kíváncsiak, amelyek turbulens áramlási zónákat eredményeznek a folyóink medrében. Ezeknek az akadályoknak a jelenlétére a víz áramlásából következtetünk. A víz áramlását általában a hordalék és a lebegő anyag teszi szemléletessé, de az áramlástani elemzéseknél alkalmazható a folyók és műtárgyak vizének környezetbarát anyaggal történő festése. A vízfestés során jól fényképezhető anyagot juttatnak az áramlatba. A felvételek kiértékelésekor a színes a megfestett folyadék eloszlását, viselkedését elemzik. Új zsilipek, és egyéb vízügyi műtárgyak átadásakor gyakran ezzel a módszerrel ellenőrzik az építmény működését. A vízügyi beruházások, mesterséges beavatkozások tervezésekor, a beavatkozás előtt is célszerű ortofotó-térképet készíteni. Így jól megfigyelhetőek az elkészült műtárgy környezetében végbemenő változások. Ellenőrizhetjük az építmény és környezetének kölcsönhatásait. Ha az új műtárgy közelében korábban nem tapasztalható homokpadok, lerakódások jelennek meg, az olyan mederváltozásokra utalhat, amelyek pár év alatt jelentősen ronthatják a folyószakasz hajózhatóságát. Amennyiben ilyen elváltozásukat tapasztalunk, kiegészítő beavatkozásokkal, vagy a műtárgyon eszközölt változtatással még idejében javíthatók a hidraulikai viszonyok.

A fenti módszerrel elkeveredési vizsgálatok is végezhetőek. Megvizsgálhatjuk, hogyan keveredik egy szennyezőanyaggal, vagy lebegő hordalékkal terhelt vízfolyás egy nagyobb víztestben (47/a ábra) vagy például azt is, hogy egy szennyvíztisztítóból kifolyó tisztított szennyvíz milyen intenzitással, mekkora távolságon keveredik el (47/b ábra).



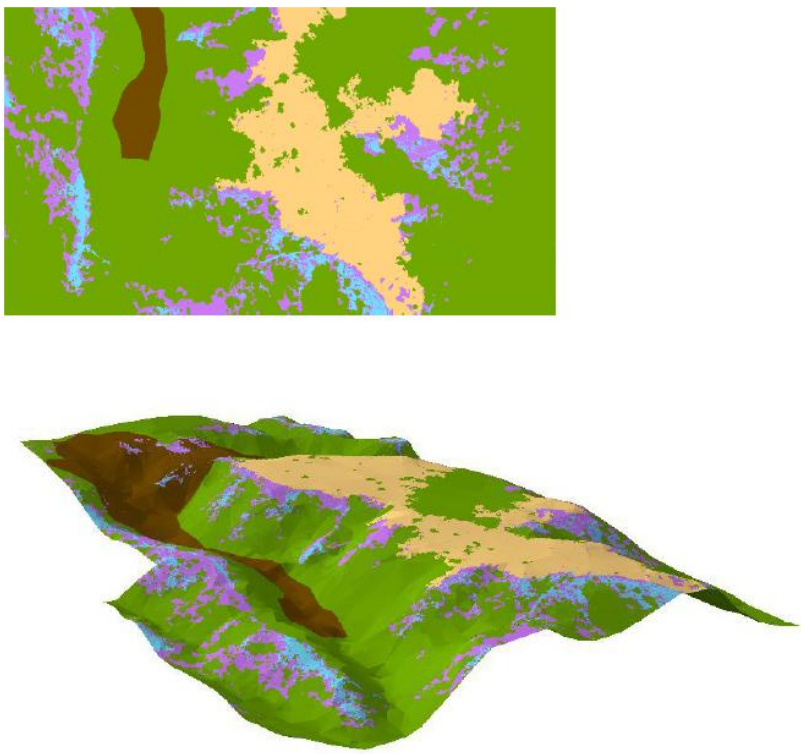
47.a ábra A felvétel azt mutatja, ahogyan 2010-ben a vörösiszap a Dunába érkezett és elkeveredett, ülepedett. A felvételek alatt számítógépes kiértékelés eredményei láthatóak. (Bakó - Kirisics 2011)



47. ábra Az ortofotó-térkép rélszlet a Duna sodorvonalában kivezetett tisztított szennyvíz levonulását mutatja. A felvételek alatt számítógépes kiértékelés eredményei láthatóak. (Bakó - Kirisics 2011)

11. Vegetáció térképezés

A növényzet térbeli ábrázolása nagyfelbontású, részletes légi térképezést igényel. A vegetáció feltérképezésekor egy olyan folttérképet készítünk, amelyen minden folt egy azonos fajokból álló növénycsoportot, de leggyakrabban egy-egy speciális faji összetétellel jellemezhető növénytársulást lokalizál (48. ábra).



48. ábra Vegetáció térkép részlete és háromdimenziós terepmodellen történő megjelenítése (Gulyás – Bakó 2011)

A növényzet térbeli rögzítésekor is el kell döntenünk, hogy milyen részletességgel vizsgáljuk az adott munkaterületet. Természetesen egy vegetációfolton belül is lehet több, meghatározott szempontok alapján elkülöníthető kisebb folt. A foltok tehát addig bonthatóak, amíg egy terepi folton belül mért két pont hasonlósága nagyobb, mint egy folton kívüli ponttal való hasonlósága.

A vegetációtérképezésnél minimiareálnak nevezzük azt a legkisebb területet, ahol a társulás jellemző fajkészlete még azonosítható. Amennyiben ennél kisebb területeket is vizsgálnánk, az nem javítaná,

hanem rontaná a felmérési eredményt. Nagyon fontos, hogy már a légi felmérés részletességének megválasztásakor figyelembe kell venni, hogy hol találkozik a technikai célszerűség a botanikai feladat megoldási lehetőségével. Ha a légifelvételek felbontása kicsi, nem biztos, hogy a számunkra fontos növénytársulás elkülönül a felvételeken a környezetétől, nem tudjuk felismerni, és még kevésbé tudjuk pontosan lehatárolni azt.

A fafajok felismerése nagyfelbontású légifelvételen már jól kivitelezhető. Vannak bizonyos faj specifikus morfológiai bélyegek (alaktani sajátosságok), például a lombkorona szerkezete, mérete (életkortól, talajminőségtől, tápanyag ellátottságtól, kompetíció mértékétől is függ), spektrális reflektancia tulajdonságai. A különböző évszakokban eltérő módszerek kínálkoznak a vegetációs foltok elkülönítésére és meghatározására. Például ősszel a különböző fajok levelei más mértékben kezdenek sárgulni, vannak fák, amelyek később vesztik el lombjukat, vannak, amelyek hosszabb ideig hullatják leveleiket, vagy esetleg más színre váltanak. Télen a fák kérgének színe, az ágszerkezet, az ágak alakja segít bennünket, míg tavasszal a virágba borult fák könnyen felismerhetőek, de legalábbis szűkíteni tudjuk a valószínűsíthető fajok számát.

A beépített területek növényzete sokkal nagyobb stressz hatásnak van kitéve, mint a természetbeliek. Az ezeket a növényeket veszélyeztető tényezők felmérése összetett távérzékelési feladat. Figyelembe kell venni a házak, építmények csapadékvíz terelő, elosztó szerepét, a hőhatásokat, a szennyezéseket, a forgalmat, a tápanyag és vízhiányt, kilúgzást, elszigetelt szabad felületű talajfoltokat, stb. Ezek ismeretében a parkokat, útszéli fákat, vagy a kiemelt fontosságú növénycsoportokat céltudatosan lehet védeni lokális vízrendezéssel, elszigeteléssel, esetleg a kártevők elpusztításával, tápanyagok kijuttatásával. Valósszínes légifelvételek esetében a felbontás és a képek minősége (színtelítettség, kontraszt, stb.) szabja meg a vizsgálati lehetőségeinket.

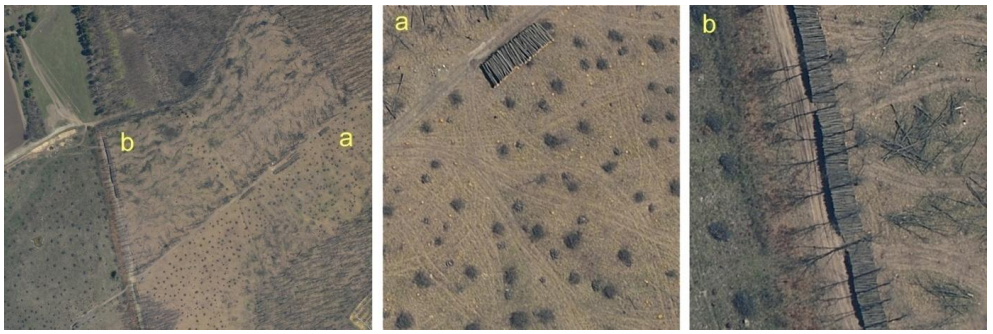
A fafajok meghatározása ortofotó-térképen a következő szempontok alapján lehetséges a terepi felbontás függvényében:

Terepi felbontás	**Faj meghatározási alapja helyszíni munkálatok nélkül**
100 – 1000 cm / pixel	A lombos és örökzöld állományok általában elkülöníthetők
50 – 100 cm / pixel	A faji összetétel csak az elterjedési területek ismeretében közelíthető
30 – 50 cm / pixel	A fajmeghatározást segíti, hogy az egyedek jobban elkülönülnek egymástól, méretük gyakran meghatározható.
15 – 30 cm / pixel	A fajmeghatározást nagyban pontosítja a lombszerkezet elemzése, a levél és kéreg szín, valamint az árnyék, a terepből való kiemelkedés, azaz a magasság.
10 – 15 cm / pixel	A lombszerkezet részletesen vizsgálható.
4 – 10 cm / pixel	A fajmeghatározás lehetőségei a levélállás vizsgálataival is kiegészülnek
0,1 – 4 cm / pixel	A fajmeghatározásban már a levélmorfológia közelítése is segít

Természetesen a légi távérzékeléssel előállított állományok kiértékelését terepi vizsgálatokkal kell párosítani, ezáltal lényegesen megbízhatóbb, és hatékonyabb vegetációtérképezési rutin alakítható ki (Bakó 2010). A fenti táblázat csupán a felbontás és felismerés összefüggéseit szemlélteti. Minél nagyobb a légifelvétel-térkép felbontása annál kevesebb lehetséges fajra vagy vegetáció folt típusra szűkíthetjük az adott folt azonosítását, a meghatározás és a lehatárolás is pontosabbá válik. A faji változatosság (pl. különböző levélméret) azt eredményezi, hogy egyes fajok könnyebben, mások nehezebben különböztethetőek meg egymástól. Ezért vegetáció térképezésére általában a nagyfelbontású (15 cm vagy annál jobb részletességű) légifelvételek alkalmasak. Amennyiben az érzékelést kiterjesztjük a közeli infravörös tartományra is, az élő biomassza tömegét, területfedési arányát is becsülni tudjuk.

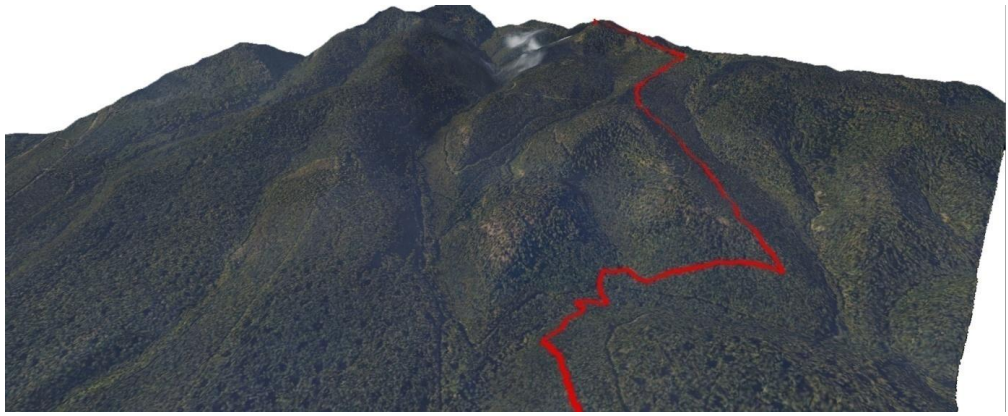
49. ábra A különböző nyárfa fajok vegetációs időszakban és lomb nélküli állapotban is könnyen megkülönböztethetőek más fafajoktól.

50. ábra Viharkár dokumentálása a Bakonyban



51. ábra a tarvágás egy vagy több erdőrészlet teljes letermelésével járó erdőművelési forma. A korábbi tarvágás jellegzetes nyomokat hagy maga után (a), de a munkálatok folyamata is jól felismerhető az ortofotókon (b).

52. ábra A fakitermelés másik módja, amikor lékeket nyitnak az erdőben. Így nem szakad meg a folyamatos átmenet az egyes erdőrészletek között, de amennyiben a lékek mérete túl nagy, könnyen elgyomosodnak. Az itt megtelepedő invazív növényzet meggátolja az újulat fejlődését.



53. ábra A Börzsöny háromdimenziós légitérképén is jól látszanak a nagyméretű erdészeti lékek. Az országos kéktúra útvonalát jelöltük.

49. ábra A nagyfelbontású ortofotók segítségével környezettudatosabb erdőgazdasági módszerek vezethetőek be. A kiszáradt, beteg egyedek

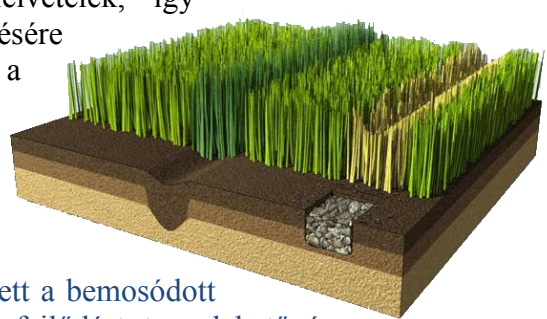
kiszelektálhatóak, az ökológiai szempontból kedvezőbb szálalóvágás könnyen tervezhető.

50. ábra A légi felmérés bizonyos esetekben a vadállomány létszámbecslését is segíti. A 2013. április 16-án készült ortofotó-részleteken szarvasokat látunk a vadetetőknél.

12. Hogyan segítik a légifelvételek a régészek munkáját

Már a 19. végén is készítettek ballonról légi fényképeket, amelyeken régészeti objektumok is feltűntek. A legtöbb országban az első világháború időszakában, a repülőgépek és a légi fényképezés gyors fejlődésével terjedt el az archeológiának ez a különleges ágazata. Észrevették, hogy régen elfelejtett, esetenként elszántott vagy beerdősödött földvárak, sáncok, árkok, erődök, várak, kolostorok és templomok nyomaira bukkanhatunk a levegőből. Olyan, ember alkotta, és az idők folyamán felhagyott, vagy lerombolt, a területen járók számára felismerhetetlenné vált, eltemetődött objektumokra lettek figyelmesek, amelyek alaprajza a levegőből egyértelműen feltárul. Hamarosan azt is lejegyezték, hogy bizonyos esetekben az egykori műtárgyra utaló nyomok csak időszakosan jelentkeznek, így évszakonként újabb és újabb részletek mutatkoznak meg.

Az egykor emberlakta területekről, lelőhelyekről különböző évszakokban készített légifelvételek olyan föld alatt rejlő régészeti jelenségeket fedhetnek fel, amelyek a terepen vizsgálódva nem válnának el a felismeréshez elegendő mértékben a környezetüktől. Madártávlatból olyan rajzolatokra lehetünk figyelmesek, amiket a földről nem vehetők észre. Eltemetett, leomlott falakat, gödröket, árkokat jelenítenek meg a légifényképek térképpé alakításával előállított ortofotó-térképek is, hiszen a növényzet eltérő módon fejlődik a bolygatatlan, illetve a szerves anyaggal feltöltődött bolygatott vagy mesterségesen alakított talajok esetében. A földalatti romok kőzetmaradványai a gyökérfejlődést gátolják, esetenként a felettük található talajréteg vízgazdálkodását rontják, a köves, száraz talajon pedig a környezetéhez képest kevésbé üde és egészséges a növényzet. A régi korok műtárgyai sokszor csak időszakosan rajzolódnak ki, a fent említett jelenségek következtében. Mivel legtöbbször magukat a régészeti objektumokat jelenítik meg a felvételek, így nemcsak az objektumok megkeresésére alkalmasak, de a feltárás, a munkaárkok elhelyezkedése és tartalma is térben dokumentálható ortofotókból összeállított légifelvétel-térképek segítségével.



51. ábra A betemetődött árkok felett a bemosódott humuszos réteg gyorsabb növényi fejlődést tesz lehetővé. Ennek ellenkezőjét figyelhetjük meg a kőzet által gátolt gyökér-növekedés miatt, az eltemetődött épületfal, alap maradványok felett. (3D grafika: Pazirik Kft.)

12.1 A légi régészet kialakulása és első évtizedei Magyarországon

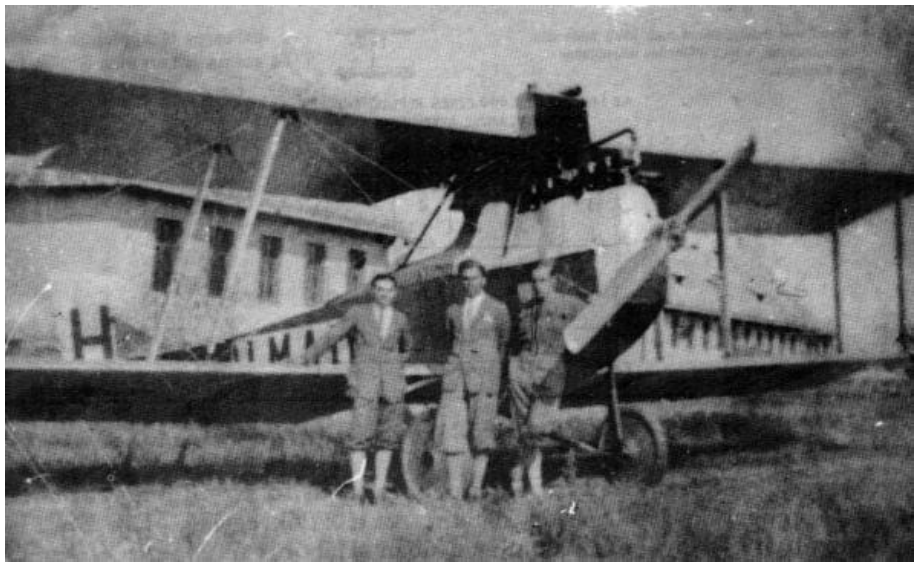
A légifényképek régészeti hasznosítását hazánkban elsőként Neogrády Sándor, első világháborús felderítő (légi megfigyelő és légi fényképész) szorgalmazta. A vakmerő felderítő az első világháború után légi fotogrammetriát, azaz a légi fényképek térképészeti felhasználását Magyarországon meghonosító, és tudományos szintre emelő Magyar Királyi Állami Térképészeten belüli Légifényképező alosztály vezetője és legtöbbet foglalkoztatott légifényképésze lett.

Már 1931-ben vetítéses bemutatót tartott a saját felvételeiből a tárgykörben a Régészeti Társulat szakülésén. Légi régészeti tevékenysége nemzetközi viszonylatban is úttörő jelentőségű volt, munkássága nagy elismerést váltott ki.

Radnai Lóránd az 1938-as években a légifényképezés sajátosságait tárgyaló írásában kitért a légifelvételek régészeti hasznosítására is. 1940-ben az Archaeologiai Értesítő Magyarországon készült régészeti légifelvételeket publikál, elsőként a magyar régészeti szakirodalomban. A negyvenes években már többen vizsgálódnak a légi archeológia területén. Strömpl Gábor és Radnai Lóránd a Légifényképezés a régészeti kutatás szolgálatában című Magyar Mérnök- és Építész Egyletbeli előadása tanúskodik a légi régészet elterjedéséről, de Csiszár Sándor, Vörös József és Hankó Géza - a térképészet Fotogrammetriai osztályának nagy tudású vezetői – is behatóan foglalkoztak a tudományterülettel. Évente sok száz üvegnegatív és filmkocka készül földvárakról és egyéb történelmi emlékekről. *Radnóti Aladár* például az erdélyi Meszes-hegység gerincén húzódó daciai limes-szakaszáról publikál jó minőségű, régészeti szempontból értékelhető felvételeket.

Az 1940-es évek első felében csaknem valamennyi magyarországi ásatás helyszínéről készültek légifényképek. Sírok, földvárak, állomáshelyek, római utak, a dunapentelei limes-út kerültek megörökítésre, és nem egy esetben ezek segítségével kezdték meg az ásatásokat.

Az archív légifelvételek jelentőségét emeli, hogy az elmúlt évszázadban rengeteg földvár esett a szántás, vagy éppen a beépítések áldozatául.



52. ábra Neogrády Sándor a jobb oldalon látható egy már a fénykép készítésekor, 1929-ben is réginek számító Brandenburg típusú légi fényképezésre használt repülőgép előtt. (a felvétel Balla – Hrenkó 1991: A Magyar Katonai Térképészet története című könyvéből származik)

53. ábra Aquincum polgárvárosi amfiteátruma a két világháború között (13 x 18 cm üvegnegatív a Hadtörténeti Intézet és Múzeum Hadtörténeti Térképtár archívumából digitalizálta az Interspect csoport az 1916 – 1941 között készült légifelvételek közhasznú adatmentése kapcsán).

Több bizonyíték mutat arra, hogy nagymennyiségű archeológiai szempontból is jelentős légifelvétel készült 1916 és 1950 között. Az azonban hamar egyértelművé vált, hogy a régészek számára igazán értékes anyag hiányosan maradt fenn.

Neogrády gazdag képgyűjteménye a második világháború után elveszett. Vöröss József a második világháborúban Budapesten bombatámadás áldozata lett. Régészeti elképzeléseit és újításait is elvesztettük vele együtt. Strömpl Gábor mint térképész alezredes szovjet hadifogságba került. Neves barlangkutatónk, a kiváló geográfus, térképész szakember, a fotogrammetriai osztály vezetője a fogolytáborban halt meg 1945 augusztusában.

Ennek ellenére az Interspect csoport közhasznú munkálatai során több mint hatszáz üvegnegatívot sikerült megtalálni különböző magángyűjteményekben, a Hadtörténeti Intézet archívumában, amelyek helyreállítása és digitalizálása megtörtént.

12.2 Légi régészet a második világháború után

A háború és az azt követő események következtében Magyarország korábban világszínvonalú légi régészeti eredményei homályba burkolóztak. A titkosítás és szervezeti változások következtében az archív légifelvételek már nem voltak hozzáférhetőek. A második világháború után a szakemberek csak kivételes esetben juthattak légifelvételekhez, a fotogrammetriai repülés pedig kifejezetten állami privilégium volt. Régészeti repülést ekkor nem folytathattak. Az első régészeti repülések a hetvenes években indulhattak meg: a vízügyi légiszolgálat egyébként vízügyi műtárgyak állapotának ellenőrzésére, árvizek, belvizek, vízgyűjtő területek és vízbázisok felmérésére fenntartott repülőgépeivel hajtották végre ezeket a kísérleteket. A vízügy ebben az időszakban saját légiszolgálattal, Morava és Pilatus repülőgépekkel valamint egy Kamov típusú helikopterrel és kijelölt vízügyi repülőterekkel is rendelkezett. A nagyfelbontású környezetvédelmi, vízügyi és esetenként archeológiai felvételezést 1964-től a Vízügyi Dokumentációs osztály alá rendelt fotószolgálat, majd az ARGOS Távérzékelési és Filmstúdió végezte. Leggyakrabban a felvételek feldolgozását, kiértékelését is ők hajtották végre. Világviszonylatban is korszerű felszereléssel rendelkeztek, már a hetvenes években multispektrális (egyszerre több spektrumtartományban fényképező, esetenként az emberi szem számára láthatatlan jelenségeket is feltáró) rendszerekkel és hőkamerákkal is dolgoztak. Színes és fekete-fehér légi felvételeiket is a modern, NASA által a holdra szállásoknál is használt Hasselblad márkájú középformátumú fényképezőgépekkel készítették. A

pécsi légirégészeti műhely előzményének tekinthető, amikor 1976-tól Visy Zsoltnak archív katonai felvételek vizsgálatát engedélyezték. A kilencvenes évek elejétől ismét bárki légi fényképezhetett, így a légifotók segítségével dolgozó régészek száma újra megnőtt.

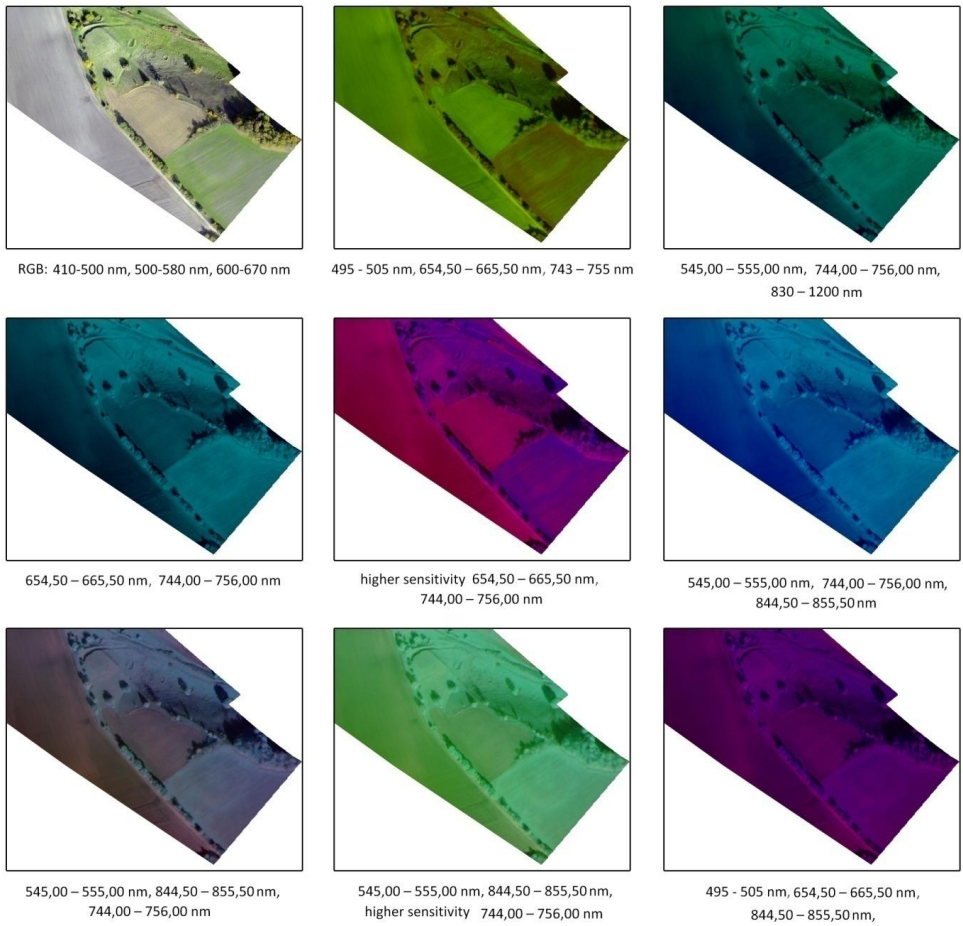
12.3 Légi régészet napjainkban

Az analóg (filmes) korszak 2006-ban ért véget a magyar távérzékelésben, hiszen a vízügyi, környezetvédelmi és légirégészettel foglalkozó szervezeteknél ekkor váltották fel a nagyfelbontású digitális mérőkamerák a filmes gépeket. A professzionális képérzékelők tulajdonképpen világszerte ekkor érték el a legjobb filmek minőségét. Kisvártatva Magyarország is magáénak tudhatott egy honi fejlesztésű, nagyfelbontású digitális multispektrális légi mérőkamera sorozatot. Az első magyar digitális mérőkamera alapötlete az ARGOS Stúdió légifotó laboratóriumában látott napvilágot, de támogatás hiányában és a szervezet 2008-as megszűnésével a csoport kutatóinak Interspect néven megalakult szervezetében valósult meg.

A modern mérőkamera olyan felvevő berendezés, amelynek mindössze csekély geometriai elrajzolása van, és az is ismert. Ezáltal a felvételek elrajzolási szempontból automatikusan helyesbíthetőek, méghozzá színkép tartományonként. Ezzel nemcsak a felvétel torzulásmentessége érhető el, de a színhelyesség is szavatolható. Az átfedő képterületeken digitális domborzatmodell készíthető, így szabatos és akár háromdimenziós térképet készíthetünk a felvételekből. A sok spektrumon történő felvételezés pedig lehetővé teszi, hogy ne csak az emberi szem számára megszokott képet értékelhessük ki, hanem az infravörös és az ultraibolya sugarak visszaverődése által nyújtott információkat is figyelembe vegyük a felszín kutatásánál.

54. ábra A fotogrammetriai célokra speciálisan átalakított repülőgép és a magyar fejlesztésű mérőkamera, amelyel korábban elképzelhetetlen részletességű ortofotó-térképeket lehet készíteni.

A modern légi régészet két tevékenységi körre osztható. A hóolvadás, surlófény és a növényzet különböző aszpektusait kihasználó dőlt kameratengelyű (oldalra lefelé tekintő) légifényképezés az egykori létesítmények körzetének felderítését, potenciális lelőhelyek megtalálását szolgálja. Ezzel szemben a függőleges kameratengelyű (lefelé tekintő) fotogrammetriai felmérés a lelőhelyek, objektumok pontos bemérését, térképi vetületben történő ábrázolását, részletes dokumentálását szolgálja (52-57. ábrák).



55. ábra Multispektrális ortofotó mozaik egy elszántott földvárról és környezetéről (Forrás: Interspect - Magyar Nemzeti Múzeum)

A feltárás előtti állapot rögzítésekor, az előzetes tervek elkészítéséhez szolgáltat térképi alapot, majd a feltárási területen nagypontossággal dokumentálja a korabeli falak, sírok és horizontális talajzónák állapotát. Ezután a feltárás teljes folyamatának bemutatását is lehetővé teszi a kiemelt tárgyak mellett elhelyezett tablón, vagy virtuális térben, monitoron, kivetítőn. Az ortofotók és a készítésük során nyert terepmodell együttesen a munkaterület háromdimenziós modelljét, terepasztalát képezhetik (56. ábra). Erre az alapra akár a környezetrekonstrukció során feltárt korabeli táj is felépíthető. Így a háromdimenziós térképi rendszer nemcsak tudományos értékű dokumentációja az ásatásnak, de a későbbi bemutatási és marketing lehetőségeket is bővíti.

56. ábra A háromdimenziós térkép metszete a síkban fekvő ortofotó-térképen bemutatva. A műszer egyszeri átrepüléssel is rengeteg hasznos információt gyűjt a területről.

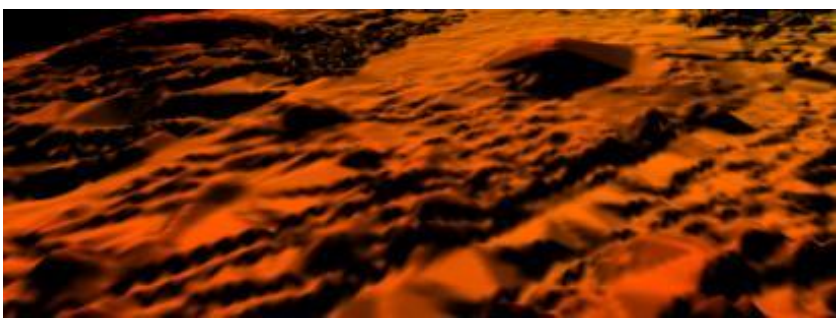
57. ábra Az előtérben térképi síkban megjelenő épületek a Százhalombattai Régészeti Parkban bemutatott, országszerte feltárt épületek rekonstrukciója során születtek. A háromdimenziós modellen sírhalmok rajzolódnak ki.

58. ábra A régészeti park területe az ortofotó-mozaikon. A terület akár terepasztalként is kinyomtatható háromdimenziós nyomtatással

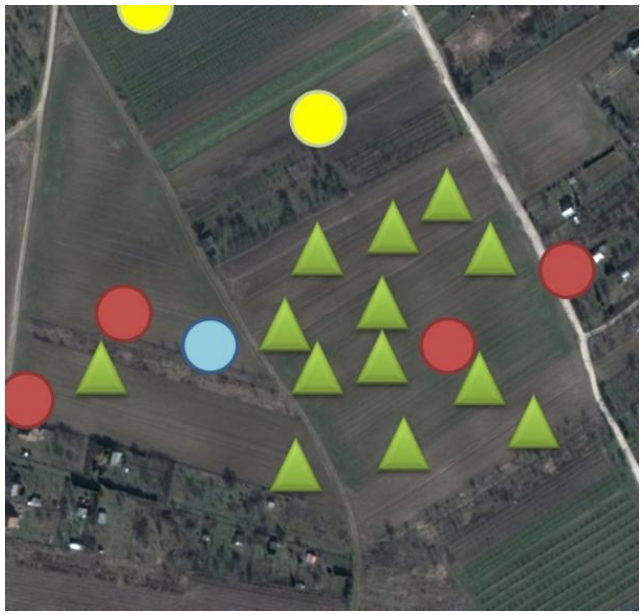
59. ábra Bemutatásra feltárt 115. számú sírhalom az előző légifelvétel-térképről. Az új technológia által eredményezett részletesség lehetővé

teszi a védett emlékek, a nem régen felépült műtárgyak és járulékos beavatkozások, a vegetáció és a terület környezetében végbemenő gazdálkodási formák dokumentálását. (Az ortofotók alapjául szolgáló felvételek az IS 4 mérőkamerával készültek.)

60. ábra A sírhalom mezőn a felvétel további halmokat jelez. A vizsgálatot több időszakban elvégzett felvételezéssel és helyszíni ellenőrzéssel lehet pontosítani. A felvétel dokumentálja a halmokon jelenlévő növényzetet és a veszélyt jelentő beavatkozásokat is. A szántás folyamatosan csökkenti a halmok azonosításának lehetőségét.



61. ábra A felvételekből kinyert háromdimenziós felületmodell bevonása további segítséget jelent a felületformák elemzésével



62. ábra Korábban megismert (körrel jelölt) és a madártávlatból újonnan azonosított halmok (zöld háromszöggel jelölve).

63. ábra A vizsgálat a park környezetét is rögzíti. A kiemelt részlet a felvétel felbontását jól érzékelteti.

A százhalombattai egyszeri repülés eredményeképpen új halmokat azonosítottunk, elkészítettük a régészeti park ortofotó-térképét, amely alapján vegetáció térkép, épületkataszter és számos tematikus térkép elkészíthető. Létrehozhatjuk a terület 5 cm részletességű háromdimenziós térképét.

64. ábra Feltárási terület különböző időpontokban dokumentálva (százhalombattai földvár 2008. július 2 és 2008. szeptember 2.)

Az ásatásokat nagyfelbontással rögzítő légifelvétel-térkép a részletes dokumentálás új lehetősége. Az akár fél cm pixelrészletességű új módszer olyan képállományt eredményez, amelyen a munkagödrök tartalma is felismerhető, térben elhelyezhető. A felvételek a munkafolyamat szabályos kivitelezését, a környezeti változásokat is rögzítik.

13. Idegenforgalom és marketing

A légifényképek az idegenforgalmi létesítményeket szállodákat, strandfürdőket, élményparkokat, lovardákat, turisztikai látványosságokat, fesztiváltereket és konferenciatermeket, valamint az ipari parkokat, kikötőket, tereket és településeket a környezetükben mutatják be. Az objektum nagyságát, reprezentativitását hirdetik az interneten, nyomtatott anyagokban és óriásplakátokon. Az ilyen jellegű látványképek felhívják a figyelmet az épületek fekvésére, méretére, jellegzetességeire, elkalauzolják, útbaigazítják a látogatót. Monumentális hatást keltenek a szemlélőben. Stílusosan mutatják be a beruházás nagyságát és modern, átgondolt, igényes projekttervezés benyomását, luxusérzetet keltenek.

65. ábra A légi fényképek ideálisak a beruházások bemutatására

66. ábra Az ingatlanok, szállodák és iroaházak bemutatására jól alkalmazhatóak a függőlges és ferde kameratengelyű légifelvételek kombinációi.

A látványos felvételek elsősorban honlapok fejlécében, az épületeket, a területet bemutató galériákban, prospektusokban, katalógusokban, óriásplakátokon és irodai látványelemként kerülnek felhasználásra.

67. ábra Az Egri Vár 2013-ban, ferde tengelyű légifelvételen.

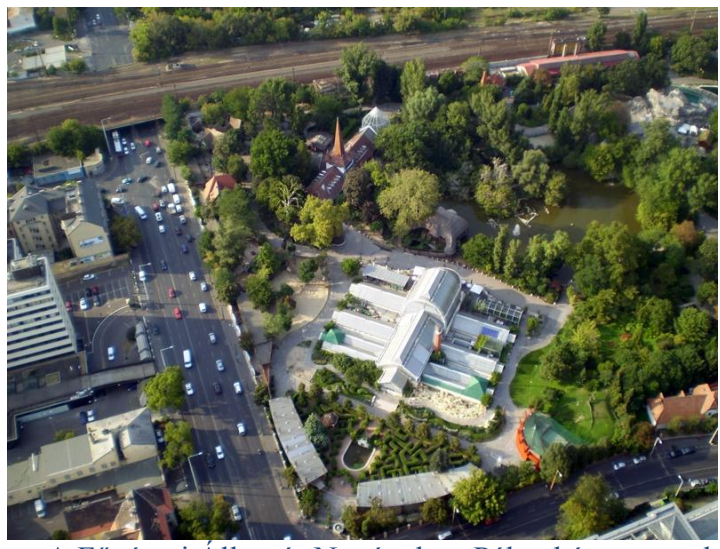
68. ábra A perspektivikus légifelvételek jól reprezentálják a történelmi városrészek látnivalóit, környezetükben jelenítik meg azokat.

A látványképek elkészítése is tervszerűen zajlik, az objektumok speciális szögből (magasságból, irányból, távolságról), a megfelelő környezetben, adott időszakban történő fényképezése a cél.

69. ábra A Gellért-hegy perspektivikus légifelvétele

A függőleges kameratengellyel készült (lefelé tekintő) felvételekből előállított térképek is komoly marketing értékkel rendelkeznek. A beruházások dokumentálása mellett (70. ábra) várostérképek, útikalaúzok anyagaiként szerepelhetnek. Átlátható módon, térképi szinten ábrázolják az egyes turisztikai látványosságokat (72. ábra).

70. ábra Szállodák épülnek a Balaton déli partján



71. ábra A Fővárosi Állat- és Növénykert Pálmaháza perspektivikus légifelvételen

72. ábra A Fővárosi Állat- és Növénykert nagyfelbontású légifelvétel-térképének részlete. (Bakó – Interspect 2009. szeptember 2.)

73. ábra A jegesmedve a felvételre épülő interaktív honlapon

14. Hogyan épül egymásra a légi távérzékelés, a fotogrammetria és a térinformatika

A légi fotogrammetria gyakorlati elterjedését az első motoros repülőgépek megjelenése után két évtizeddel datáljuk. Azóta a térképek felújításában nélkülözhetetlen szerepet töltenek be a függőleges kameratengellyel, teljes területfedéssel készülő ortofotók. A multispektrális felderítés a második világháborúban bontakozott ki először, a technológia Magyarországon a hetvenes évektől elérhető. Hazánkban eleinte elsősorban a vízügyi és környezetvédelmi gyakorlatban alkalmazták az analóg multispektrális légifényképezést, majd az erdőgazdaságok és egyéb területek számára is hozzáférhetővé vált a technológia. Lassanként szintén beszerezhetővé váltak az űrfelvételek és a távérzékelés fogalmának meghonosodása, majd terepi és légi módszerekre történő kiterjesztése után a csupán látszólag függetleníthető tudományterületek, a távérzékelés, a fotogrammetria és a térképészet, majd a térinformatika folyamatos egybefonódását figyelhetjük meg. Ez nem véletlen, hiszen egy sokcsatornás, nagymennyiségű felszíninformációt szolgáltató távérzékelt állomány térbeli pontosságát a fotogrammetriai megoldások szavatolják. A korábbi analóg térképeknél sokszor jóval bonyolultabb és nagyobb adatsűrűségű digitális termékek kiértékelésekor létrejövő tematikus térkép-fedvényeket pedig a térinformatika foglalja értelmezhető rendszerbe. Korunk modern felszíni adatgyűjtő rendszereinek tehát egyrészről spektrális és geometriai értelemben pontosan kalibrált és ellenőrzött módon kell előállítaniuk a kiemelkedő képi minőségű, helyesen exponált és szabatos térképpé alakítható információkat. Másrészről pedig lehetővé kell tenniük a gyors és a vizsgálati szempontokon kívüli külső hatásoktól minél kevésbé befolyásolt felvételezést. Nagyméretű területek felmérésekor az időjárás, a napsugárzás beesési szöge megváltozhat, amennyiben a teljes terület leképezése sok időt vesz igénybe. Ez a felvétel-térkép kiértékelésekor hibákat okozhat és megnehezíti, lassítja az interpretációt vagy képszegmentálási folyamatot. Ezért a gyártók a legmodernebb technológiai vívmányok felhasználásával, megalkotásával törekednek minél nagyobb érzékenységű, ezáltal gyorsabb felvételi sebességű műszerek tervezésére.

14.1 A különböző tudományterületek térinformatikai rendszerbe integrálása

A jövő egyik legnagyobb kihívása a különböző ágazatokon belül született leíró adatbázuisok összeegyeztetése. Ezen belül a térinformatika legfontosabb kihívása a digitális formában elérhető, egymással közös rendszerben kezelhető archív és aktuális földtudományi és gazdasági anyagok szélesebb körű hozzáférése és fenntartása. A különböző léptékű vízügyi, talajtani, geológiai, időjárás és vegetáció, területhasználati, felszínborítási adatok közös értelmezése. Erre irányul az Inspire irányelv is, ami 2020-ra egy egységesen értelmezett térképrendszerbe kívánja foglalni a különböző országok különböző tematikus térképeit. A különböző tudományterületek, ágazatok adatainak harmonizációja az adatok együttes értékelhetőségének, statisztikai értelmezésének alapfeltétele.

A táj alapú környezetvédelem célkitűzései:

- A természet és táj-értékek megóvása
- Az emberiség életkörülményeinek javítása
- A vizek védelme
- A természeti veszélyforrások elemzése
- A klíma változásának elemzése
- A növénytársulások átalakulásának vizsgálata
- A termőterületek károsításának felderítése és jobb termőhelyi gazdálkodással történő javítása, hosszútávú termőhely megőrzés
- Természetes földrajzi egységek (pl. vízgyűjtő területek) vizsgálata, nem csak globális léptékű és jogi határokon alapuló kutatási területek kijelölése
- A területhasználat nyomon követése (települések terjeszkedése, hulladéklerakók, szennyvíztisztítók létesítése, termelés, feldolgozás és deponálás területei)
- A potenciális környezetkárosító források és hálózatok vizsgálata (pl. szennyező források és beépítés, bányászati tevékenység hatásai.
- Az ország értékeinek minőségi állapotértékelése

Minden vizsgálat alapállapot rögzítéssel kezdődik, ami általában egy jelenbéli részletes és a kor technikai színvonalának megfelelően nagy pontosságú felmérés. Ez a monitoring rendszer, a változás követés alapja.

15. A távérzékelési feladat megtervezéséhez szükséges információk

A légi felmérés megtervezéséhez tisztázni kell a felhasználás célját, hogy a felvételek a legjobban megfeleljenek a kiértékelési követelményeknek. Egy felmérés elindításához minimálisan a következő paraméterek ismerete szükséges:

- **A munkaterület határai és domborzata** (a felmérendő terület mérete a mérőképek számát, a domborzat a szükséges átfedések mértékét határozza meg)

- **Terepi felbontás** és a céltérkép méretaránya (a felmérés részletességét határozza meg)

- **Spektrális felbontás** (A valósszínes, vagy RGB felmérésen túl multispektrális, azaz különböző hullámhosszúságú elektromágneses hullámok leképzésére beállított felmérés is lehetséges)

15.1 Miért lényeges a fényképek részletessége, azaz terepi felbontása

Minden egyes pixel homogén színinformációt tárol, így természetes, hogy azon belül nem látszik semmi. Azonban ha a környező pixelekkel együtt vizsgáljuk, kivehető, hogy néhány pixel színben eltér az őt körülvevő pixelektől, így következésképpen elmondható, hogy ahhoz, hogy azonosíthatunk egy tárgyat a képen, annak több pixelen kell leképződnie. Ha például három méteres terepi felbontású egy felvétel, azon személygépkocsik vizuálisan nehezen volnának azonosíthatóak, ahogyan tíz centiméteres felbontásnál sem észlelhető egy cipő az úttesten, sőt egy nagytestű kutya sem azonosítható. Ugyanakkor egy telefonfülke az alakjából és méretéből kifolyólag már értelmezhető. Természetesen vannak kivételek is, amikor egy tárgy alakja még nem rajzolódik ki eléggé az azonosításhoz, de közvetett információkból sejthető a jelenléte. Például az emberi arc azonosítása nagyjából fél cm terepi felbontástól válik lehetségessé, de jóval kisebb felbontáson észlelhetjük ismerősünk jelenlétét egy ortofotón, ha tudjuk milyen színű ruhát, sapkát viselt, és hogy éppen abban az időben várható volt, hogy a területen tartózkodik. Ez azonban kivételes esetekben működik, szerencse és annyi ismeret kell hozzá, ami

feleslegessé teszi a képet, bizonyításra alkalmatlan és nem alapoz meg egy megbízható vizsgálatot. Ezért a felmérések felbontásának megválasztásakor mindig az a döntő, hogy a vizsgálni kívánt objektum típus, folyamat, vagy felszínborítási kategória ne csak jó eséllyel, hanem nagy bizonyossággal detektálható legyen. Egy tárgy előfordulásának, számának meghatározásakor fontos kizárnunk az alulbecslés és a felülbecslés okozta téves adatokat szolgáltató vizsgálatot és a kiértékelési hibát.

16. A felvételek minőségét meghatározó tényezők

Minél több információval rendelkezünk egy adott felszínről (például egy mezőgazdasági parcelláról, egy városrészről, vagy egy gazdálkodási egységről), annál pontosabb és megbízhatóbb választ kaphatunk adott kérdésre és annál többféle kérdésre kereshetünk választ. Az információgazdagság sok paraméteren alapulhat:

- a **terepi felbontáson** (a kép részletessége, amely meghatározza az felvétel által feloldott részleteket)

- a **spektrális felbontáson** (ami meghatározza, hogy hány csatornán, hány féle visszaverődési információnk van adott időpontban)

- a **dinamikán** (ami a felvételek árnyalatterjedelmét, árnyalatgazdagságát fejezi ki, analóg értelemben, tehát, hogy hány féle színárnyalatot különböztet meg a szenzor)

- a **radiometriai felbontáson** (ami a felvételek árnyalatterjedelmét, árnyalatgazdagságát digitális értelemben fejezi ki, tehát, hogy hány féle színárnyalatot képes tárolni a fájl)

- a **képminőségen** (hiába tároljuk el a felvételt robosztus fájlokkal, hatalmas adathordozókon, ha a felhőzet kitakarása miatt nem látszik a felszín a képeken, vagy életlenek, rosszul exponáltak, esetleg színhibásak a felvételek. Ilyenkor a kiértékelhető adatmennyiség csökken.)

Az információbőség minden esetben növeli a kiértékelési lehetőségeket és javítja a távérzékelt adatokból levezetett térképek, jelentések és kijelentések megbízhatóságát, de abból a szempontból, hogy megnöveli a feldolgozási időt, elveszhetünk a részletekben, nehezítheti is a munkánkat.

Ezért amikor csak lehetőség van rá, célszerű előre meghatározott szempontok alapján beállítani a vizsgálatot, amely már a projekttervezés fázisában egyértelműsíthető.

Az olyan pixelek amelyek több különböző spektrális tulajdonsággal rendelkező felület találkozását fedik le, a lefedett felületektől eltérő értékeket vesznek fel. Ezért az ilyen pixeleket **kevert pixel**nek nevezzük, és az osztályozás során a felszínborítási határokon eltéréseket okoznak kis felbontásnál. Minél jobb egy felvétel terepi felbontása és élessége, annál pontosabb adatokat szolgáltat a felszínborításról és annak jelenségeiről.

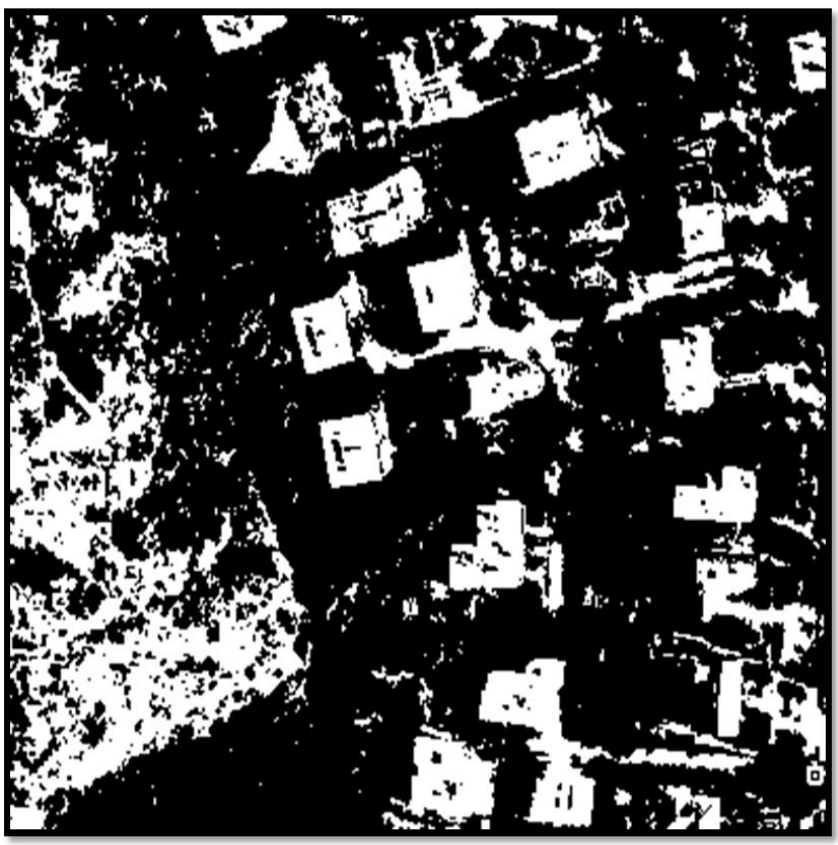
Színmélység: Minden egyes pixel színét egy számadat sor írja le. Minél több számból áll ez a sor, azaz minél több számjeggyel (bittel) definiáljuk az adott pixel színét, annál pontosabb a felvétel színrészletessége. A jó minőségű színvisszaadás egyik alapfeltétele, hogy elég színt és árnyalatot tároljunk el.

Dinamikai átfogás: A képen található legsötétebb és legvilágosabb pont közötti különbségének (az árnyalatterjedelem szélességének) és a két szélső érték közötti árnyalatok részletességének viszonya. Minél több különböző fényességű képpontot tud a képérzékelő elkülöníteni a két szélsőérték között, annál pontosabban ábrázolja a valóságot. Ha a téma dinamikai tartománya nagyobb a fényképezőgép által érzékelhető és eltárolható tartománynál, nem létezik jó expozíció. A digitális felvételen a csúcsfények túlexponálásával elvesztett képrészek, a beégett részletek semmilyen utólagos korrekcióval nem állíthatóak helyre hiánytalanul.

74. ábra Azonos felszínrészletet ábrázoló helyesen exponált széles és elégtelen dinamika-tartományú felvétel

Az érzékelőre jutó fény mennyisége, a helyes expozíció döntő a felvétel dinamikájának szempontjából. A képérzékelő érzékenységén múlik, hogy az expozíciónak megfelelően beérkező elektromágneses hullámokból mit képes rögzíteni. A digitális felvétel dinamikáját azonban nem csak a fényképezőgép képérzékelője, de a szenzoron jelentkező elektromos jeleket átalakító processzor és algoritmus minősége is befolyásolja. A felvétel dinamikai tulajdonságai a tárgykörbe tartozó fogalmak értelmezésével sajátíthatóak el a leggyorsabban:

Árnyalatgazdagság: Minél több különböző fényességű pontot tud a fényképezőgép érzékelője elkülöníteni a két szélsőérték között, annál pontosabban ábrázolja a valóságot.



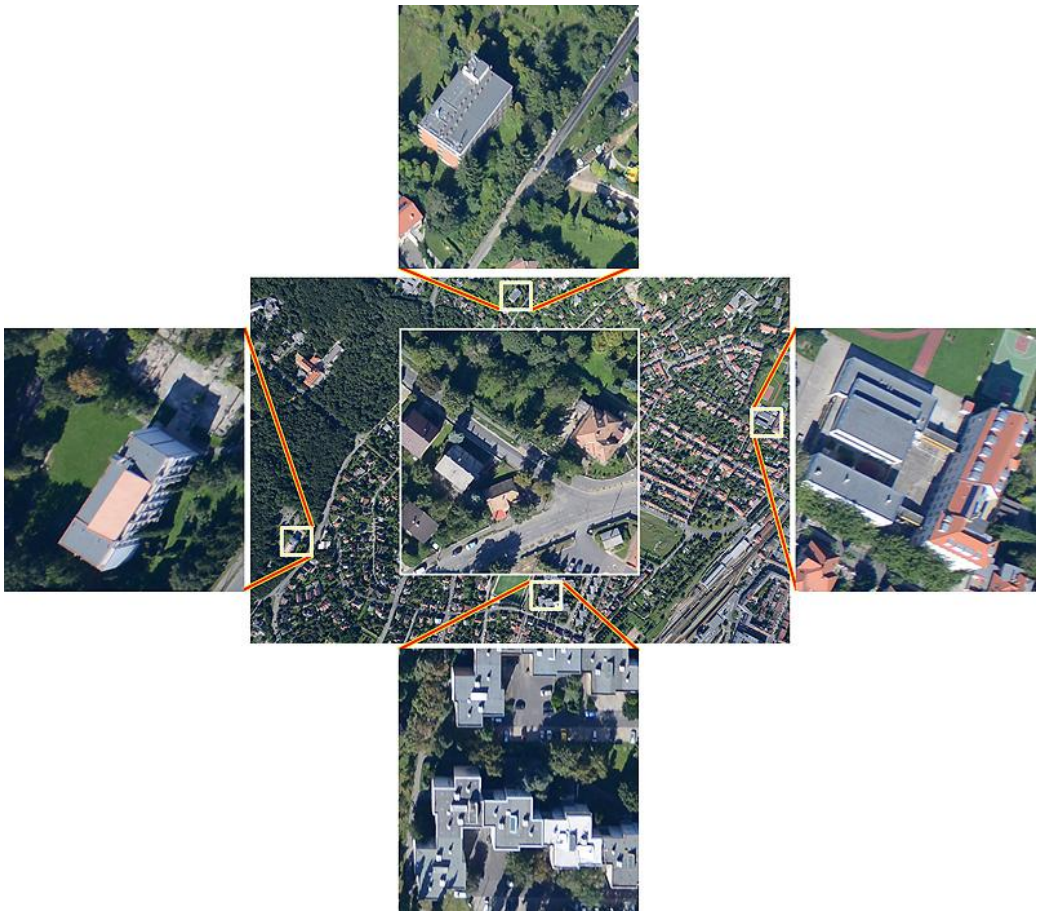
75. ábra Ha egy felvétel árnyalatgazdagsága alacsony, hiába nagy az árnyalatterjedelme, a felvétel nem lesz kellőképpen részlet gazdag

Árnyalatterjedelem szélessége: a képen található legsötétebb és legvilágosabb pont közti különbség.

Felvételi tágasság, vagy megvilágítás-terjedelem: az érzékenységi küszöb és a maximális érzékenység expozíciós tengelyen mért távolságától függ. Minél nagyobb ez a távolság, annál nagyobb az anyag tágassága. Az árnyalatterjedelem és a tágasság meghatározza az eszközzel elérhető árnyalatgazdagságot.

76. ábra A tágasság növekedése (az árnyalatrészletesség növekedésével)

- **Perspektív torzulás:** A perspektív hatás (77. ábra) önmagában véve még nem hiba, mivel a felszínen a helyükre kerülnek az objektumok talppontjai. Az ortofotó-térképek **geometriai pontosságát** a felszínen értelmezzük. A kimagasló oszlopok, kémények, tornyok és fák a centrális vetítésből adódóan a nadírtól kifelé dőlhetnek, de a szakszerű ortofotó készítésnél aljzatuk ettől még a helyére kerül. A magas objektumok dőlése sűrűbb képfőpont tervezéssel csökkenthető. Bizonyos esetekben, például kis átfedésekkel, nagyon magas építményeknél okozhat komoly hibát a fényképezési perspektíva is (78. ábra)



77. ábra Perspektív torzulás: a felszínre közel merőlegesen készített légifelvétel középpontjában a magas objektumok tetejét az alapjuk fölött látjuk, de a kép szélei felé a magas objektumok látszólag kifelé dőlnek. Ezt a centrális vetítés okozza, ami abból adódik, hogy egy adott pontból készült a felvétel. A hatás a földfelszínre is hat, de a felszínre simuló objektumokat az ortofotóvá alakítás (rektifikáció) a helyükre húzza. Az épület dőlése az ortofotókon is megmarad, amennyiben nem készült olyan kép, amin az adott épület felülről látszik. Ez a térképészeti célból készült ortofotóknál sem számít hibának, de amennyiben szeretnénk csökkenteni ezt a hatást, sűrűbben kell fényképeznünk.

78. ábra A felszínen pontos ortofotó-mozaik képeinek találkozása, ahol nem vették figyelembe a kiemelkedő objektumok centrális vetítésből adódó eltéréseit a repülési nyomvonal tervezésekor. Amennyiben a felvételezés megtervezésekor számoltak a magas objektummal, és a teteje valamelyik képkockán a felvételre kerül, a probléma helyes vágóvonal vezetéssel orvosolható.

- **Képvándorlás:** A menetirány szerinti bemozdulás akkor jelentkezik, ha a képérzékelőre vetülő földfelszín mozgási sebességéből adódó elmozdulás megközelíti, vagy meghaladja az elemi képpont méretét (79. ábra).

79. ábra Különböző mértékű képvándorlással, azaz repülés irányú bemozdulással érintett felvételek

Légi fényképezéskor a nagy távolság miatt az éles kép mindig a fókusztávolságban keletkezik. Ezért az **élesség** a végtelenben rögzítendő, kivéve extrém alacsony repülésekkor (például robotrepülőgépek esetében). Utóbbi esetben nagyon nehéz egyenletes magasságú és élességű képeket készíteni. Az alapoptikák esetében 10-50 m relatív repülési magasság alatt már nem felel meg a végtelenen rögzített élesség.

Az alacsony repülésekkor fellépő nehézség a **képvándorlás**, ami a fényképezett objektum, vagy térszín képérzékelőhöz viszonyított helyváltoztatásából fakad. Az út, amit a terepi pont képe az érzékelőn megtesz kiszámolható: általában mm-ben adjuk meg, az expozíciós idő reciprokának, valamint a képi méretarány reciprokának és a repülési sebességnek a szorzata.

$$T = \frac{1}{(p * 3{,}6 * m)/v}$$

T: Leghosszabb képvándorlás mentes záridő (a másodperc osztója), **p**: az elemi képpont mérete, **m** : műszer méretarány, **v**: terephez viszonyított repülési sebesség

Ha a megvilágítási idő alatt megtett út nagyobb, mint a képérzékelő egy képpontja, vagy a film szemcseátmérője, a felvétel életlenné válik. A legalacsonyabb repülési magasság, ahol még nem lép fel képvándorlásból következő életlenedés, egyenlő a repülési sebesség, a fókusztávolság valamint az expozíciós idő szorzatának és az elemi képpont átmérőjének hányadosával.

- **Képzaj:** Az a jelenség, ami a filmek érzékenységének növelésével szemcsésedést, „grízesedést", a digitális gépek esetében, analóg erősítésnél (az A/D konvertálás előtt történő fényérzékenység növelésnél) véletlenszerű pixelszíneződéseket okoz. Okozhatja még a képérzékelő felépítése is. A képzaj olyan, a valóságos képet az adott képpontban nem jellemző szín és intenzitás információ, amely a távérzékelő rendszer valamilyen optikai-elektronikai tökéletlensége miatt jön létre. A növekvő képzaj negatívan befolyásolja mind a vonalélességet, mind a színeket, spektrális értékeket. A digitális képzaj több komponensű, de optikai rendszerek esetében a kromatikus képzaj a legzavaróbb mindközül, ami abban nyilvánul meg, hogy a kinagyított képen olyan színes pontok is megjelennek - többnyire az egész kép felületén - amelyek nem tartoznak a kép alkotóelemei közé.

80. ábra Magas zajszintű felvétel

A képzajról legjobban a valóságban jellemző színinformációtól eltérő, véletlenszerűen megjelenő, hibás elszíneződésű pixelek árulkodnak. Képzajt okozhat például a magas érzékenységi beállítás (ISO) (80. ábra). Légi felméréseknél ISO 320 feletti értéket nem szoktunk alkalmazni (IS szabályzat). Képzajt okozhat még hibás AD konverzió és speciális képjavító algoritmusok is.

Közeghatás: 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. A **légszennyezettség** jelentősen ronthatja a látási viszonyokat (81. ábra), szóródik a fény a részecskéken, képtorzulást okozva.

81. ábra Inverziós réteg 1500 méteres magasságban

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 védőréteget), és meleg füst áramolhat a kamerarendszer alatt, erős, sztochasztikus képtorzító és életlenséget okozó hatással.

- Élesség: Négy mérhető fizikai fogalom összessége, mely együtt adja az élesség érzetét. A **Kontraszt (tónus- és szín-), a Lokális kontraszt (akutancia), a szemcsézet méret és sűrűség, valamint a felbontóképesség alapvetően befolyásolják.** Az objektívek élességének

mérése nehéz, mivel az élesség nem fizikai fogalom, hanem a látással kapcsolatos pszichofizikai érzet. Az élesség jellemzésére leggyakrabban a felbontóképességet használjuk. A másik élesség jellemző, a modulációs átviteli függvény (Modulation Transfer Function = MTF). Élességérzetünk szorosan összefügg a kontraszt különbséggel. A fényképezőgép objektívek feloldóképességét egyenlő közű vonalas rácsokkal vizsgáljuk. A feloldóképességre jellemző az a legsűrűbb rács, amely optikai képén a rácsos vonalas szerkezet még felismerhető. Az objektívek felbontóképességének értékét vonalpár/mm-ben fejezik ki. Az optikai rendszerekben használt "térbeli frekvencia", a fekete és fehér váltakozásának gyakoriságát nem időben, hanem hosszúságban méri. Mértékegysége a vp/mm (vonalpár/mm).

A kép élességét befolyásoló tényezők:

- az objektív éles rajza

- a felvételi anyag (film) kontúrélessége (érzékelő) elemi képpont mérete

- a nagyítás közben előálló élességromlás; átméretezés hatása a kontúrélességre

- A légkör hatásai

- A rendszer tisztasága

- Képvándorlás

- Egyéb bemozdulások, rázkódások

- Helyes megvilágítás

- Helyes élesség beállítás

Az elkészített felvételek élességét nehéz szabványokhoz és értékekhez kötni (82. ábra). Nagy általánosságban azt várjuk el a képek élességétől, hogy a kidolgozott, nyomtatott formában megfelelő megvilágítási viszonyok között elénk kerülő, 25 cm-es távolságából szemlélt fotó olyan éles legyen, hogy az élességét a tisztánlátás, vagyis csak a szemünk adottsága korlátozza.

82. ábra Éles és életlen felvétel

- **Megvilágítás:** 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. Az érzékelő spektrális felbontása, a képnadírtól mért optikatengely-szög, a Nap irányával bezárt szög, a fény polarizációja és optika tulajdonságai is befolyásolják a hasznos megvilágítást. A **napfény beesési szöge** meghatározza az árnyékok hosszát. Ezért az évszaknak megfelelően változik a légifelvétel-térképezésre megfelelő órák száma. Mindezekkel a tervezés és a végrehajtás során számolni kell.

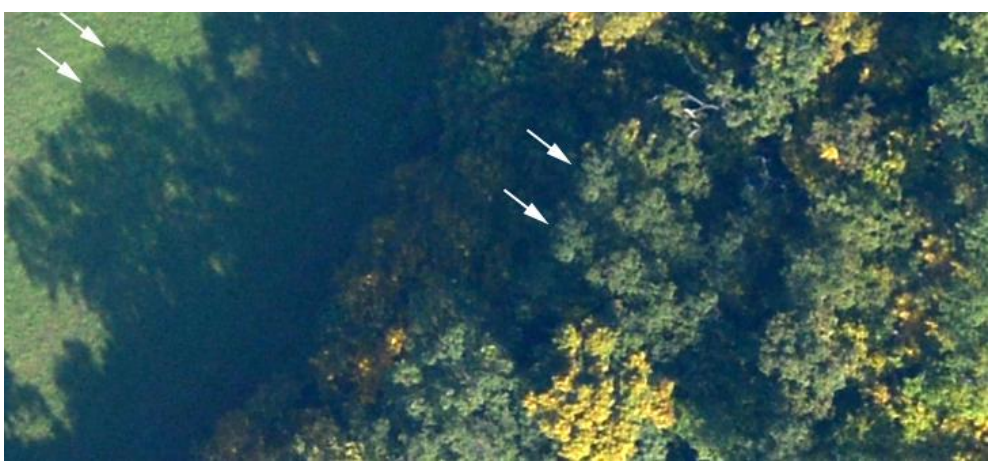
- **Helyváltoztatás a felületen:** Amennyiben egy mozgó objektum (jármű, élőlény) párhuzamosan halad a felette elhaladó távérzékelést végző repülőgéppel, többször is szerepelhet az ortofotó-mozaikon (83. ábra). Ez nem hiba, mivel a térképről általában a statikus objektumokat elemzik. Ezzel szemben amikor háromdimenziós modell készül, a mozgó objektumok nem szerepelnek a végeredményen, mert azok hibásan, torz, elnyújtott objektumként jelennének meg, és a magas hibával rendelkező pontokat szoftveresen leszűrjük.

83. ábra Sűrűn exponált légi felmérésnél a személygépkocsi haladását több kép is megörökítette

- Geometriai torzulásokból adódó **mozaikolási hibák**: Olyan egységes, vagy képterületen belül változó irányú és mértékű eltérések, amelyek hibás mérési eredményeket, és vágóél menti eltéréseket okozhatnak.

84. ábra Pontatlanul transzformált ortofotó, amely nem csak a térképi vetülettel, de saját bázispárjával sem szabatos

85. ábra Geometriai és hisztogramegyeztetési szempontból is hibás mozaik a vágóélnél

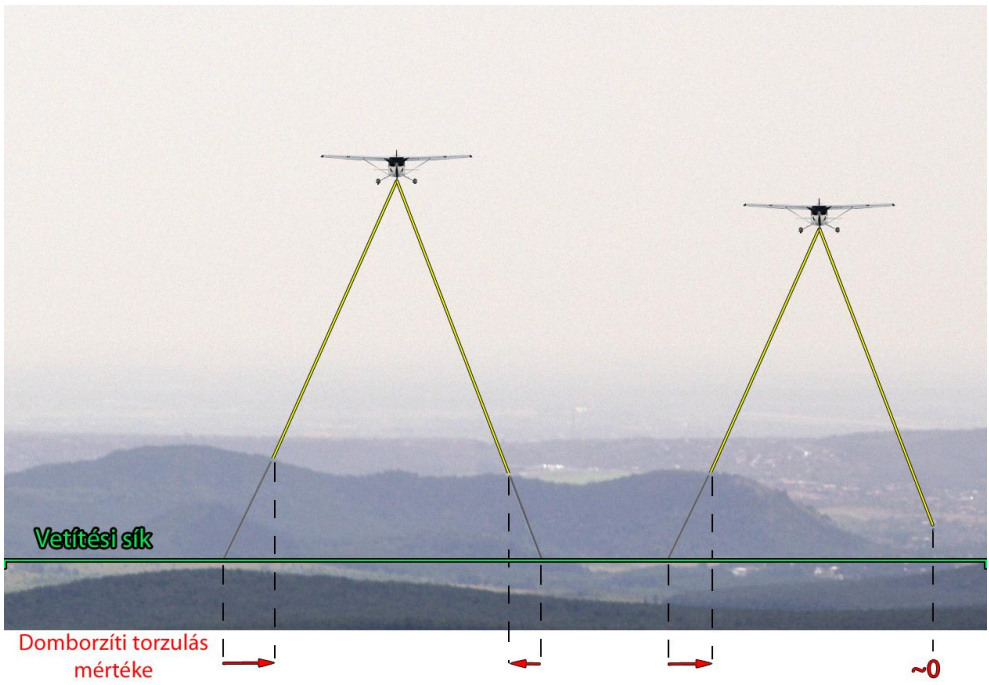


86. ábra Szellemképes felvétel. A duplán megjelenő objektumok szintén komoly geometriai hibákra utalnak.

- Modellhiba: Amennyiben az ortorektifikáció során, azaz a képek felületre illesztése során használt háromdimenziós modell hibás (torz) a segítségével előállított kétdimenziós ortofotó sem mentesíthető a torzulásoktól (87. ábra).

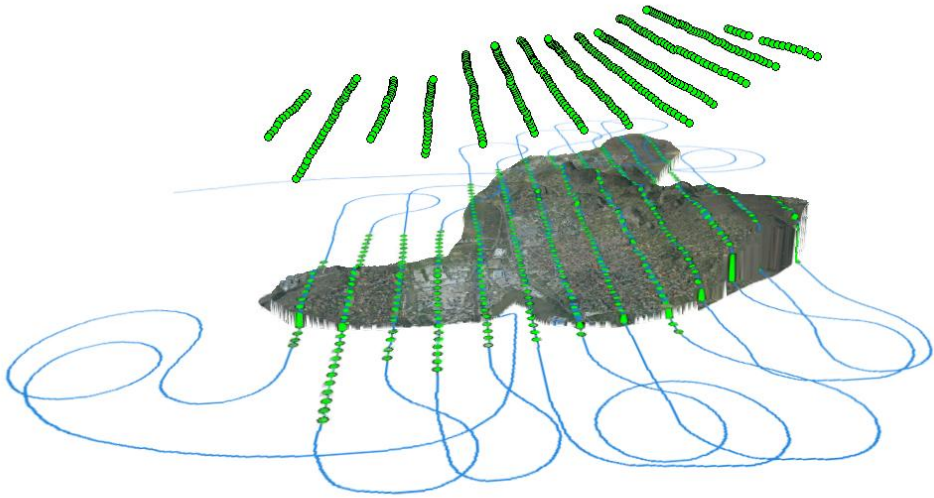
87. ábra Sík területeken megfelelően transzformált felvétel, amely jelentős geometriai hibával rendelkezik a kiemelkedő, változatos domborzatú részeken. A jelenséget a pontatlan felületmodell alkalmazása okozza.

Az ortorektifikáció során a fényképeket mint egy gumilepedőt ráhúzzuk a felületmodellre, majd visszavetítjük a térképezés síkjába. Ezzel a módszerrel megszüntetjük a domborzati torzításnak a perspektívából és méretarány különbségekből adódó hibáit (88. ábra), a fotó-térkép olyan lesz, mintha minden egyes képpontja pontosan felülről lett volna fényképezve. Ezt párhuzamos (ortogonális) vetítésnek nevezzük. Amennyiben a domborzati torzítás helyreállításához használt felületmodell nem megfelelően adja vissza a valóságot, az a helyreállítás mértékét csökkenti, speciális esetben pedig további hibákkal terheli a felvételeket.



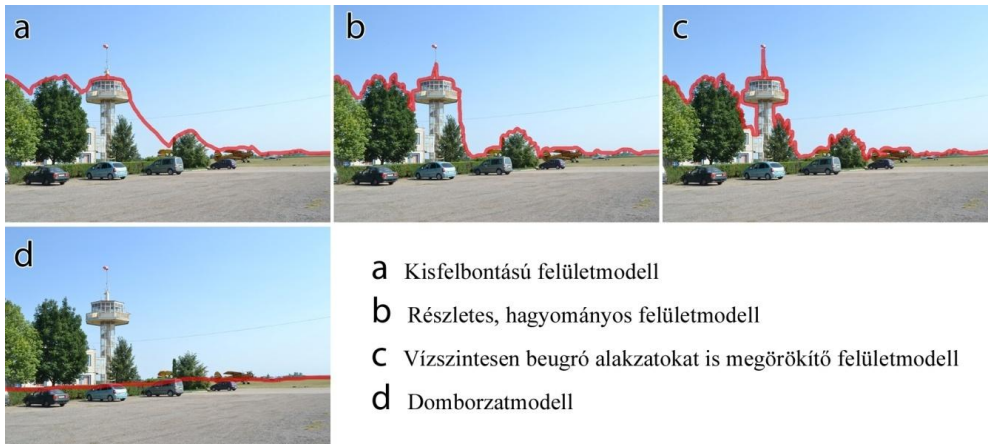
88. ábra A domborzati torzulás a domborzati viszonyok, a fényképezési hely, és a látószög alakulásából adódó geometriai hiba, amelyet a szabatos ortorektifikáció helyreállít. Minél változatosabb egy felszín, annál nagyobb a torzulás mértéke, míg sík terepen a domborzat kevéssé befolyásolja a képek minőségét.

A felvevő berendezéshez közelebb kerülő hegygerinc nagyobb felbontással kerül lefényképezésre, mint a völgyek alsó része. A térképi síkba történő visszavetítéskor ezek a méretarány különbségekből adódó méretkülönbségek is kiegyenlítésre kerülnek. Mivel a magas területek eredetileg több pixelen képződtek le, ezeken a részeken jobb minőségű lesz a fotó-térkép, mint a nyers felvételeken kevesebb pixelen jelentkező, rektifikáció során felnagyított völgyek esetében. Ezért a nagyrészletességű lég felmérések során kritikus esetben domborzatkövető repülést alkalmazunk (89. ábra).



89. ábra Domborzatkövető repülés fényképezési pontjai

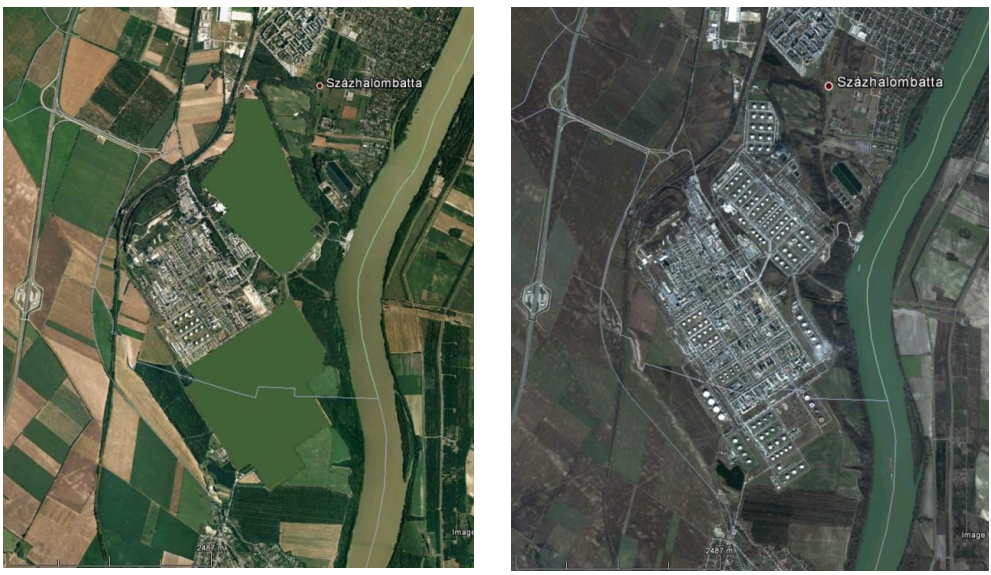
Különbséget teszünk domborzat- illetve felületmodell között (90. ábra). A felületmodellek az épített objektumokat és a vegetációt is figyelembe veszik, a domborzatmodell elkészítéséhez viszont le kell szűrnünk ezeket az objektumokat.



90. ábra A háromdimenziós magasságrögzítésre használt modellek részletessége és típusai. Az ábra a modelltípusok keresztmetszetét szemlélteti.

17. A légi felmérések biztonsági oldala

Régen több országban úgy próbálták védeni a titkos objektumokat, hogy "középzöld", vagy szürke foltokkal kitakarták őket a légi és űrfelvételeken. Ez azonban csak rövidtávon volt jó megoldás, hiszen a nagyfelbontású, már méteres részleteket is megjelenítő műholdfelvételek elterjedésével azonosíthatóvá váltak a nem jól álcázott, titkolni kívánt létesítmények, és a kitakarással módosított felvételek beszerzésével még gyorsabban le lehetett válogatni az adott ország számára stratégiai vagy hadászati szempontból lényeges létesítményeket (88. ábra). A védelmi szervezetek felismerték, hogy ezzel a megoldással szemben az igazán védett objektumok azok, amelyek nincsenek kitakarva, hanem megbújnak a város szövetében.



88. ábra Védett létesítmény részbe kitakarva, és ugyanaz egy olyan forrásból származó, nagyobb felbontású űrfelvételen, aminek átalakítására nincs jogi lehetőség. A kitakarás lokalizálja a védeni kívánt területeket.

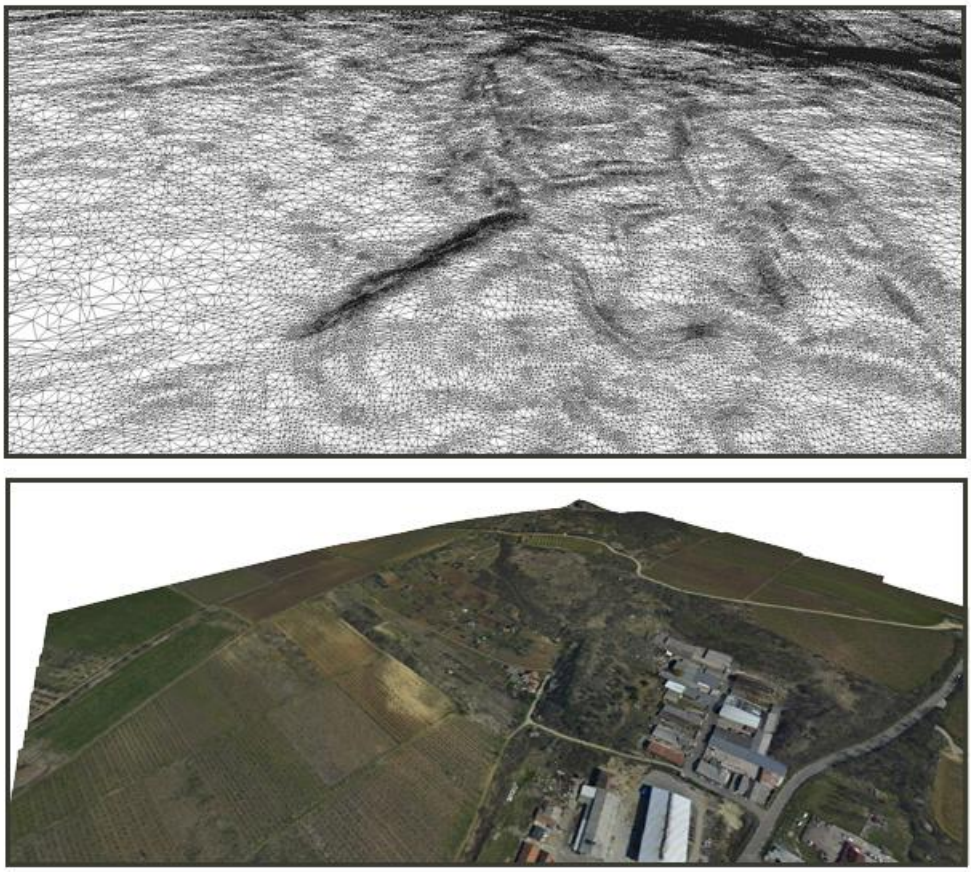
A légi felmérés személyi jogi kérdései összetettebb elemzést kívánnak meg. Általánosan elmondható, hogy fél cm terepi felbontásnál (1:60 méretaránynál) nagyobb képrészletesség szükséges egy felfelé tekintő emberi arc ortofotón történő azonosítására (Bakó és Molnár 2012).

18. Háromdimenziós térrögzítés

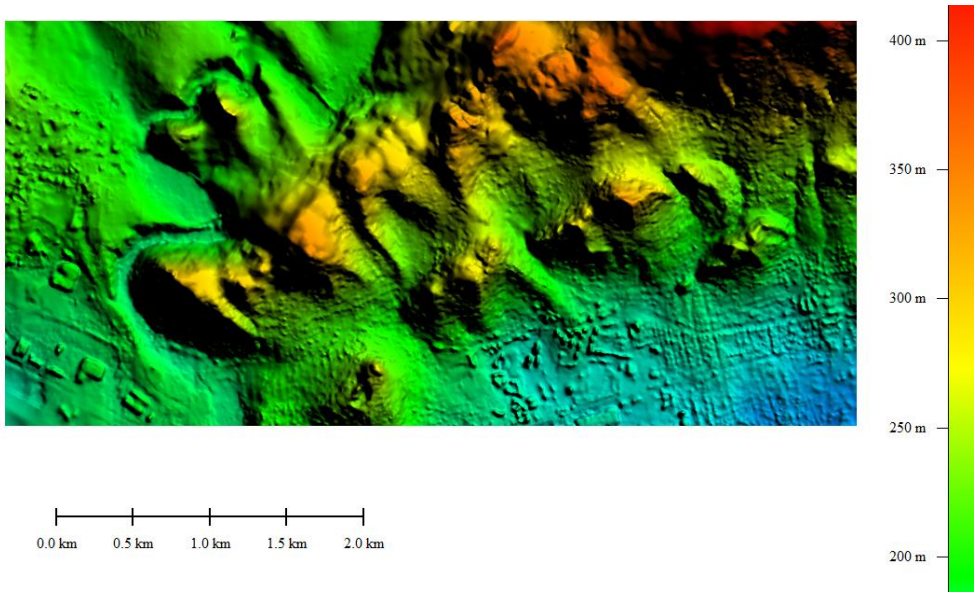
A modelladatok digitális tárolása megvalósulhat vektorgrafikus pontfelhőként, vektorgrafikus hálóként vagy raszteres formában is (91. ábra), de egyszerű adatsorként is elmenthetőek ezek az állományok.

A modellre textúraként megnyitható az ortofotó-mozaik (91.b ábra).

91.a ábra Színezett pontfelhőként rögzített háromdimenziós felületmodell



91.b ábra Vektorhálózatként rögzített háromdimenziós domborzatmodell és textúrával (ortofotó-mozaikkal) ellátott változata



91.c ábra Raszteres fájlként (geoTIF-ként) eltárolt felületmodell a Budaörsi Kopárokról

A háromdimenziós felmérés lehetőségei:

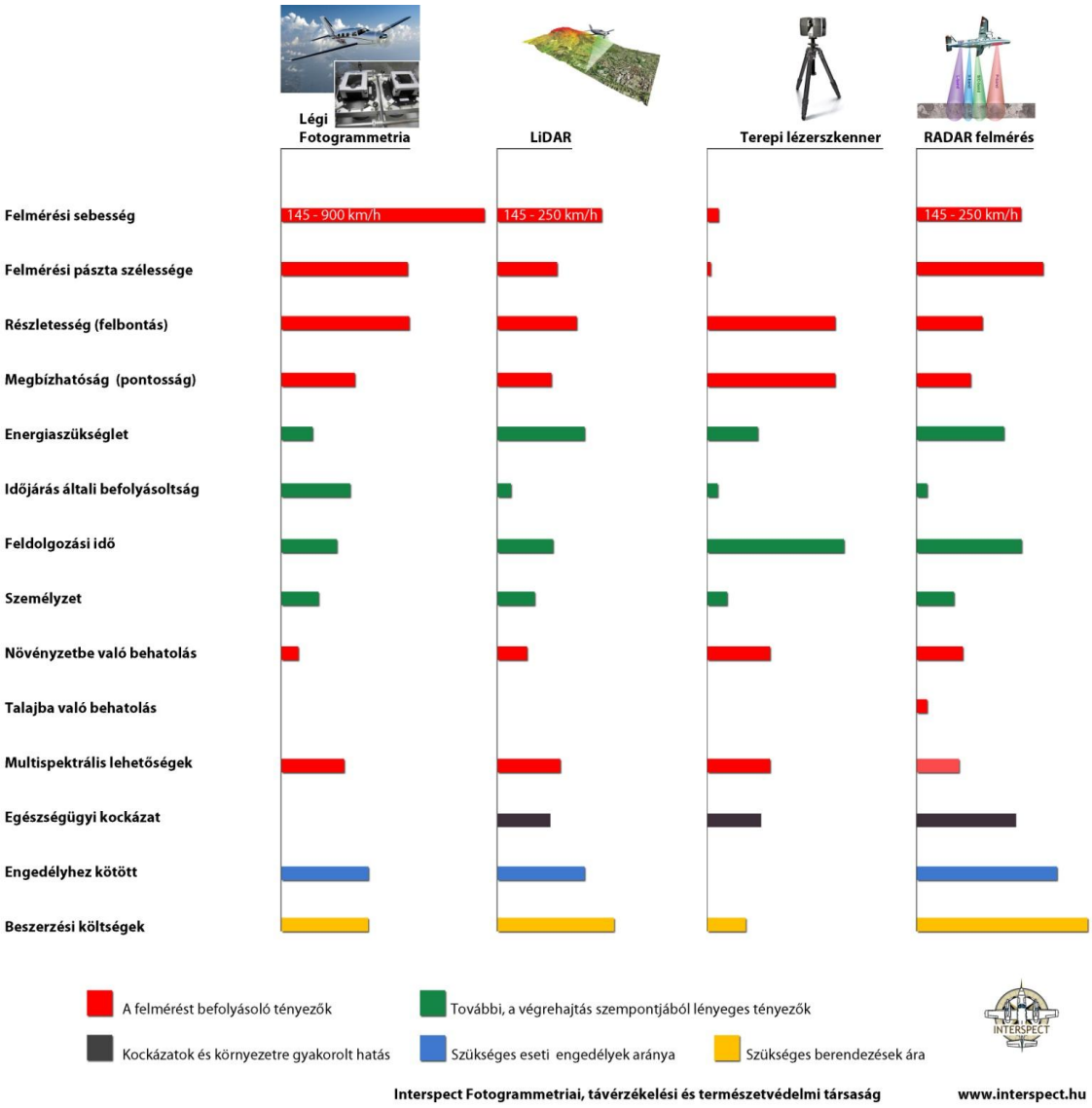
- **Passzív távérzékeléssel**: Tér fotogrammetria

- **Aktív távérzékeléssel**: - Radar, szonár és lézerszkennelési technológiák

- **Terepi pontszerű felméréssel**: Klasszikus geodéziai módszerek és GPS felmérés

A különböző légi és terepen alkalmazható módszerek összehasonlítását az 1. táblázat tartalmazza.

Megfigyelhetjük, hogy a terepi lézerszkennerek és fotométerek pontossága a legnagyobb, de ezekkel lassabban halad az adott munkaterület felmérése, míg a légi felmérések gyors haladást biztosítanak és a nehezen megközelíthető helyek is felmérhetőek.



1. tálázat A térfelmérési módszerek összehasonlítása (Forrás: Interspect Fotogrammetriai és térszkennelési hét 2014.október 13 - 17)

19. Űrfelvételek

Az űrfelvételek egy űrjármű fedélzetéről (pl. űrsikló), vagy mesterséges holdra telepített kamerarendszer által készített felvételek. A műholdakat szokás munkamagasságuk (földfelszínhez viszonyított távolságuk) szerint csoportosítani, így geostacionárius pályájú (~ 36 000 km), és sark közeli pályájú műholdakról (~ 600-1000 km) beszélünk. Fontos elkülöníteni a rendeltetésük szerint különböző műholdakat: a földfelszín megfigyelésére vagy katonai felderítésre (összefoglaló elnevezéssel távérzékelési célból) készített műholdakon kívül számos más kategória létezik még (földi helymeghatározást segítő rendszerek, távközlési műholdak, meteorológiai műholdak, stb.)

19.1 Passzív távérzékelő szenzorok a világűrben

Az űrből készített felvételeket (épp úgy, mint a légifelvételeket) rengeteg torzító, és a kiértékelési lehetőségeket károsan befolyásoló hatás terheli. Ilyen a felvételt készítő rendszer elrajzolásaiból (pl. lencsetorzítás, kameratest tökéletlensége, szenzor korlátai) adódó torzítás, a hordozóeszköz állásából adódó, a felszínre merőleges állástól való eltérés, és az érzékelő és a megfigyelt felszín közötti közeg káros hatásai.

Éppen az utóbbi okozza a legtöbb nehézséget az űrtávérzékelés esetében. A műholdról készülő optikai felvételek felbontása és képminősége korlátozott.

A topográfiai célú légi és űrfelvételek felbontását terepi felbontásban adjuk meg. Ez az érték azt fejezi ki, hogy milyen szélességű terepi folt képződik le egy pixelen. Műholdról fizikai-optikai okokból maximum 10-20 cm terepi felbontás érhető el. Hogy pontosan mekkora arról a tudósok is vitatkoznak. Bár a legnagyobb felbontású kémműholdak felvételei nem publikusak, következtetni tudunk erre, hiszen elméletileg „tökéletesen alkalmas” időjárás és légköri viszonyok esetén sem készíthető ennél nagyobb terepi felbontású űrfotó még speciális optikai rendszerekkel sem. Az eddig nyilvánosságra hozott adatok is ezt támasztják alá.

Ezek az extrém nagyfelbontású, civil szférában megfizethetetlen kémműholdak fekete-fehér, pankromatikus felvételek esetében produkálják ezt az extrém nagy felbontást, és csak akkor, ha kisebb területre fókuszálják őket. Ezért inkább az elérhető, polgári műholdak felvételeit használjuk a közigazgatási, természetvédelmi, klímakutatási feladatok esetében.

Jelenleg a WorldView-3 a legnagyobb felbontású polgári műhold. 31 cm terepi felbontású pánkromatikus (fekete-fehér), 124 cm terepi felbontású színes és közeli infravörös, 370 cm terepi felbontású rövidhullámú

infravörös felvételeket készít több, mint 600 km magasságból, amennyiben az időjárási körülmények lehetővé teszik.

A GeoEye követi a sorban, színes szenzorának felbontása 165 cm (ekkora egy pixel terepi átmérője a műhold alatti felszínrészen). Ez a műhold 681 000 m magasságból fényképezi a földfelszínt, színes és közeli infravörös tartományokban. Pankromatikus (fekete-fehér) felvételek is készülnek, amelyek a középpontban 41 cm terepi felbontásúak. A WorldView-2 követi a felbontási rangsorban, amelynek 2009-óta elérhetőek a középpontban 45 cm, a széleken (a torzítás miatt) 52 cm terepi felbontású pankromatikus, és 185 cm terepi felbontású színes és infravörös felvételei. A WorldView-1 nagyjából fél méteres, míg a QuickBird a képközéppontban 61 cm, a széleken 72 cm terepi felbontással rendelkezik. A legnagyobb felbontású Spot műhold csupán 1500 cm terepi felbontással bír. A színes felvételek természetesen rávetíthetőek a nagyobb felbontású fekete-fehérekre, így nagyfelbontású, színesen szemlélhető képeket nyerhetünk. Az igazsághoz azonban hozzá tartozik, hogy az így generált színes felvételek nem tartalmaznak annyi információt a földfelszínről, mintha valóban ilyen felbontással készültek volna. A tudomány számára gyakorlatilag nem jelentenek többet, mint a másfél méteres terepi felbontású változat pankromatikus felvételekkel történő közös elemzését.

Űrfelvételekre mindig szükségünk lesz a gazdasági, közigazgatási, környezetvédelmi stratégiai döntések elősegítéséhez, a nyersanyagkutatásban és egyéb területeken, ugyanis légi felméréssel lehetetlen volna ilyen gyorsan, nagy kiterjedésű területről információkat szerezni. Jó példa erre a japán földrengés, amikor a katasztrófa által érintett terület nagysága, és az ország néhány fontos repülőterének állapota megkérdőjelezhetetlenül műholdas megoldást követelt. Az űrtávérzékelés szintén nélkülözhetetlen az esőerdők fogyatkozásának felmérése. A helyszíni és országos légi felmérések kiértékelési eredményei helyi érdekek által befolyásolhatóak. Ráadásul a különböző erdőrezervátumokban alkalmazott eltérő megfigyelési módszerek statisztikailag nehezen összehasonlíthatóak. Ez esetben a gyorsan, azonos szenzorral, a teljes erdőséget közel azonos időszakban feltérképező műholdas megoldás bizonyult a legpontosabb és legmegbízhatóbb módszernek. Az ismételt felmérés rendkívül pontos változáselemzést tesz lehetővé nem csak az erdőségek, de a sarkvidékek jégtakarójának vizsgálatakor is. Számtalan érvet sorolhatnánk fel a műholdak nagy területeket pásztázó felmérési lehetőségei mellett, és gyakorlatilag kisebb felbontásban elvégezhetőek a légi felmérésekkel kapcsolatban említett spektrális elemzések, így más léptékű folyamatokat, például nagykiterjedésű szennyezéseket deríthetünk fel.

19.2 Radar távérzékelés a világűrből

Az ember vizuális lény, legfontosabb érzékelési módja a látás. Talán éppen ezért, azokat a dolgokat a legnehezebb ismertetni, amelyek láthatatlanul mennek végbe. A radarberendezéssel történő „fényképezés" olyan elektromágneses hullámok segítségével alkot képet objektumokról, amelyek az ember számára nem érzékelhetőek. A mikrohullám segítségével történő leképzés könnyebb megismerése érdekében tekintsük át leegyszerűsítve a hagyományos digitális fényképezés alapját.

A digitális képrögzítés és tárolás

A legelterjedtebb színes digitális képrögzítési eljárásban a képérzékelő elemi részeiből legalább három féle található az érzékelőlapon: az egyik a vörösre, a másik a zöldre, a harmadik pedig a kékre van érzékenyítve. Az elemi képpont ezekből épül fel, ebből a három színből kikeverve az adott pixel színét. Mivel a három részadat három különböző ponton képződött le (legyenek azok szorosan egymás közelében, vagy egymás alatt), az elektromos jelet digitális jellé alakító rendszer is külön kezeli őket, sőt a számítógépünkön is három különböző csatornán tárolódnak el.

A számítógépünk monitora adott képterület színárnyalatát ugyancsak a három csatornán eltárolt színértékekből keveri ki, így a kommersz képmegjelenítő szoftverek többségét a három csatornás, csatornánként 8 bites (együttesen 24 bit) képek kezelésére dolgozták ki. Az adott pixelekhez tehát három fényerőértékeket tároló csatorna adatait rendelik a szoftverek, ami színes kép esetében vörös, zöld és kék csatornát, fekete fehér kép esetében egy szürkeárnyalatos csatornát jelent. A szürkeárnyalatos képek minden képpontja fényerőértékkel rendelkezik, amely 0-tól (fekete) 255-ig (fehér) terjedhet. (16 és 32 bites képeken a színárnyalatok száma jelentősen nagyobb, mint a 8 bites képeken.) Bár a fekete-fehér kép teljes egészében eltárolható egyetlen csatornán, vannak olyan képmegjelenítő szoftverek, amelyek kizárólag a három csatornás képeket képesek értelmezni, ezért sokszor RGB színmódban, három csatornán tárolják őket, ahol mind a három csatorna azonos, szürkeárnyalatos fényerőértékeket hordoz. Ez természetesen felesleges tároló helykapacitás foglaláshoz vezet, de nagyobb kompatibilitást biztosít.

A RADARról általában

Ahogyan a fényképezőgép, a radarberendezés is a tárgyakról visszaverődő elektromágneses hullámokat érzékeli, de amíg a digitális fényképezőgép az elektromágneses hullámok 400 – ~800 nm hullámhosszúságú tartományát (fény) alakítja elektromos jellé, majd digitális adattá, addig a radar az elektromágneses hullámok milliméretől méterekig terjedő hullámhosszúság tartományát érzékeli. Ezen belül legtöbb esetben a mikrohullámot (300 μm – 30 cm) és a rövidhullámot (1 m - 10 m) használja. Ahogyan gyenge megvilágításnál a fényképezőgépnek is segédfényre van szüksége (vaku, reflektorok vagy természetes fényt fókuszálós eszközök), a radarberendezésnek is szüksége van erős jól detektálható mikrohullámokra. Vannak ugyan olyan szituációk, amikor a természetes forrásból származó mikrohullámokat detektáljuk és értelmezzük, de a legtöbb esetben egy jól meghatározott forrásból, a detektorral azonos platformra erősített jeladóról kibocsátott (mesterségesen generált) hullámoknak a célfelületről visszaverődő hányadát érzékeljük. A radar esetében a jel visszaverődési ideje, polarizációja, hullámhosszúsága hordozza az adott pontra jellemző információt, tehát mindazt, ami a színes felvételek esetében az R, G, és B komponens fénysűrűsége. Tehát a radar által rögzített adatfolyam is képpé alakítható.

Ahogyan a légi fényképből is lehet térképi fényképet (ortofotót) készíteni, a radarkép is georeferálható, térképpé alakítható. Tekintsük át, hogy ezek a radartérképek milyen információkat hordozhatnak a felszínről.

DEM (Digital Elevation Model)**: a felszín háromdimenziós modellje**

A háromdimenziós modell akkor állítható elő a radar felvételekből, amennyiben például ismert a jeladó és a detektor pozíciója, a jelvisszatérés ideje. A visszatérési idő a radarberendezést hordozó jármű, vagy műhold mozgásának, helyzetének ismeretében távolsággá számítható át. Az adott pont távolsága földrajzi térré számítható át, és mivel a jelkibocsátás sokszoros és folyamatos, nagy területek pásztázhatók végig, létrehozva egy pontfelhőt. A pontfelhő koordinátáinak kinyerésével reprodukálható a háromdimenziós tér, de az eredmény pontossága és részletessége erősen összefügg a műszer és a vizsgált felület távolságával, a kibocsátott energiával, a detektor minőségével és a zavaró, zajképző tényezők előfordulásával. A leképződő adatok egy felületen értelmezhetőek, így ebben az esetben is képpé alakíthatjuk az eredményt. A kép minden pixele egy magassági adatot tartalmaz. A fájl az egy csatornás fekete-fehér fényképhez hasonló, de itt a fényerősség helyett tengerszint feletti magasságértékek tárolódnak. Szoftverkörnyezettől függ, hogy a sötét a mély és a világos a magas értékeket tartalmazó árnyalat, vagy fordítva.

Mivel egy pixel csak adott mennyiségű értéket vehet fel, a domborzat leírásának részletességét eleve meghatározza a bitmélység és a legalacsonyabb és legmagasabb pont különbsége, úgy, ahogyan a hagyományos fényképek esetében a színárnyalatok részletességét is meghatározza az árnyalatterjedelem.

Ahhoz, hogy minél nagyobb területről gyűjtsenek információt a műholdak és repülőgépek fedélzetén elhelyezett berendezésekkel, célszerűen nem lefelé, hanem lefelé-oldalra tekintő radarokat alkalmaznak, ráadásul szintetikusan növelt antennával (SAR) a jobb felbontás érdekében. A háromdimenziós modell kinyerést a radar távérzékelés esetében célszerű legalább két ellentétes, vagy közel ellentétes irányból elvégezni, a radarárnyék-hatás csökkentése érdekében. A radar árnyék tulajdonképpen olyan fekete foltokat jelent a felvételen, amelyeket a hegycsúcsok és kimagasló objektumok kitakartak. Ezeknek a területeknek az adattal történő feltöltése a felmérés ellentétes irányból történő elvégzésével lehetséges.

SAR interferometria (InSAR)

Az oldalra tekintő apertúrájú radarok nem csupán a felületek háromdimenziós feltérképezésére alkalmasak. Segítségükkel a felületek anyagminőségi, víztelítettségi és anyagszerkezeti jellemzői is becsülhetőek.

A radar interferometria a visszatérő jelek fáziseltéréseit vizsgálja, úgy, hogy a műhold és földfelszín között érvényes, hullámhosszak egész számú eltolódásai nem ismertek, de az extra frakció rendkívül pontosan mérhető. A nyers adat nem használható, mert a pixelek értékei nem fejezik ki a számunkra érdekes felszíni információkat, mivel nagyon sok hatással terhetek. Az interferogram két vagy több (közel azonos pozícióból készült) radarfelvétel közös elemzésével készül, kiküszöbölve egyes káros hatásokat. A legfontosabb pixel értékeket befolyásoló tényező a felszín okozta fáziseltolódás. Ez a felszín anyagi tulajdonságaitól is függ, így hasznos információt hordoz a számunkra. Fontos elkészíteni a domborzatmodellt, hogy kivonhassuk a domborzatkülönbség okozta hatásokat a felszíni anyagminőség vizsgálatakor. Ha a magasság és a topográfia ismert, a topográfiai fázishozzájárulás kiszámítható és kivonható a vizsgálati eredményből. Ha a reflexiók, az orbitális különbségek (bázistávolság torzulás, azaz a felvételezés helyének változása) és a magassági különbségek okozta adattorzulásokat eltávolítottuk, valamint a megmaradt zajt is szűrtük, megkapjuk a felszíni anyagminőségi információkat. Ilyen lehet például a növényzeti borítás sűrűsége, a talaj nedvességtartalma.

Amennyiben több felvételt komplex módon, közösen elemzünk, subpixeles pontossággal (pixel méreténél is pontosabban) kell georeferálnunk őket, különben az elcsúszott pixelértékekből fals információk kerülnek kiszámításra. Amennyiben nagy időkülönbséggel készül a két radar felvétel, a felület megváltozása (például a növényzet növekedése, vagy eltűnése) okozhat olyan különbségeket, amelyek subpixeles pontosság dacára is zajt generálnak. Az elemzést tehát nagyon körültekintően kell elvégezni, minden tényezőt figyelembe kell venni, különben fals információkból vonnánk le következtetéseket.

SAR polarimetria

A polarimetria a különböző polarizációjú transzverzális hullámokkal vizsgálja a felszínt. A különböző anyagok különböző intenzitással tükrözik a radar hullámokat. Gyakran három különböző polarizációjú jelet küldenek ki TX RX-(HH-pol, VV-pol, VH-Pol) amelyeket, mint a három színes csatornát alkalmaznak a szintetizált felvételnél. Ezt úgy kell elképzelni, mint a színes fénykép esetében az R,G,B csatornák, csak itt az egyes csatornákon nem a vörös, a zöld és a kék színösszetevőket tárolják, hanem a felszínről visszaverődött különböző polarizáltságú mikrohullámú jeleket. A három csatornából kikevert színárnyalatok értelmezése az ismert anyagok tesztelésével alakul, empirikus jellegű. Ezek a mérések különösen jól elkülönítik és ezáltal térképezhetővé teszik a tengeri olajszennyezéseket. A két különböző felvétel közös elemzésével kidolgozott eredmény esetében problémát okozhatnak mozgásban lévő járművek, föld alatti üregek és speciális felületek.

A jelenleg elérhető SAR műholdak fontosabb adatait a 2. táblázat tartalmazza.

Műhold	Felbontás	Maximális pászta szélesség	Maximális pásztahossz	Archívumban elérhető	Visszatérési idő
TerraSAR-X	1 m	5 km	5 km	2007-óta	4,5 nap
TerraSAR-X	2 m	10 km	10 km	2007-óta	4,5 nap
TerraSAR-X	3 m	30 km	50 km	2007-óta	4,5 nap
TerraSAR-X	18 m	100 km	150 km	2007-óta	4,5 nap
RADARSAT-2	3 m	20 km		2007-óta	24 nap
RADARSAT-2	11 x 9 m	50 km		2007-óta	24 nap
RADARSAT-2	25 x 28 m	25 km		2007-óta	24 nap
RADARSAT-2	25 x 28 m	100 km		2007-óta	24 nap
RADARSAT-2	50 x 50 m	300 km		2007-óta	24 nap
Envisat ASAR	30 - 150 m	58 - 110 km		2002-2012	35 nap
Envisat ASAR	150 m	405 m		2002-2012	35 nap
RISAT-1	1 m	3 km		2012-óta	12-25 nap
RISAT-1	50 m	240 km		2012-óta	12-25 nap
SAR-Lupe	0,5 m	5,5 km		2008-óta	10 óra
SAR-Lupe	1 m	8 km	60 km	2008-óta	10 óra
COSMO-SkyMed	1 m	10 km	10 km	2010-óta	16 nap
COSMO-SkyMed	3-5 m	40 km		2010-óta	16 nap
COSMO-SkyMed	15 m	30 km		2010-óta	16 nap
COSMO-SkyMed	30 m	100 km		2010-óta	16 nap
COSMO-SkyMed	100 m	200 km		2010-óta	16 nap
TecSAR	1 m			2008-óta	36 nap
TecSAR	20 m	100 km		2008-óta	36 nap
SRTM	90 m	Globális lefedettség	Egyszeri	2000 február (11 nap alatt)	Lezárult globális felmérés
JERS-1	18 m	75 km		1998-2001	44 nap
ERS-2	26 x 30 m	100 km		1995-óta	35 nap
Sentinel 1	5 × 20 m	250 km		2014 végétől	6 nap
Sentinel 1	5 m	20 km	20 km	2015 végétől	6 nap
Sentinel 1	20 x 40 m	400 km		2016 végétől	6 nap
CryoSat-2	250 m 5 km			2010-től	369 nap

2. táblázat Az ismert oldalra tekintő apertúrájú radarral szerelt műholdak adatai

Alternatív módszerek

A magassági adatok megszerzésére az ismertetett időeltolódás mérésén alapján működő módszert kidolgozták fényre is. A LiDAR (Light Detection and Ranging) a mikrohullám helyett fény kibocsátáson és detektáláson alapul. A lézerrel megvilágított felületről visszaverődő fényt detektálja a szenzor. A felvételeket magasságmérésre, kontúrtérképezésre, felület illetve domborzatmodell kinyerésre használják, elsősorban a geomatikai, régészeti, földrajzi, geológiai, geomorfológiai, szeizmológiai, erdészeti, légköri fizikai távérzékelési vizsgálatok során, de rendőrségi helyszínelések alkalmával is szoktak ilyen módszerrel háromdimenziós képet készíteni a tetthelyekről.

Veszélyes-e a radar távérzékelés

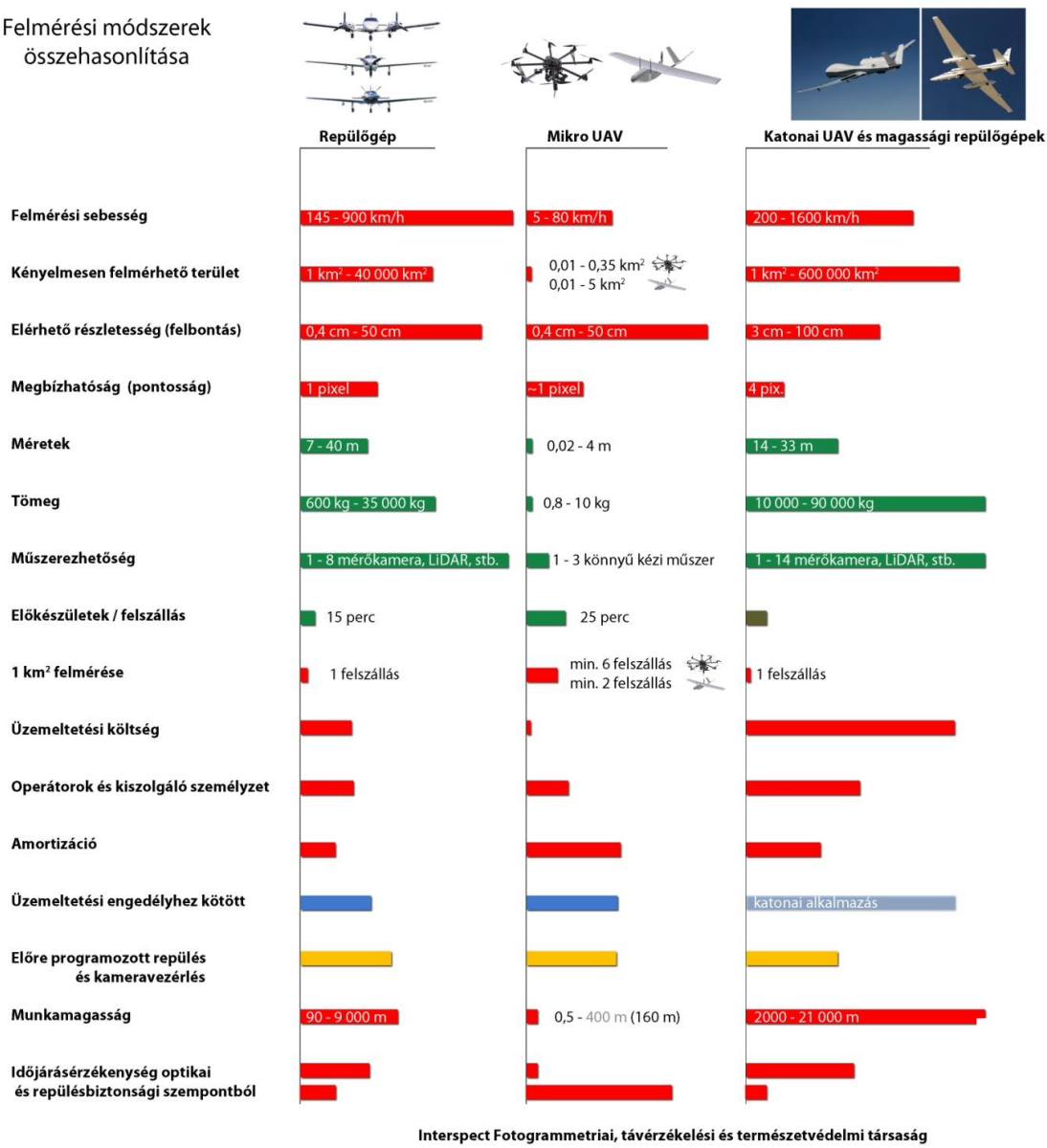
A nagy energiájú mikrohullám kibocsátás veszélyeire már a második világháború idején felhívták a figyelmet. A radar feltalálása is egy olyan fegyver kikísérletezésének köszönhető, amely mikro- és rádióhullámmal ölte volna meg az ellenséget a tankokban és repülőgépekben, anélkül, hogy kárt tett volna a hadizsákmányban. A fegyver nem készült el, de az ellenséges objektumok észlelésére létrejött a radarberendezés. A vadászgépek fedélzeti (repülőgép befogó) radarberendezéseinek földön történő aktiválása szigorúan tilos, mivel komoly károsodást okoz az emberi szervezetben. Amikor ilyen eset mégis előfordult, a repülőtéren a nyulak és a kisebb rágcsálók tömeges elhullását figyelték meg. Számos kutatási program foglalkozik a földmegfigyelő radarok hatásaival. Ezeket összefoglalva, felmérés a távolság és a kibocsátott energia függvényében fejti ki hatását a környezetre. A kis- és közepes magasságú radarfelmérések engedélyeztetése során a terhelés megengedett mértékét meghatározzák, míg az űreszközök terhelése vita tárgyát képezi. Az elérhető tudásanyag általában csak a polgári földmegfigyelő műholdakra telepített berendezésekkel foglalkozik.

20. A különböző távérzékelési platformok összehasonlítása

A távérzékelési eljárásokra használt berendezések telepíthetőek űrállomásra, műholdra, repülőgépre, helikopterre, nagy és kisméretű pilóta nélküli repülőeszközre, de számos kézi és állványról üzemeltethető műszer is létezik. A tárgytávolság, jelen esetben a munkamagasság határozza meg, hogy mekkora területet láthatunk be egy adott műszerrel. A felbontás a távolság növekedésével csökken, ezért a munkamagasság növekedésével egyre nagyobb felbontású érzékelőket alkalmazunk. Általánosan elmondható, hogy az űrtávérzékelés a nagy területeket egységes elvek mentén átfogó vizsgálatokra alkalmas, tehát a kis és közepes léptékű távérzékelési feladatokra alkalmazzák az így előállított felvételek nagy részét. A repülőgépes távérzékelés a gyors országos és megyei szintű adatgyűjtést segíti elő. A helikoptereket speciális kísérletek során vetik be. A nagyméretű pilóta nélküli eszközöket leginkább katonai felderítésre tervezik, míg a mikro UAS, azaz kisméretű pilóta nélküli szerkezetek kis területek részletes felmérésére javasolhatóak. Mindezt az 3. táblázat részletezi.

Az elérhető pontosság

Általános érvénnyel kijelenthető, hogy statikus mérőállomásokról nagyobb felmérési pontosság érhető el, mint mozgó járműre telepített berendezéssel, és a távolság növekedésével is nő a bizonytalanság. A terepi mérések pontossága milliméterekben mérhető. A gépkocsira rögzített lézerszkennerek és fotométerek pontossága 30 méteres távolságtól már a centiméteres tartománnyal jellemezhető. A repülőgépekre és helikopterekre telepített mérőberendezések pontossága a felmérés részletességétől függően elérheti a 4 centimétert is. Előnye, hogy a nehezen megközelíthető helyek és az épületek, fák teteje is feltérképezésre kerül. A kisméretű robotrepülőgépek (mikro UAV) csak kevés esetben tudják felemelni a jó minőségű geodéziai GPS berendezést és antennát. Az ezekkel készített felvételek geometriai feldolgozásának pontossága elsősorban a kamera minőségétől és a kapcsolópont gyűjtés részletességétől függ.



3. táblázat A különböző légi távérzékelési platformok összehasonlítása (Forrás: Interspect Fotogrammetriai és térszkennelési hét 2014.10. 13 - 17)

Fogalomtár és szakszótár

Abszolút repülési magasság A légi jármű tengerszint feletti repülési magassága. (*Absolute altitude*)

Belső tájékozás A kamara képcsomópontjának helyzete a fényképsík három pontjához viszonyítva. A belső tájékozás során meghatározzuk a fényképezőgép belső geometriáját a kép készítésének időpontjára vonatkozóan. Célja a digitális kép pixel koordináta-rendszeréről a térbeli képkoordináta-rendszerre való áttérés transzformációs egyenleteinek megadása. (*Interior orientation*)

Dőlt kameratengelyű légifelvétel A repülő platformról ferdén, oldalra lefelé készített, a tájat perspektivikusan ábrázoló légifotó. (*Oblique aerial image*)

Elektromágneses spektrum Az elektromágneses sugárzás egymásra merőlegesen haladó, oszcilláló elektromos és mágneses tér, mely hullám formájában terjed, energiát és impulzust szállítva. Kvantuma a foton, hullámhossz (vagy frekvencia) szerinti elrendezésével kapjuk az elektromágneses spektrumot. (*Electromagnetic spectrum*)

Fotogrammetria Önálló tudományterület, amely speciális műszaki fényképről vett méretekből meghatározza a valós tárgyak kiterjedéseit és elhelyezkedését. Fényképfelvételek geometriai helyreállításával, megfelelő vetületbe illesztésével operál. A fényképek segítségével történő térképezés és a geometriailag pontos távérzékelés alapja, a modern topográfiai térképezés egyik alapeleme. Napjainkban a legtöbb terepi felmérés alapját mérőkamerás légifelvételekből készített sztereo fotogrammetriai kiértékelés adja. A légi fotogrammetria a földfelszínrészletekről készülő speciális légifelvételeket használja. Az űrfotogrammetria műholdfelvételekkel dolgozik, míg a terepi (földi) fotogrammetria során például épületek homlokzatát mérik fel, kisebb felületeket modelleznek. (*Photogrammetry*)

Fotómozaik Több fényképpel lefedett terület felvételeinek összeillesztéséből, összeolvasztásából előálló egységes képi világú állomány. Az analóg fotómozaikokat azonos méretarányra nagyított légifotókból ragasztották össze, teljes alávágással „láthatatlanná téve" a felvételek széleit. A XX. században divatos technológiánál olyan tökéletes illesztési technikával készítették a fényképeket, hogy még tapintással is

nehéz megtalálni az egyes felvételek szélét. Általában a megvilágítás különbségek és árnyalatbeli eltérések, valamint a vignettáció árulhatta el a felhasznált alapképek határait. Az ezredforduló óta széles körben elterjedtek a digitális fotómozaikok. Jó minőségű digitális fotómozaikok esetében nem észlelhetőek az egyes felvételek határai, egységes légifotó-térképről beszélünk. (*Photo mosaic, image mosaic*)

Külső tájékozási adatok A fényképezőgép fényképezés pillanatában értelmezett térbeli helyzete. A fényképezési hely három összrendezője és a kamerairány vetületének irányszöge és hajlása, valamint a kamera elfordulása fejezi ki. (*Exterior orientation*)

Látószög A látószög határozza meg, hogya dott repülési magasságon mekkora térszínt lát be a kamera. A látószög és a repülési magasság összehangolásával kell elérni, hogy a légifotó optimális méretarányú, felbontású, területfedésű legyen.

Légifelvételek felhasználhatóságát befolyásoló tényezők Az időjárás, a légkör állapota (páratartalom, szennyezettség), a tárgytávolság (relatív repülési magasság), a napszak, az évszak, a kamera típusa, a felhasznált film vagy a szenzor tulajdonságai, a függőleges tengelytől való eltérés, az optika torzításai, és a kamerarendszer tisztasága, kalibráltsága és a képfeldolgozás módszere határozzák meg az egyes képkockák minőségét. (*Quality factors*)

Madártávlati ortofotó-térkép A munkaterületet felülről – oldalról, a repülő madár nézőpontjából ábrázoló felvételeket is el lehet készíteni egymást részben átfedő sorozatban, és ezeket a képeket is térképi vetületbe lehet illeszteni. Az ilyen könnyen befogadható ábrázolásmóddal inkább marketing célú kiadványokban, könyvekben és útikalaúzokban találkozhatunk, de valószínűleg hamarosan ez lesz az általános megjelenítő felülete a GPS készülékeknek is. A technológiát az internetes térképek nagy sikerrel alkalmazzák. (*Bird's-eye view)*

Megvilágítási idő Expozíciós idő. Az az időszak, ameddig a fényérzékeny anyagot vagy fényérzékelő szenzort megvilágítás éri a leképzés érdekében. Az expozíciós idő pontos beállításáért általában a zárszerkezet és annak vezérlése felelős.

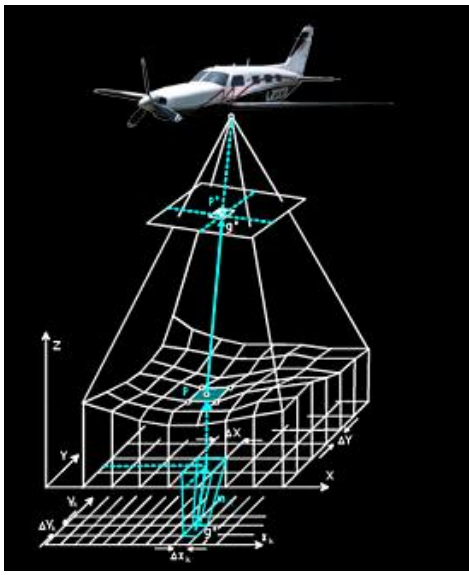
Merevszárnyú repülőgép Levegőnél nehezebb olyan közlekedési eszköz, mely az atmoszférában halad, merev felületei és a levegő reakcióerejéből keletkező felhajtóerő segítségével a repülési magasság és irány megváltoztatására, illetve megtartására képes motor vagy hajtómű

segítségével. A motor nélküli merev szárnyú repülőgépek (vitorlázó repülőgép) esetében a magasság megtartása vagy növelése csak emelkedő légáramlat (termik, vagy ún. lejtőszél) segítségével lehetséges, de az ilyen járművek ennek hiányában is képesek a kontrollált repülésre és jelentős távolság megtételére, ám térképészeti repülésre a magasság és iránytartás nehézségei miatt nem alkalmasak. Nem merevszárnyú repülőgép a forgószárnyas légi jármű (helikopter) és a sárkányrepülőgép, illetve a paplanernyő sem.

Mérőkamera Olyan kalibrált, minimális geometriai elrajzolású, a film vagy képérzékelő szenzor precíz síkba fektetését biztosító kamerarendszer, ahol az elrajzolás függvényeinek ismeretében az elrajzolást kompenzáló algoritmussal paraméteresen kiegyenlíthetők az egyes felvételekre azonosan jellemző elrajzolási hibák. A nem paraméteres hibák (amelyek felvételenként változnak) csökkentéséről a kameratengelyt beállító berendezés, és a kamerát az expozíció pillanatában, a hordozóeszköz mozgási sebességével, a haladással ellentétes irányban elmozdító berendezés és/vagy digitalis képstabilizátor gondoskodik. Az elrajzolási hibákat tovább csökkenti az így készült felvételek feldolgozása, aminek célja azok fotó-térképpé, vagy ortofotó-térképpé alakítása. (*Aerial camera*)

Multispektrális légifelvételek A multispektrális szó arra utal, hogy a távérzékelt felvétel 4, vagy annál több csatornából épül fel, amelyek az elektromágneses spektrum különböző tartományából tartalmaznak adatokat ugyanarról a felszínről, ugyanabból az időpillanatból. A digitális multispektrális és hiperspektrális felvételekkel szemben támasztott legalapvetőbb követelmény, hogy a különböző frekvenciájú elektromágneses hullámokra érzékenyített szenzorok adott pixelei egymással fedésbe kerüljenek. A felvételek kiértékelése ugyanis a különböző csatornákon mért értékek egybevetésével történik, így rendkívül fontos, hogy a felvételek geometriai és spektrális értelemben is pontosak legyenek, aminek a kifinomult kamera - optika rendszerek, és a kalibráció teremti meg az alapját. A multispektrális légifelvétel-térkép a multispektrális ortofotók mozaikolásával összeállított nagyrészletességű térkép. (*Multispectral images*)

Ortofotó Ortofotó készítésénél a kalibrált mérőkamera paraméteres elrajzolásait kompenzáló függvény szerint, a külső és belső tájékozási adatok, kapcsolópontok, és a domborzati viszonyok figyelembe vételével történik a légifelvételek újramintavételezése. Ezzel a módszerrel a kamerarendszer elrajzolásaiból, kameratengely ferdeségéből, és a terep magasság különbségeiből adódó torzulások is megszűnnek. Ehhez háromdimenziós terepmodell szükséges, ami a légifelvételek átfedő részeiből előállított modellből (sztereo fotó kiértékeléssel) vagy meglévő topográfiai térképek digitalizálásával, esetleg RADAR vagy lézerszkenner segítségével nyerhető. Az ortofotó tehát minden domborzati viszony mellett nagy pontosságú alaptérkép, természetesen csak vízszintes értelemben (a domborzatot nem ábrázolja, bár a z irányú magassági információ is hozzárendelhető az egyes pixelekhez, az x és y koordináta értékeken túl).



Az elnevezés az ortogonális vetítésre utal, amely a felszínen értelmezett, tehát az objektumok talppontja pontosan a helyükre kerülnek, míg a kimagasló objektumok (magas fák és épületek, tornyok) az eredendően centrális vetítéssel készülő alapképek miatt a nadírtól távolodva, attól kifelé dőlnek, bár aljuk pontosan a megfelelő helyen található. Ez a perspektív torzulás a nadírtól kifelé és a felszíntől távolodva (a kiugró objektum magasságával) erősödik. Mivel az aljzati rész (talppont, épület esetében alapvonal) geometriai értelemben is a megfelelő helyén van, így az ortofotók elemzésekor, vektorizálásakor az objektumok földfelszínnel érintkező alapvonalát kell a kiértékelési, kataszteri térképre átrajzolni. Amikor egy épületnek csupán két alapvonala látszik (a többit kitakarja a dőlt szögben látszó épület), az a legtöbb esetben geometriailag meghatározza a másik két alapvonal pontos várható elhelyezkedését is. A háztetők, tornyok csúcsai jelentős távolságban találhatóak a valós, felszínre vetített helyüktől. Ezért amikor háztető katasztert, vagy egyéb, az alapvonalon túlnyúló kimagasló objektum pontos vetületét ábrázoló céltérképet készítünk, akkor sűrű képfőpontú, ~ 80% sorirányú átfedéssel rendelkező fotósorozat szükséges. Ebben az esetben csak a felvételek középső, nagyjából merőleges vetítésű területét használjuk föl, így az épületek megközelítőleg felülről látszanak. Fontos megjegyezni, hogy a képszám növekedés megnöveli az előállítási költségeket, és a háztetők szélének pontossága változékonyabb, kisebb lesz, mint a normál ortofotó-térképeken az alapvonalak pontossága. (*Ortho image*)

Ortofotó-térkép Ortofotók mozaikolásával előállított nagypontosságú légifotó-térkép. (*Ortho image map*)

Ortogonális vetítés Párhuzamos (képsíkra derékszögű) sugarakkal történő vetítés. (*Orthogonal projection*)

Ortorektifikáció A kockázó fényképek centrális vetítéssel készülnek. A térkép és a legtöbb alkalmazott vetületi rendszer viszont ortogonális vetülete a földfelszínnek. A centrális (központi) vetítésű képről az ortogonálisra (merőlegesre) való áttérés, az ortorektifikáció vagy képhelyesbítés. A távérzékelt perspektivikus képet perspektív torzulásoktól mentes és domborzati torzulásoktól mentes képpé alakítjuk át egy munkamenetben. Ha az átalakítással párhuzamosan vetületi rendszerbe illesztés is történik, akkor a végeredmény esetében ortofotó-térképről beszélünk.

Perspektív torzulás A centrális vetítésből adódó, a képfőponttól a képek szélei felé erősödő torzulás. (*Perspective distortion*)

Pixel A raszteres adatszerkezet lapvető, kisebb részekre oszthatatlan elemét egy angol eredetű szóval pixelnek nevezzük, amely az angol "picture element" szavakból ered.

Raszter Sorokból és oszlopokból álló adatszerkezet. A területen meghatározott sorrendben szabályos rácson elhelyezkedő cellák vannak, minden cella egy értéket tartalmaz, a rácshálózat az egész teret kitölti és a tér minden pontjáról információt ad. A raszter pixelenkénti radiometrikus információ előjel nélküli bináris formátumban. Legkisebb eleme a pixel. Ezek a cellacsoportok objektumot alkotnak. Minden cella értéke az objektum értékét reprezentálja. (*Raster*)

Relatív repülési magasság A légi járművek terep feletti repülési magassága. Fotogrammetriai szempontból ez a tárgytávolság, azaz a fényképezési magasság. A terepen értelmezett nadírpont távolsága a tárgyfelőli vetítési centrumtól.

Távérzékelés Olyan méréstechnikai módszerek összessége, amelyeknél a vizsgált tárgy (például a földfelszín) megfigyelése úgy történik, hogy a vizsgált objektum és az érzékelő nekm kerül közvetlen fizikai kapcsolatba. A távérzékelés elektromágneses hullámokat vagy hangrezgéseket, tehát valamilyen (adatátvivő) erőteret hív segítségül a felszín vizsgálataihoz. Az ilyen módszerek legnagyobb előnye, hogy a megfigyelt objektum nem sérül, az élőlények természetesen viselkednek, a vizsgálat során az

ökoszisztémát az érzékelő nem befolyásolja. Az érzékelő berendezés, annak hordozója és kezelői közvetlenül nem érintkeznek a megfigyelt veszélyes anyagokkal, nehezen megközelíthető zónákkal. Általában a vizsgálati perióduson belül a teljes munkaterületre vonatkoztatva hasonló minőséggel és megbízhatósággal, objektíven gyűjt minőségi és mennyiségi információkat. Nagykiterjedésű és/vagy nehezen elérhető területeket vizsgálhatunk gyorsan és költséghatékonyan. (*Remote sensing*)

Terepi felbontás Az ortofotó-térképek terepi felbontása azt fejezi ki, hogy hány cm oldalhosszúságú terepi folt képződik le 1 pixelen (elemi képponton). A felvételek részletességét jellemzi. (*Spatial resolution, ground sample distance*)

Terepi pontosság A térképek geometriájának és méretarányának szabatosságát jellemzi. Az adatok mért és elméleti eltérésének a jellemzője. Számszerűen általában a szórással vagy a középhibával adják meg. (*Spatial accuracy, precision*)

Térinformatika A térinformatika a modern téradat nyilvántartás és döntéstámogatás eszköze, amellyel a földrajzi helyhez köthető adatokat tartalmazó többrétegű adatbázisból információk vezethetők le. Olyan számítógépes rendszer, melyet azonos földrajzi helyhez kapcsolódó adatok gyűjtésére, tárolására, kezelésére, elemzésére, a levezetett információk megjelenítésére, a földrajzi jelenségek megfigyelésére, modellezésére dolgoztak ki. Lehetőséget ad nagyszámú helyzeti és leíró adat gyors, együttes, integrált áttekintésére és elemzésére. (***GIS**: Geographical Information System - Földrajzi Információs Rendszer*)

Többcsatornás elemzés Vizuális interpretáció esetén érdemes lehet az egyes csatornák és színes képek (RGB) együttes elemzése, a felszíni információk csatornánkénti összepárosítása. A digitális technika lehetőséget ad arra, hogy a felvételek denzitás (feketedés) értékeiből csatornánként és együttesen is válogatni lehessen. Ezt a szürke-árnyalat szelekciót denzitás-szeletelésnek nevezik. A nem kívánatos árnyalatok leválogatása, vizsgálatból történő kizárása után kiemelik azokat a tulajdonságokat, amelyek alapján a vizsgált objektumok és jelenségek markánsan megkülönböztethetők, lehatárolhatók. A megadott denzitású területek kiterjedése, hosszúsága mérhetővé válik. Ezen kívül különböző minőségi és mennyiségi adatok is levezethetőek a többcsatornás (multispektrális) felvételek térbeli elemzésével. (*Multispectral interpretation*)

UAV A pilóta nélküli repülőgép (angolul Unmanned Aerial Vehicle, UAV, am. „személyzet nélküli légi jármű”.

Felhasznált irodalom

BAKÓ GÁBOR (2010): Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége - Tájökológiai Lapok 8 (3): 1–00 (2010) 507-523 p.

BAKÓ GÁBOR, MOLNÁR ZSOLT (2012): Arcfelismerés az interneten, közterületeken és a levegőből – Képzelet és valóság - Origo 2012. február 29.

BÜTTNER GYÖRGY (2004): Környezetállapot értékelés távérzékelés segítségével, informatikai vonatkozások. Környezetállapot értékelés Program Munkacsoport tanulmányok 2003-2004, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, p.7

LICSKÓ BÉLA (1999): Belvíztérképezés légifelvételek alapján, valamint légifelvételek néhány további térinformatikai hasznosítása - VITUKI Rt. ARGOS Távérzékelési és Filmstúdió

LICSKÓ BÉLA, DITZENDY ARISZTID (2003): Az 1999-2000. évi belvizek légi felmérésének tapasztalatai. Vízügyi közlemények 1998-2001. évi árvízi külön füzetek, II. kötet

SÍKHEGYI – TISZA – UNGER (2001): KÁRMENTESÍTÉSI ÚTMUTATÓ 3 - Útmutató a felszín alatti vizeket és a földtani közeget károsító területhasználatok és szennyező források távérzékelési módszerekkel történő számbavételéhez / Melléklet: http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmutmutato3/karmutm3-m.htm

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is köszönöm Licskó Bélának, az Argos Stúdió vezetőjének és a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutatóintézet Távérzékelési osztályvezetőjének, valamint Büttner Györgynek, a Földmérési és Távérzékelési Intézet Környezetvédelmi Távérzékelési osztályvezetőjének a szakmai segítséget, és a lehetőségeket, amelyeket a kezdetektől fogva biztosítottak a számomra. Köszönöm Szerdahelyi Tibor, Csintalan Zsolt és Nagy János botanikai kísérletekben nyújtott segítségét, valamint Maucha Gergely, Kosztra Barbara, Pataki Róbert és Petrik Ottó tanácsait és segítségét az objektum alapú elemzések elvégzésének beállításában, Síkhegyi Ferencnek, a Magyar Állami Földtani Intézet munkatársának pedig a földtani térképek tematikájában, fellelhetőségében való kalauzolást.

Külön köszönetet mondok Arday András és Lengyel Tamás pilótáknak, Molnár Zsoltnak, Góber Eszternek és Eiselt Zoltánnak, az Interspect kutatócsoport szakembereinek, Kovács Gábornak, az ELTE Geofizikai és Űrtudományi tanszék munkatársának, akik személyesen jelenvoltak a könyvben szereplő felvételek elkészítésekor.

Köszönöm Tózsa Istvánnak a lektori és a könyv kiadásában nyújtott segítségét.

A könyv a fényképezés, a fotogrammetria, a térképészet, a biológia és a környezetmérnöki ismeretek határterületét ismerteti meg az olvasóval, a távérzékelés alapjairól ad átfogó képet. A munkafolyamatok mélyebb megismerését, a technológia szakmai leírását a Tájökológiai lapokban megjelent Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei – A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon, Bakó Gábor, Molnár Zsolt, Góber Eszter, Tájökológiai lapok 12 (2): 285–305. (2014) tartalmazza.

A könyv a távérzékelés és különösen a légifelvételezés iránti elhivatott érdeklődést, a fényképészet technikai alapjainak és a tájgazdálkodás fontosabb elveinek ismeretét tételezi fel a felhasználóról. Amennyiben ez mégsem így lenne az olvasó az ajánlott irodalomban megtalálhatja ezen ismereteket.

Ajánlott irodalom

Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei – A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon, Bakó Gábor, Molnár Zsolt, Góber Eszter, Tájökológiai lapok 12 (2): 285–305. (2014)
http://www.interspect.hu/Tajokologiai_lapok_BG_MZs_GE.pdf

Síkhegyi – Tisza – Unger (2001): **Kármentesítési Útmutató 3 - Útmutató a felszín alatti vizeket és a földtani közeget károsító területhasználatok és szennyező források távérzékelési módszerekkel történő számbavételéhez / Melléklet:**
http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmutmutato3/karmutm3-m.htm

A Földmérési és Távérzékelési Intézet oktatóanyagai:
http://www.fomi.hu/taverzekeles_oktatoanyag/

Tózsa I. (2008:) Vizuális közszolgáltatás - térinformatika és e-government. NKTH - E-Government Alapítvány, Budapest

Nagy Gergő Gábor – Flachner Zsuzsanna (2012): Ökoszisztéma szolgáltatások, avagy az emberi jólét megteremtői
http://www.greenfo.hu/hirek/hirek_item.php?hir=23103/

Juhász E. (1970): Gyakorlati légi-fotometriai útmutató, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

Koren, N. (2009): Ensuring Image Quality, Vision Systems Design, March 1. 2009

Kraus, K. (1998): Fotogrammetria. Tertia kiadó, Budapest

L.1. Szabályzat a mérőkamerás légi-fényképezések megrendelésére, előkészítésére, vizsgálatára és szolgáltatására 1977, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest

IS.1. Szabályzat A kis és középformátumú légifelvétel-térképezés szabályzata

Licskó B. (2002): A Szigetköz digitális felszínborítás-térképeinek elkészítése légi felvételek kiértékelésével. Térinformatika, Budapest 2002/3.

Licskó B. et al: Útmutató a távérzékelési módszerek alkalmazására a meliorációs kiviteli tervezésben. FÖMI, Budapest, 1990.

Licskó B. – Ditzendi A. (2003): Az 1999-2000. évi belvizek légi felmérésének tapasztalatai. Vízügyi közlemények 1998-2001. évi árvízi külön füzetek, II. kötet

Licskó et al (1987): Távérzékelési módszertani útmutató a meliorációs tanulmánytervek készítéséhez, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest

Marek M. (szerk) (1982): Vízgazdálkodási Intézet – Vízügyi Légi-fényképezési Útmutató, Budapest

Mélykúti G. (2007): Fotogrammetria. Jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem

Rádai Ö. (1978): Légifotó-értelmezés a vízügyi gyakorlatban. Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest

Rádai Ö. (1990): Régészek a víz alatt és a levegőben - Gondolat zsebkönyvek, Budapest

Távérzékelési Technológiák és Térinformatika online szakfolyóirat fogalom meghatározásai: www.rsgis.hu

Légi fényképezés a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban

Írta és fényképezte: Bakó Gábor

A fényképekkel és ábrákkal gazdagon illusztrált tankönyv a távérzékelés széleskörű alkalmazásaiból ragad ki egy nagy csokorra valót a gazdálkodás és a közszolgáltatás területeiről, valamint ismerteti a légi felmérések során előállított térképek készítésének menetét. Segíti az így készült ortofotók, fotó-térképek minőségi ellenőrzését, a vizsgálati szempontoknak megfelelő felmérési mód kiválasztását. Átfogó képet ad a műholdas távérzékelés és a robotrepülőgépes felmérések lehetőségeiről, de bevezeti az olvasót a RADAR és LiDAR technológia alapszintű ismereteibe is.

A könyv a szerző több, mint hetven repülőgépes és több, mint húsz távirányítású, vagy előre programozott repülőeszközzel végzett légi felmérésének tapasztalatai alapján készült, amelyekben a repülési terv készítőjeként, mérőkamera kezelőként és a felvételek feldolgozójaként vagy a feldolgozás minőségellenőreként vett részt. Mérőkamera tervezőként repülőgépek felszerelését, alkalmassá tételét is levezényelte, de a légi ortofotók és űrfelvételek vegetációkutatási szempontú kiértékelésével is foglalkozik. Kevesek rendelkeznek ekkora rálátással a munkafolyamatokra, mivel a terület valamennyi munkafolyamatában részt vesz.

A tárgyalt alkalmazási területek: településtervezés, településrendezés, katasztrófavédelem, árvíz és belvízvédekezés illetve az elöntések térképezése, légifényképezés a környezetvédelemben és a természetvédelemi feladatok ellátásához. A felszínborítás változás, mint a táj változásának fontos mutatója (Légi felszínborítás vizsgálatokon alapuló környezetvédelmi és ökológiai monitoring rendszer). További témák: légi felméréssel támogatott talajtérképezés, mezőgazdasági alkalmazások, tájsebek, rekultiváció, vegetáció térképezés, szennyvíz-monitoring, áramlástani vizsgálatok. A könyv kiemelten foglalkozik a légi-régészettel, mint speciális, ugyanakkor igen eredményes felhasználási területtel. Megismertet a turisztikai, idegenforgalmi és marketing célú légi felvételekkel, és bemutatja, hogy az űrfelvételek felhasználása miben különbözik a légi felvételekétől.
Ismerteti a légifénykép térképpé alakítását, és bemutatja hogyan épül egymásra a légi távérzékelés, a fotogrammetria és a térinformatika. Az egyes eljárásokat tárgyaló fejezeteket fogalomtár és szakszótár egészíti ki.

Licskó Béla