FVM
Mezőgazdasági Gépesítési Intézet
2100 Gödöllő
Tessedik Sámuel út 4.
Tel.: (28) 511-622,
(28) 511-628,
Fax.:(28) 420-960

AISA hiperspektrális távérzékelő rendszer ismertetése

Készítették: Deákvári József, Kovács László
FVM MGI

1. Bevezetés

Az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Agrártudományi Egyetem Víz– és Környezetgazdálkodási Tanszék 2006-ban a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program pályázat keretében, EU-s támogatással beszerzett egy SPECIM gyártmányú AISA DUAL hiperspektrális távérzékelő rendszert.

Európa itt épül
EURÓPA TERV
A projekt az EU társfinanszírozásával, az Európa Terv keretében valósul meg.

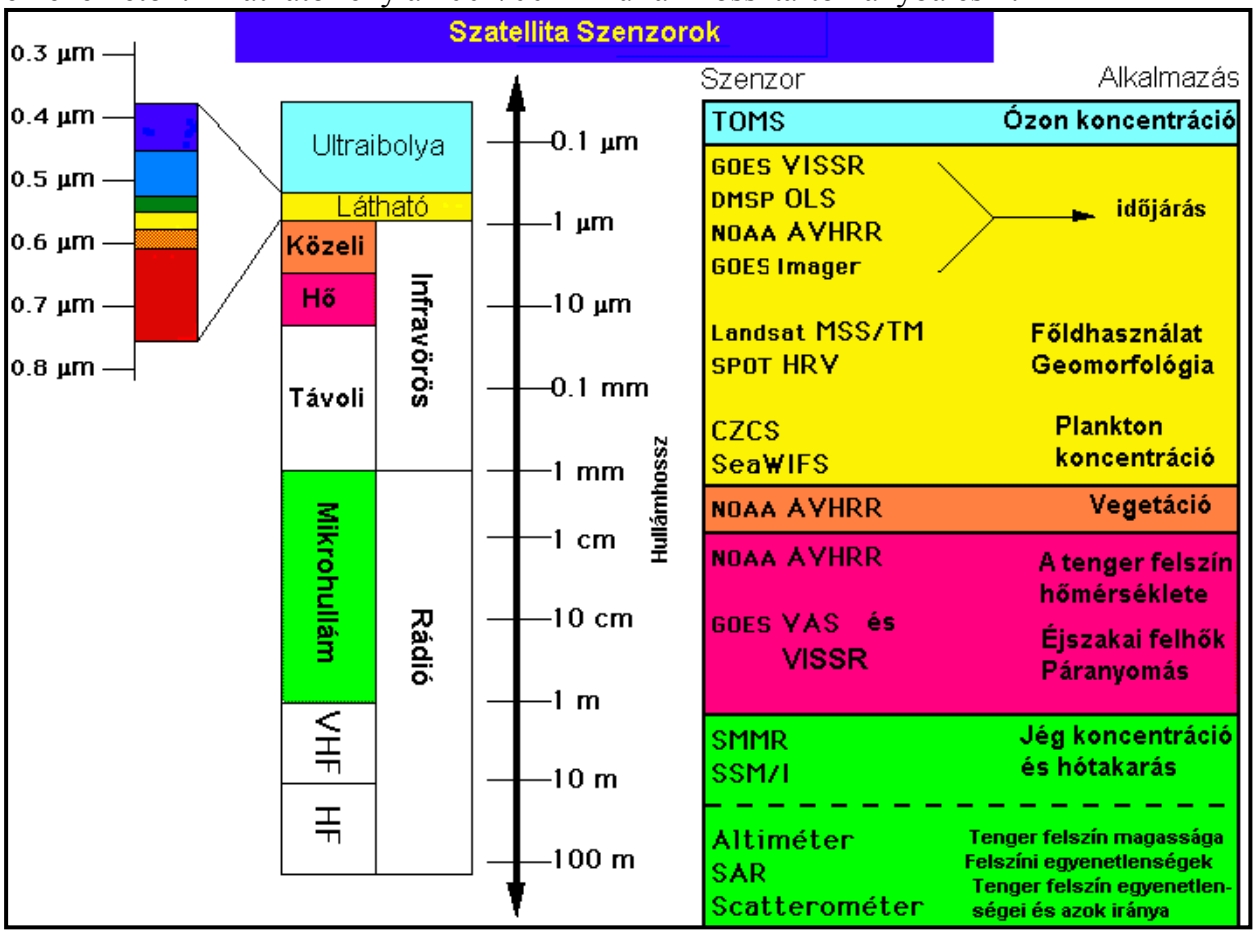
A mérőrendszer egyedülálló csúcstechnológiát képvisel a távérzékelő eszközök között, új lehetőségeket biztosítva a hazai távérzékelés számára.

2. A távérzékelésről röviden

A távérzékelés olyan mérési eljárás, amely a tárgyakról visszavert, vagy a tárgyak által kisugárzott elektromágneses hullámok (EM) érzékelésével, a vizsgált tárgy közvetlen fizikai érintkezése nélkül történik.
A távérzékelés fogalmába beletartozik az adatok feldolgozása és kiértékelése is.

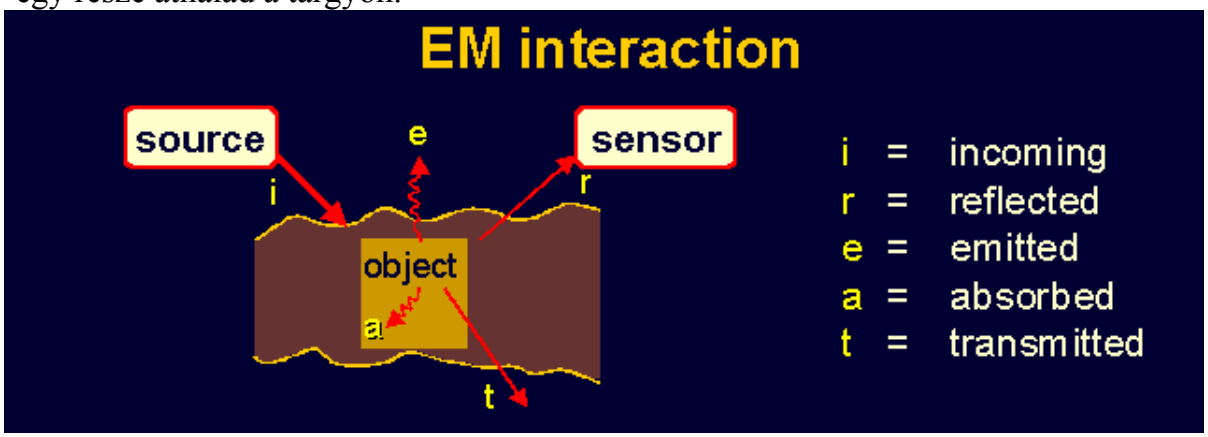
A távérzékelés előnyei:
-nincs közvetlen kapcsolat a mérőeszköz és a vizsgált objektum között,
-megfigyelhetők az emberi szem számára láthatatlan jelenségek is,
-különböző magasságból, tetszőleges időben és kívánt hullámhossz tartományokban készíthetők felvételek,
-nyomon követhetők a jelenségek állapotváltozásai,
-nagy területen homogén mintavételezést tesz lehetővé,
-tervezhető időben és térben.

A távérzékelési eljárásokkal a 400nm-7500nm közötti elektromágneses hullámok érzékelhetők. A látható fény a 400-700nm hullámhossztartományba esik.



1. ábra

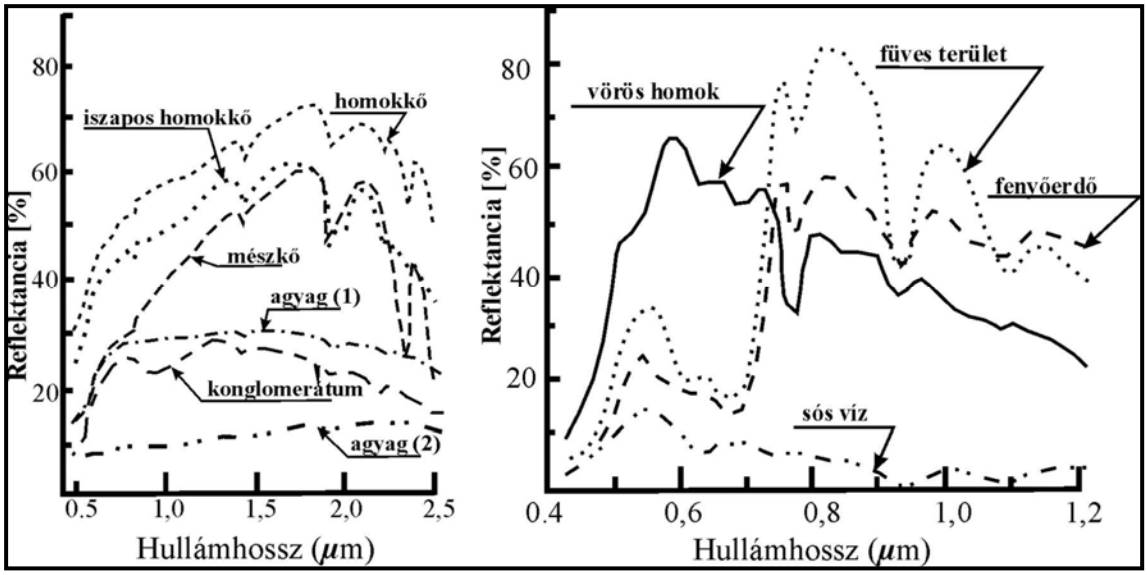
Egy tárgyra érkező elektromágneses hullám:
-egy része visszaverődik,
-egy részét elnyeli a tárgy,
-egy része áthalad a tárgyon.



2. ábra

A távérzékelő eszközök másik nagy csoportja a tárgy által kibocsátott elektromágneses hullámok érzékelésén alapul, ezek a thermokamerák.

A távérzékelési eljárások a tárgyakról visszavert elektromágneses hullámokat érzékelik.
Egy tárgyról visszavert elektromágneses hullámok nagyságának hullámhossz függvényében történő grafikus ábrázolásával a spektrális reflektanciagörbéket kapjuk meg.
A reflektanciagörbe az anyag és a felszín tulajdonságaitól függ, továbbá tájékoztat arról, hogy a tárgy mely hullámhossztartományokban vizsgálható távérzékelési módszerekkel.

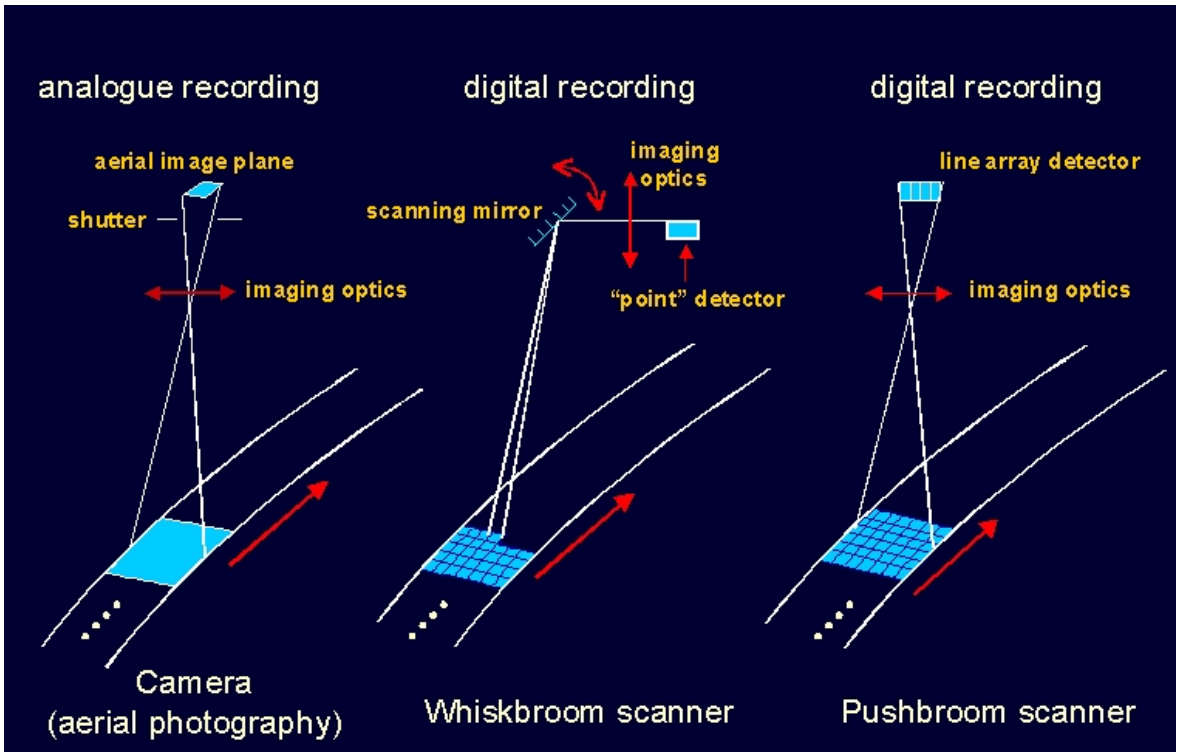


3. ábra

A távérzékelő rendszerek csoportosítása a felhasznált hordozó alapján:
-műholdas távérzékelő rendszerek,
-légi járműre szerelt távérzékelő rendszerek, mely hordozó lehet:
-sárkányrepülő,
-repülőgép,
-hőlégballon.

A távérzékelő rendszerek csoportosítása a detektált elektromágneses hullámhossz sávszélességek és sávszámok alapján:
-multispektrális távérzékelő rendszerek: jellemzőjük 2-20 spektrális sáv érzékelése, sávonként 20-100nm sávszélességgel.
-hiperspektrális távérzékelő rendszerek: jellemzőjük több száz spektrális sáv érzékelése, sávonként 1-10nm sávszélességgel

A távérzékelő rendszerek csoportosítása a detektálás módszere alapján:
-analóg érzékelők
-digitális érzékelők, melyek lehetnek:
-Wiskbroom
-Pushbroom rendszerűek.



4. ábra

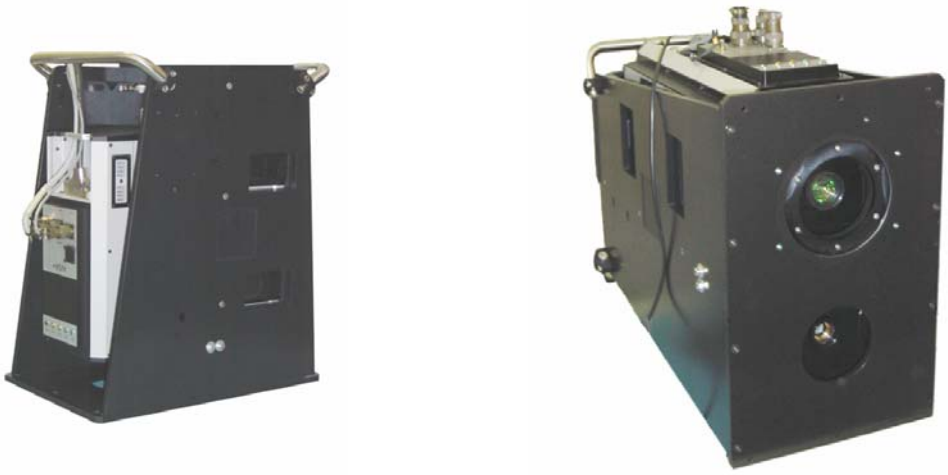
3. A Specim gyártmányú AISA DUAL hiperspektrális távérzékelő rendszer főbb részei

-AISA Eagle szenzor,
-AISA Hawk szenzor,
- C-MIGITS III típusú GPS/INS egység,
-FODIS szenzor,
-Ipari PC,
-Nagy fényerejű monitor,
-Caligeo szoftver,

3.1. A hiperspektrális szenzorok

A rendszer két szenzort tartalmaz, az Eagle és a Hawk érzékelőket. A két szenzort egy házba építették össze, biztosítva, hogy a két szenzor optikai tengelye párhuzamos legyen.

5. ábra



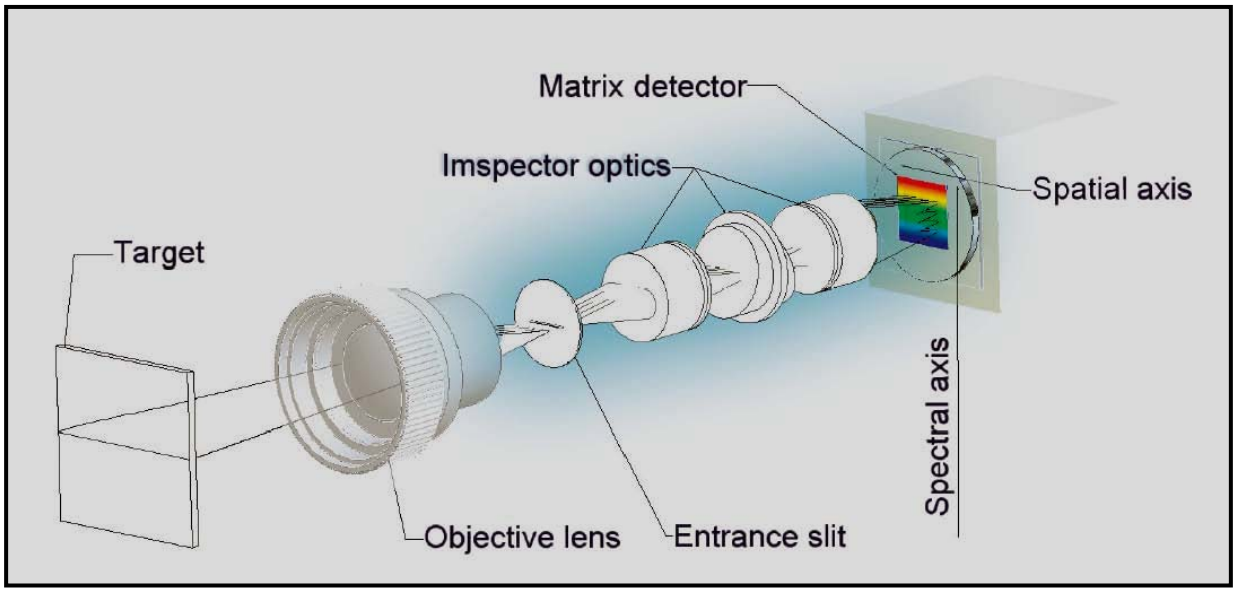
6. ábra

Az egyes szenzorok műszaki jellemzőit a következő táblázat tartalmazza:

	VNIR szenzor (Eagle)	***SWIR szenzor (Hawk)***	***AISA Dual***
Spektrális tartomány	400-970 nm	970-2450 nm	400-2450 nm
Spektrális felbontás (sávok száma)	244	254	498
Spektrális sávszélesség	2,3 nm	5,8 nm	
Spektrális mélység (bit)	12	14	14
Térbeli felbontás(pixel)	1024	320	320
Optika fókusztávolsága	18,5 mm	22,5(vagy14) mm	
FOV	37,7 fok	24 fok	24 fok
IFOV	0,037 fok	0,075 fok	0,075 fok
Mintavételi fekvencia max.	100 kép/s-ig	100 kép/s-ig	100 kép/s-ig

3.1.1. A szenzorok felépítése

A szenzoroknál az elektromágneses hullám az optika, a spektrográf útvonalon halad át, majd a mátrixérzékelő kimenetén az adott hullámhosszú jel intenzitásával arányos elektromos jel kerül a központi számítógépbe.

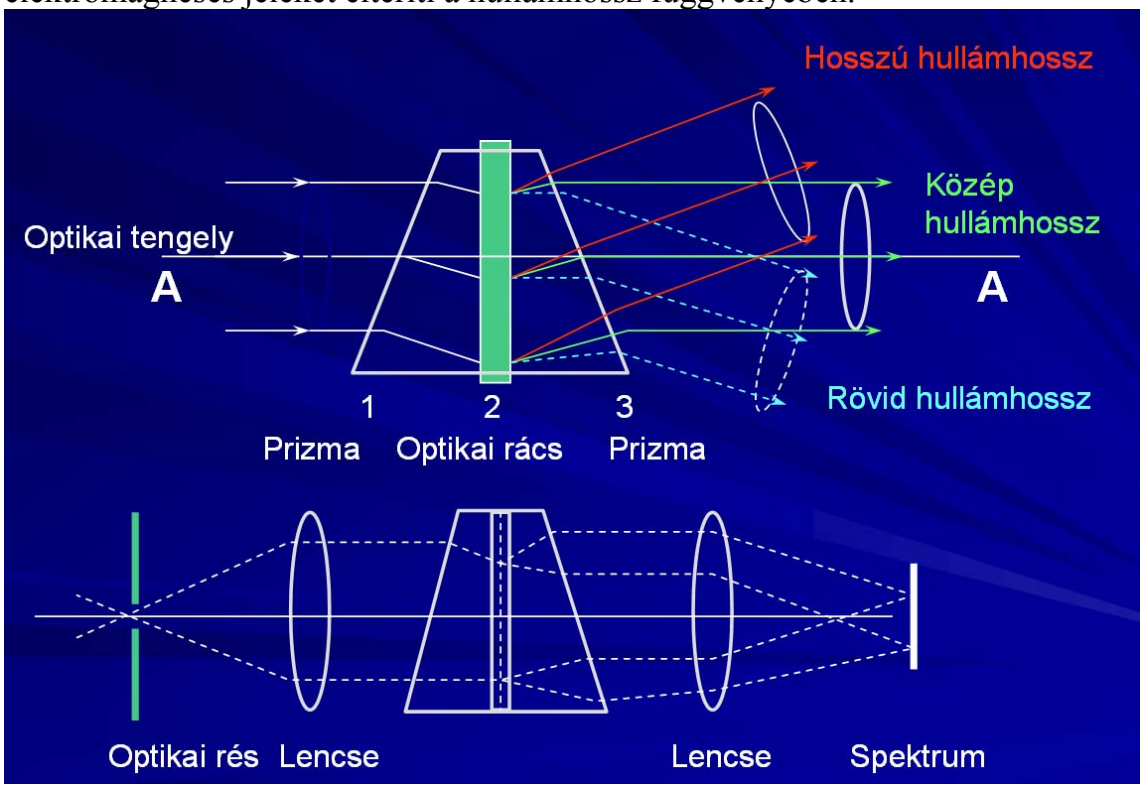


7. ábra

3.1.2. A spektrográf

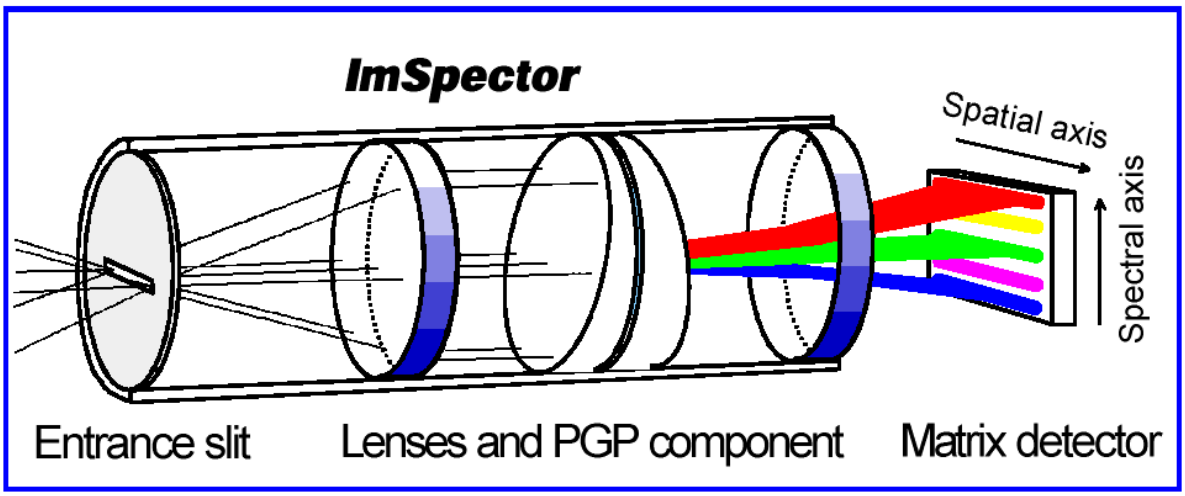
8. ábra

Mindkét érzékelő legfontosabb eleme a spektrográf, mely a tárgyról beérkező elektromágneses jeleket eltéríti a hullámhossz függvényében.



9. ábra

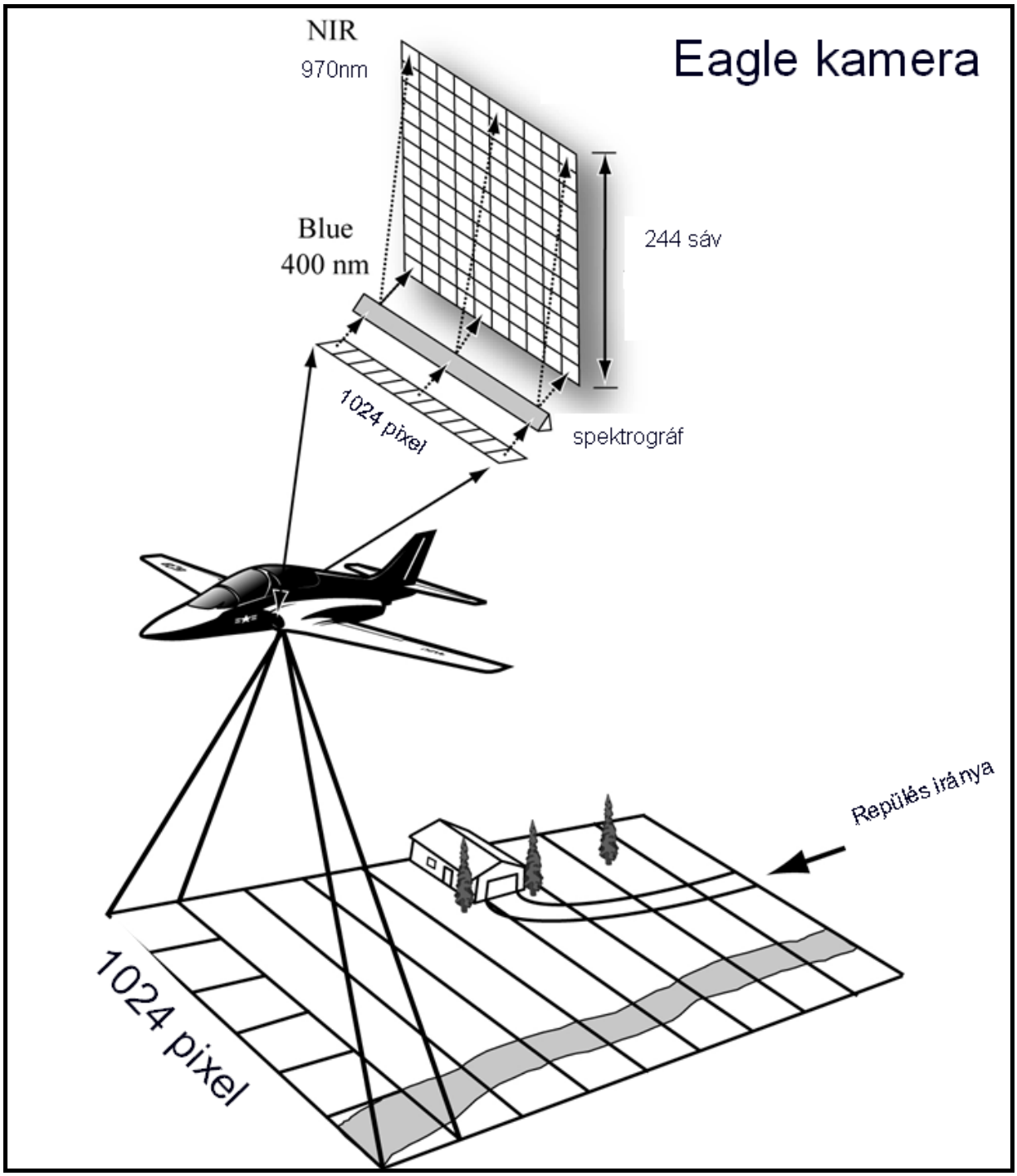
A spektrográf bemenetén egy optikai résen keresztül érkezik az elektromágneses hullám, majd egy prizma-optikai rács-prizma (szabadalmaztatott megoldás) útvonalon jut a mátrixdetektorra.



10. ábra

3.1.3. Az érzékelés folyamata

Az érzékelő Pushbroom rendszerű, a repülőgépre szerelt érzékelő horizontális tengelyén a terepről érkező egy pixelnyi képet képezi le, a vertikális tengelyén pedig az adott geometriai ponthoz tartozó spektrum jelenik meg (Eagle szenzornál a 400-970nm-es tartomány).
Az érzékelő egy letapogatási ciklusban egy vonalat érzékel, és dolgoz fel. A mátrixdetektoron egy pixel felel meg a térbeli felbontásnak horizontálisan, a spektrális felbontásnak vertikálisan. A térbeli felbontás a repülés magasságától függ (és a beállítástól), tekintve, hogy az optika látószöge konstans. A térbeli sáv szélessége minden estben Eagle szenzor esetén 1024 részre osztódik. A repülőgép sebességét a felbontáshoz kell igazítani, mert nagy felbontás esetén a rendszernek nagy mintavételezési frekvenciával kellene dolgozni, melynek fizikai korlátja van.
A megengedett mintavételi frekvencia-tartományon belül a repülőgép sebességétől függően a mintavételi (letapogatási) frekvenciát a rendszer automatikusan beállítja.

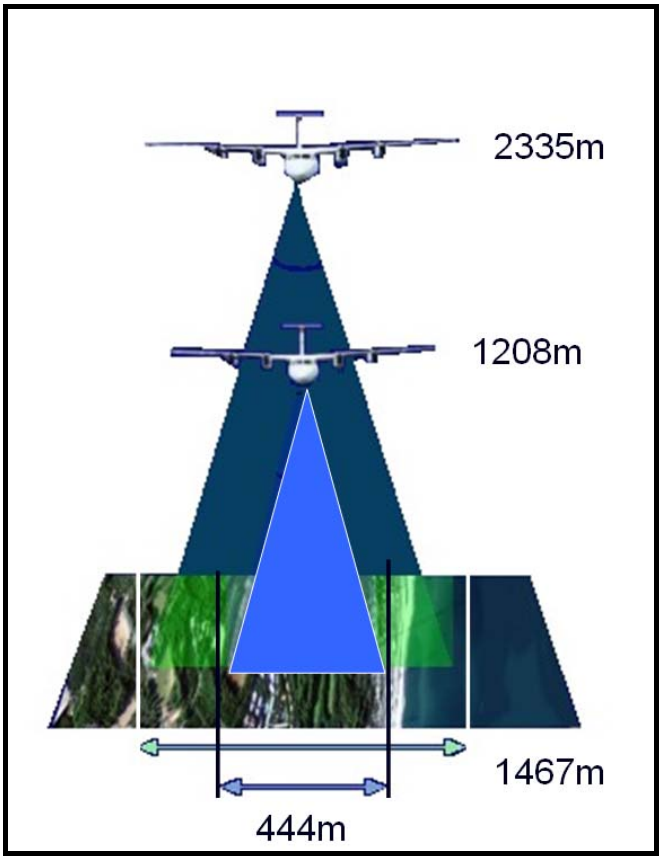


11. ábra

Az így letapogatott vonalakat a számítógép fűzi össze, így áll elő a hiperspektrális felvétel. Dual üzemmódban a rendszer biztosítja azt is, hogy a két érzékelő RAW adatai egy fájlba kerüljenek tárolásra.

Itt kell megemlíteni az ún. binning funkciót, mely lehetővé teszi, hogy mind hardveresen, mind szoftveresen az egymás mellett lévő pixelek átlagértéke kerüljön a számítógépbe. Pl. ha két pixelt binning-elünk horizontálisan, akkor a térbeli felbontás a felére csökken, mert csak 512 darab érték keletkezik az 1024 darab helyett, hasonlóan a spektrális tengelyen két pixel összevonásával a 244 db spektrális sáv 122-re csökken, 4 pixel összevonásával pedig 61-re.

Mivel a két szenzor felbontása különböző ezért pl. 1,5m-es térbeli felbontás igénye során ha csak az Eagle szenzor működik, tehát 400-970nm-es spektrális csatornák működnek, a repülőgépnek 2335m magasan kell repülnie, az észlelt térbeli sávszélesség 1467m, ugyanakkor, ha csak a Hawk szenzor működik (970-2450nm), vagy DUAL üzemmódban mér a rendszer (400-2450nm) az 1,5m-es térbeli felbontáshoz 1208m magasan kell repülni, az érzékelt térbeli sávszélesség 444m.



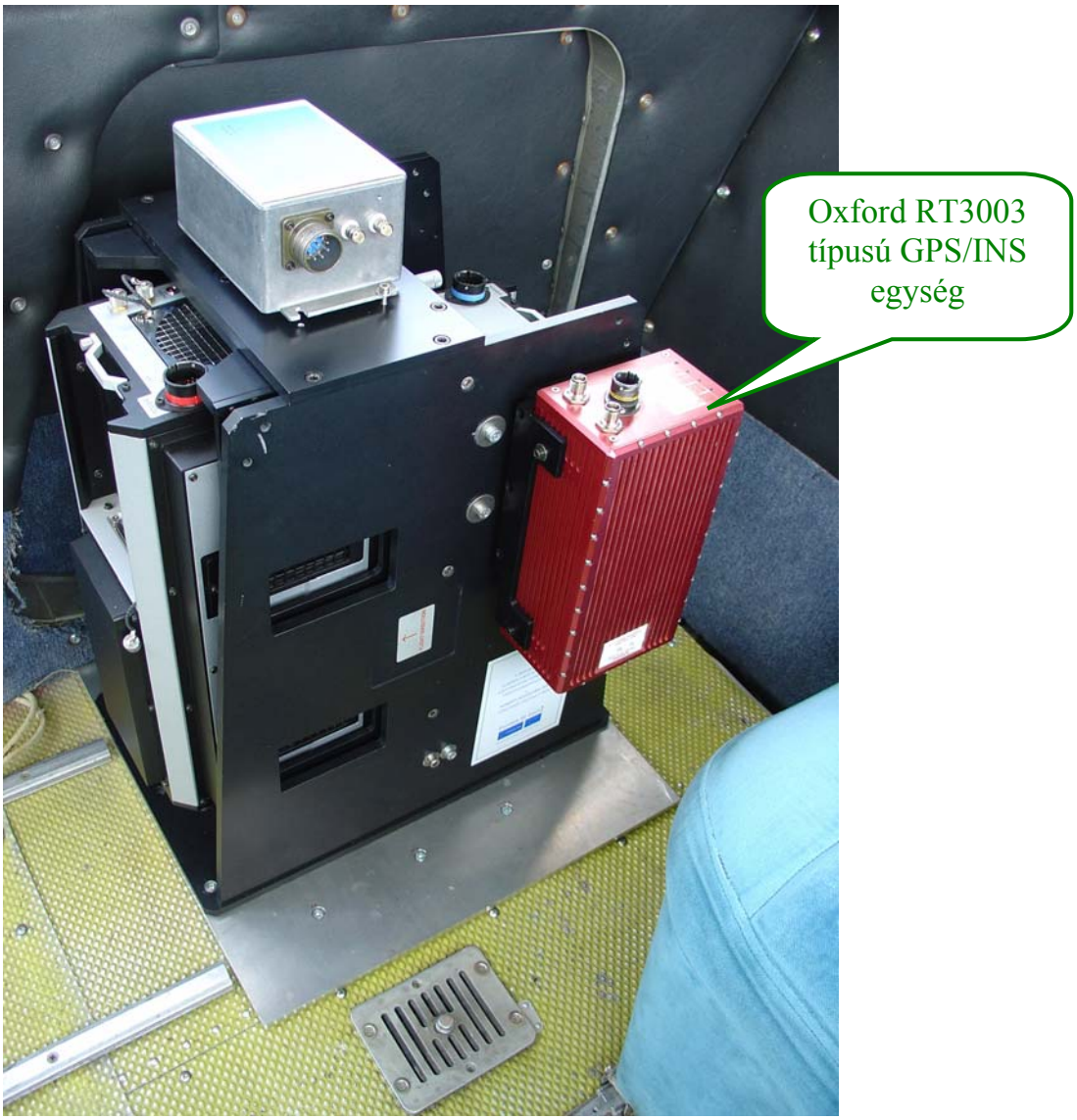
12. ábra

3.2. C-MIGITS III típusú GPS/INS egység

A GPS/INS egység a felvételezés során szolgáltatja a repülőgép pozíció adatait, továbbá az inerciális rendszer a repülőgép térbeli helyzetét (billegés, bólintás szöge). A GPS/INS egység adatai a mérés során külön fájlba kerülnek letárolásra.

13. ábra
C-MIGITS III GPS/INS egység

A rendszerhez kapott C-Migits III típusú egység sajnos nagy mérési hibával dolgozik, ezért pontos méréskor az Oxford cégtől bérelünk RT3000 sorozatú GPS/INS egységet.



14. ábra

3.3. FODIS szenzorok

Mindkét érzékelőhöz tartozik egy beeső sugárzást mérő érzékelő. Az érzékelők a repülőgép tetején kerültek elhelyezésre.

15. ábra

3.4. Ipari PC és nagy fényerejű monitor

A rendszer a mérés során egy PC-re gyűjti az adatokat. A PC ipari kivitelű, nagy megbízhatóságú eszköz. Tartozik hozzá egy nagy fényerejű monitor, mely jól látható erős napsütésben is.

16. ábra

3.5. Kiegészítő egységek

A rendszer működéséhez három darab, tápegység továbbá kábelek és optikai kábelek szükségesek.

3.6. CaliGeo előfeldolgozó szoftver

A mérés során rögzített adatok előfeldolgozása a Caligeo programmal történik, mely az ENVI szoftver egy modulja és a SPECIM fejlesztette. A Caligeo program a nyers

adatokból radiometriai és geometriai korrekciót végez, az így előfeldolgozott adatok radiometriailag és geometriailag pontosak, a felvételek a kereskedelemben kapható űrfelvételekkel azonos feldolgozottságúak, ezen adatok kerülnek a megrendelőhöz további elemzés céljából.

4. A mérések tervezése

A tervezés fázisában a megrendelőnek meg kell adnia a mérendő terület adatait, a kívánt térbeli és spektrális felbontást, a spektrális csatornaszámot, mely alapján számítható a repülési magasság, a minimális repülési sebesség. A számolást elősegítendő a Specim egy Excel táblázatot biztosított, mely a paraméterek megadása után kiszámolja az értékeket.

AISA flight parameters for	**HIAE / University of Debrecen**			Local ground elevation	80 [feet]	from mean sea level
AISA Eagle Serial Number	**SN100026**			Local WGS-84 geoid hight	46 [m]	
Hawk Serial Number	**SN300015**			Average ground elevation	70,38407354 [m]	from WGS-84 referenc
AISA Eagle focal length	18,04 mm					
AISA Eagle spatial pixels	46 start	1024 end			978 total	
Hawk spatial pixels	22 start	320 end			299 total	
DUAL spatial pixels	25 start	320 end			296 total	

Change gray areas to calculate FPS, swat width and altitude
The spatial pixels exclude FODIS area
The flight altitude is from mean sea level
Max flight altitude for AISA is specified to 10000 feet
Use the blue highlighted values in CaliGeo

Ground pixel size [m]	[feet]
1,50	4,92

Ground Speed [m/s]	[knots]
60	116,63064

AISA Eagle **SN100026_210606_XB.cal**

Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]
8x2	10 nm	489	129	40,00	1,5	734	2406	1208	3962
4x2	5 nm	489	89	40,00	1,5	734	2406	1208	3962
2x1	2.5 nm	978	54	40,00	1,5	1467	4813	2335	7661
2x2	2.5 nm	489	54	40,00	1,5	734	2406	1208	3962
1x1	1.2 nm	978	30	40,00	1,5	1467	4813	2335	7661
1x2	1.2 nm	489	30	40,00	1,5	734	2406	1208	3962

AISA Hawk **SN300015_200906_B.cal**

Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]
1x1	6 nm	299	103	40,00	1,5	449	1471	1208	3962

DUAL **DUAL_SN100026_300015.cal**
DUAL_SN100026_300015.cal

Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]
Dual mode 4x2	Eagle 5 nm, Hawk 6nm	296	89	40,00	1,5	444	1457	1208	3962
Dual mode 2x2	Eagle 2.5 nm, Hawk 6nm	296	54	40,00	1,5	444	1457	1208	3962

alapadatok

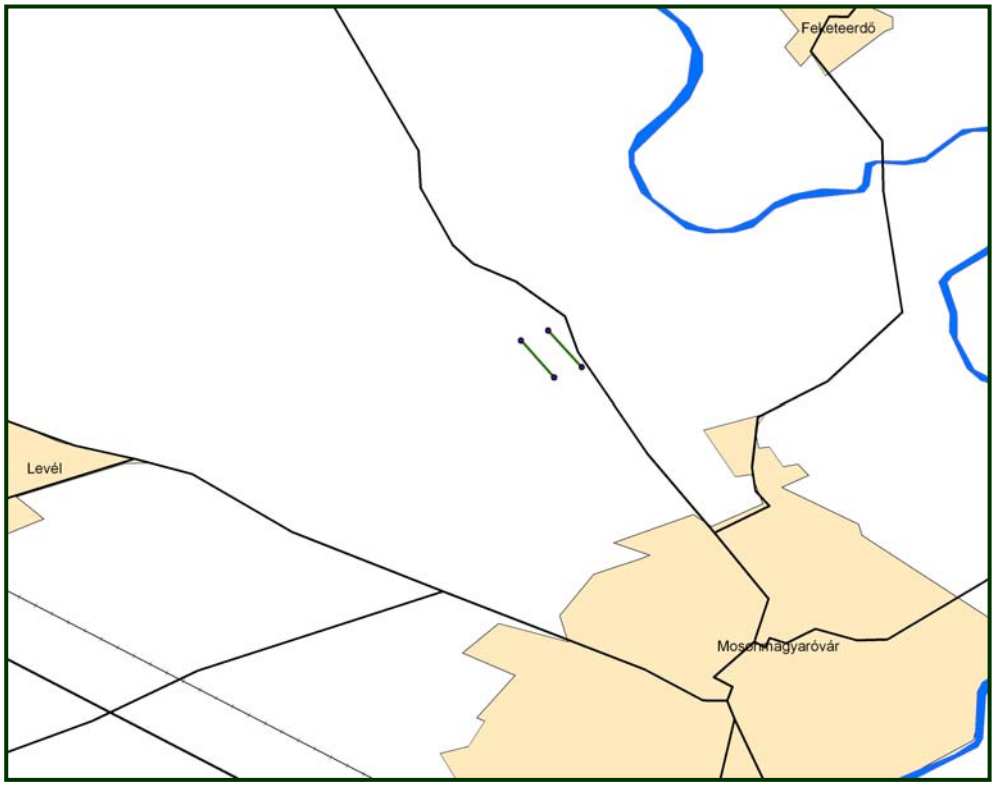
eredmény

Szenzor-beállítás

17. ábra

A következő lépésben a pilóta számára el kell készíteni a repülés nyomvonalát, biztosítva az egyes térbeli sávok közötti megfelelő átfedést. Az átfedést a térbeli felbontástól függően 20-30% között számoljuk.

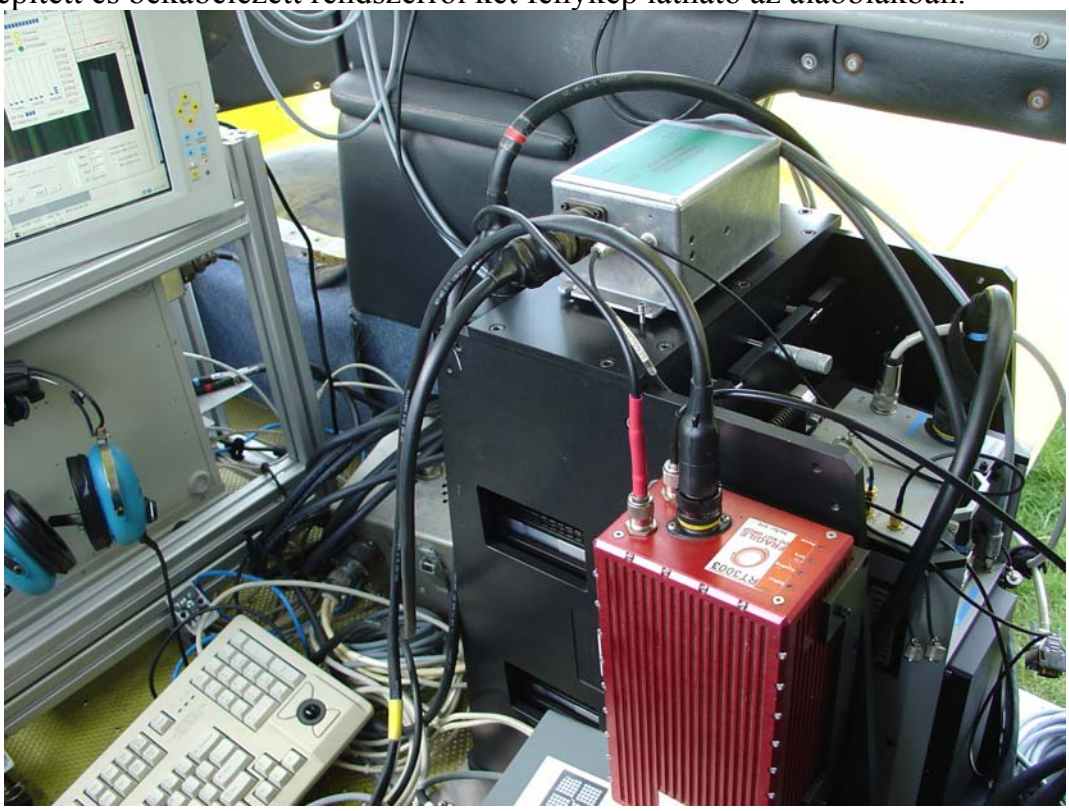
18. ábra



19. ábra

5. A mérések végrehajtása

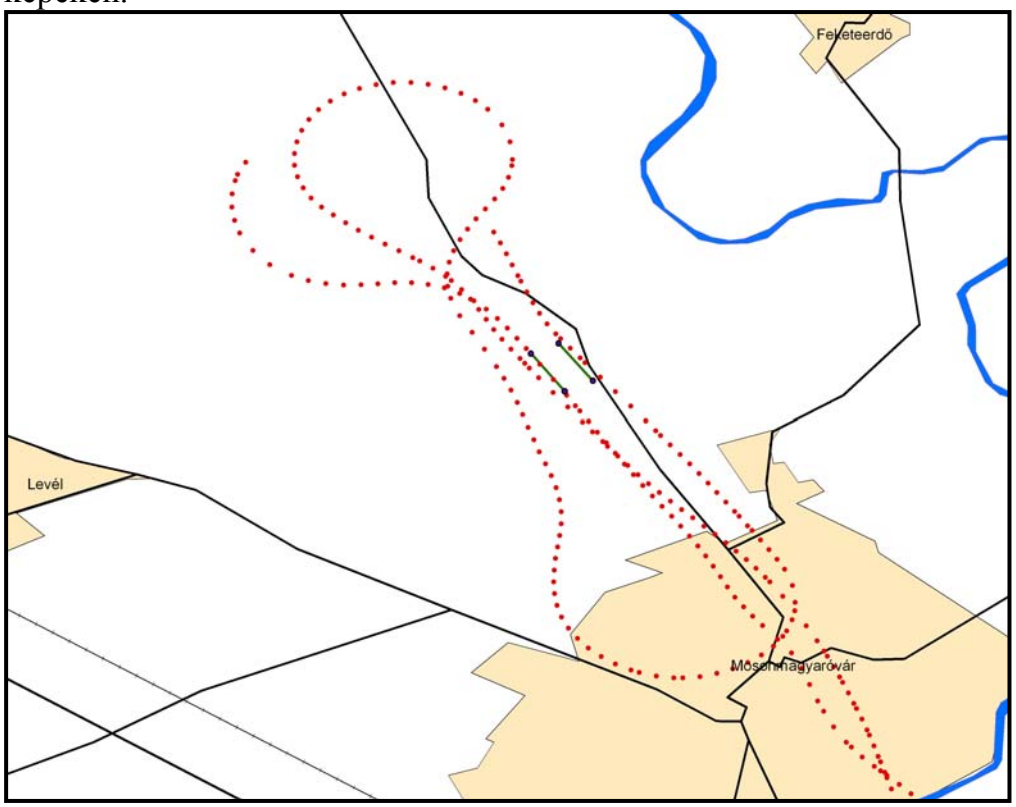
A mérésekhez a rendszert be kell építeni a repülőgépbe.
A beépített és bekábelezett rendszerről két fénykép látható az alábbiakban.



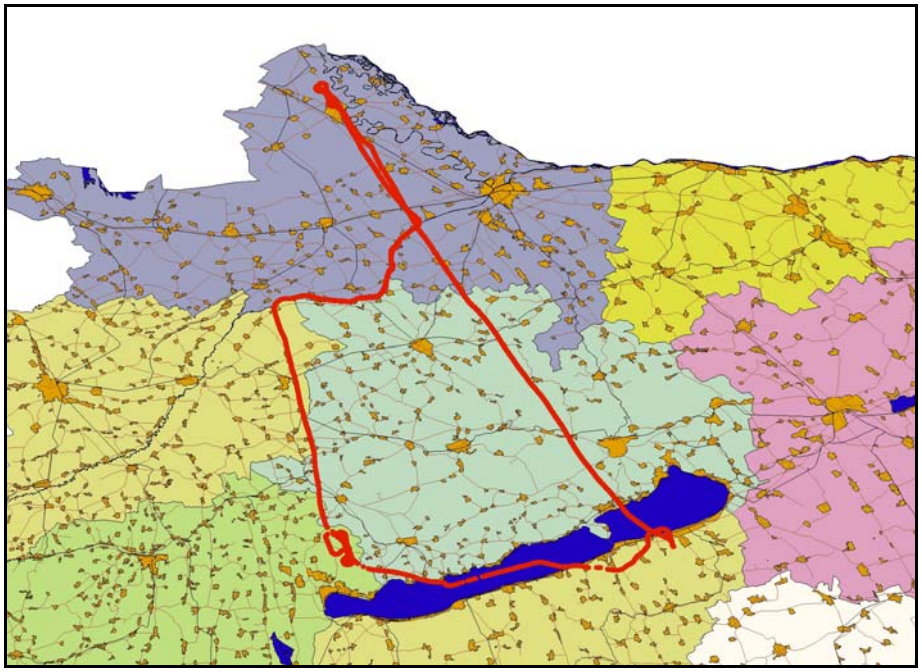
20. ábra

21. ábra

A méréseket lehetőleg felhőmentes időben, magas napállásszögnél célszerű végrehajtani, javasolt a 10-15h közötti mérés. A 2007. 06. 19-én Mosonmagyaróvár mellett végzett mérés során a repülőgép rögzített nyomvonala látható az alábbi képeken.



22. ábra



23. ábra

A mérés során a rendszer több fájlba gyűjti az adatokat. Külön fájlba kerülnek a hiperspektrális érzékelők adatai, külön a GPS/INS egység adatai.

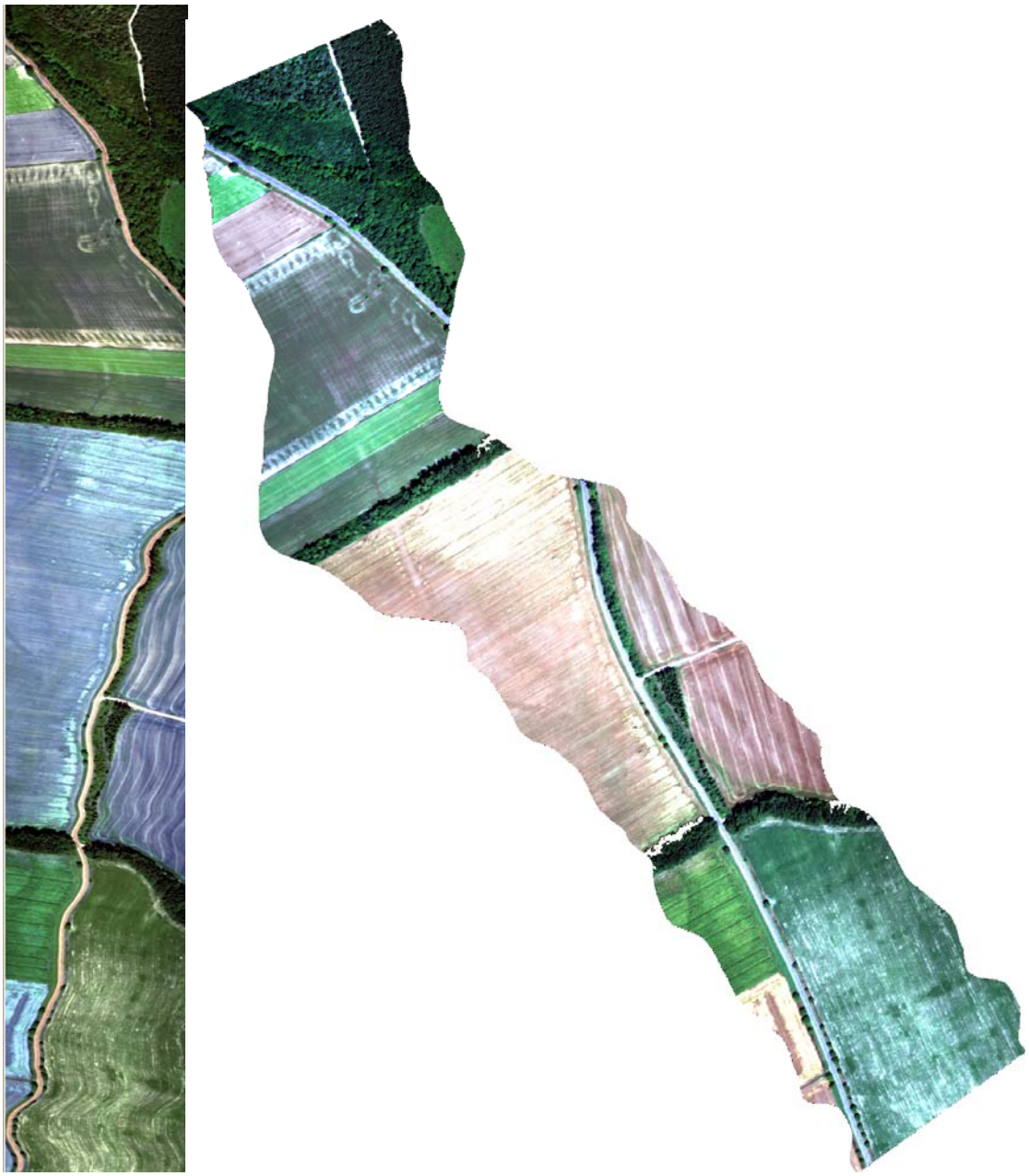
A légifelvételezéssel azonos időben a mért területen földi méréseket is el kell végezni. Pl. gyomtérkép készítése céljából végzett légifelvételezés során a terepen is meg kell nézni, hol milyen gyomnövények találhatók, a gyomfoltokról térképet kell készíteni a későbbi feldolgozáshoz szükséges tanulóterületek kijelöléséhez, valamint az elkészült osztályozott felvételek ellenőrzéséhez.
Szükséges továbbá a terepen jól látható tárgyak földrajzi pozícióinak meghatározása annak érdekében, ha a felvételezés geometriai pontossága nem megfelelő, akkor ezen pontokat illesztőpontként használva, a térkép utólag javítható, természetesen bizonyos határokon belül.

6. Az adatok előfeldolgozása

Az előfeldolgozás a Caligeo programmal történik.
Az adatfeldolgozás során felhasznált adatok:
-a nyers adatfile-ok az ún. RAW adatok,
-a hiperspektrális szenzorok kalibrációs adatai,
-a GPS/INS egység navigációs adatai,
-a beállítás paraméterei,
-továbbá opcionálisan használható digitális domborzatmodell-adatok.
Ezen adatokkal a Caligeo radiometriai és geometriai korrekciót számol.

6.1.1. A korrekció eredménye

A nyers adatfájlban a repülés során a repülőgép billegéséből adódó hiba görbe vonalak formájában jelentkezik. Erősebb szél esetén a hiba igen nagy is lehet.
A következő képen bal oldalon a nyers (RAW) adatfile, jobb oldalon a geometriai és radiometriai korrekció után elkészült kép látható.

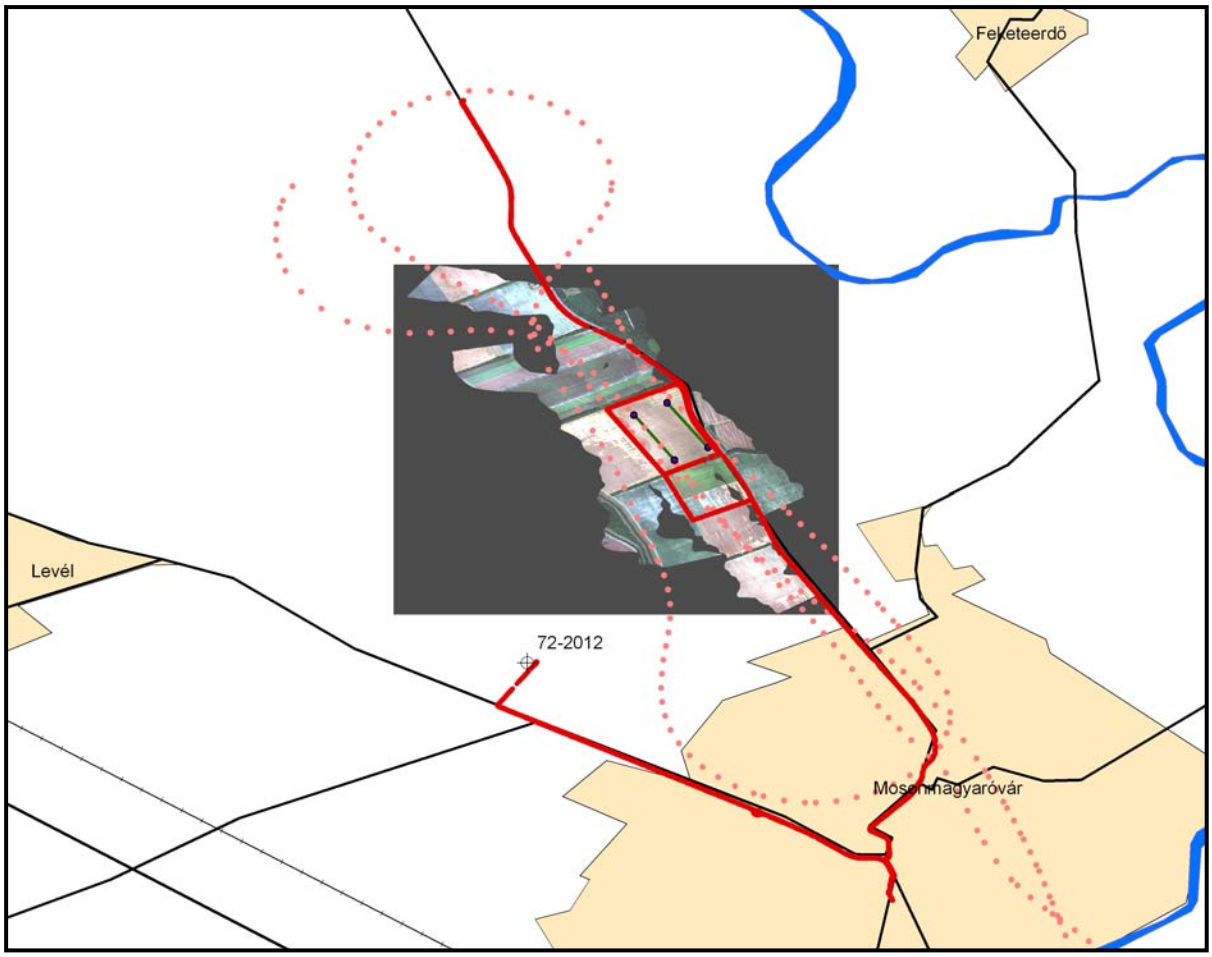


24. ábra

A radiometriai és geometriai korrekció után történik a mozaikolás, melynek során az egyes térbeli sávokat a program összeilleszti (ENVI, ERDAS) (ez funkció már nem a Caligeo része).
A következő képen jól látható, hogy a nem megfelelő átfedés miatt a területből kimaradtak egyes részek.

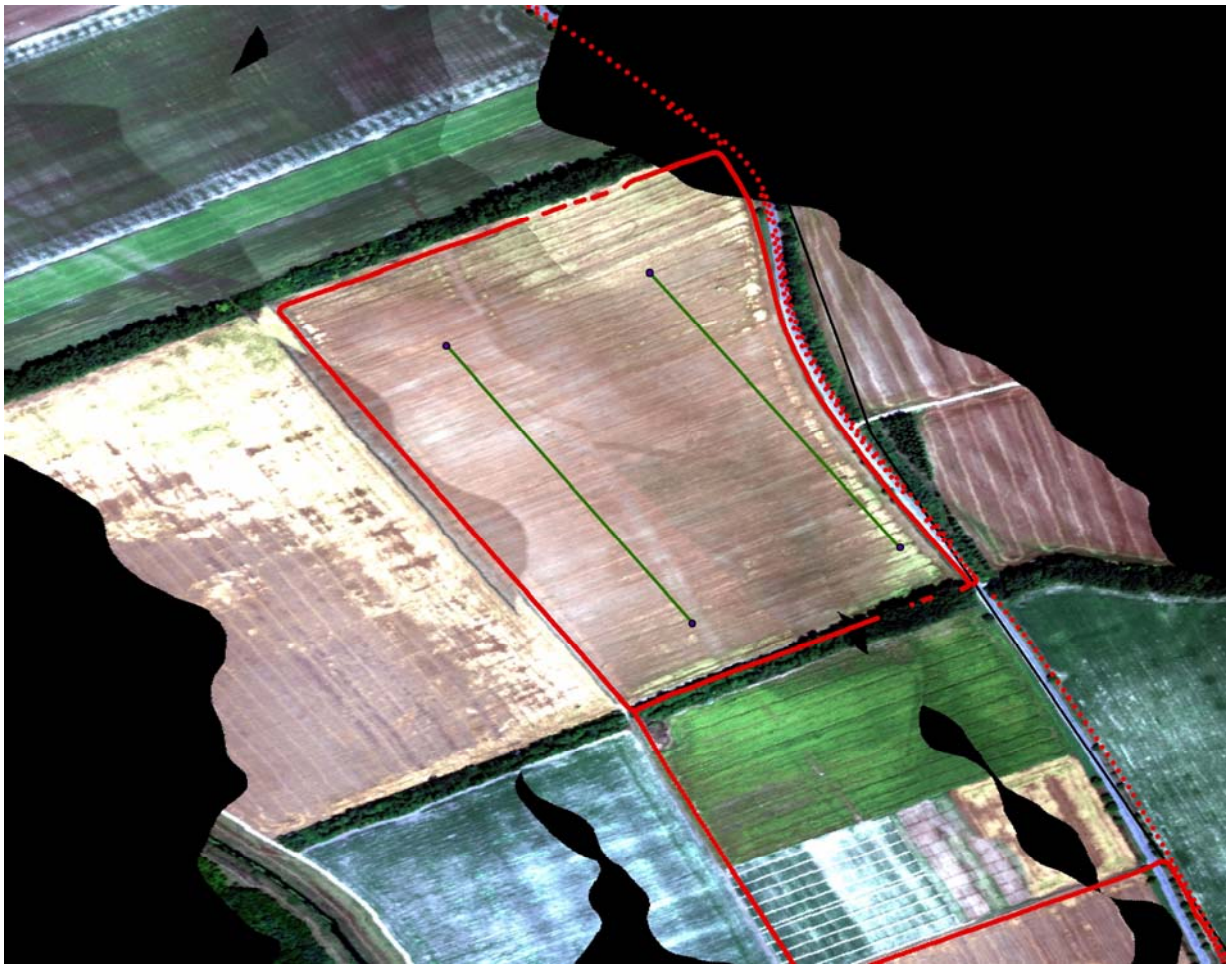
25. ábra

A következő térképen együtt látható a tervezett nyomvonal, a repülés nyomvonala, az összemozaikolt hiperspektrális felvétel, továbbá a geometriai pontosságát biztosító utólagos ellenőrzésként végzett terület-körbejárás eredménye.



26. ábra

27. ábra

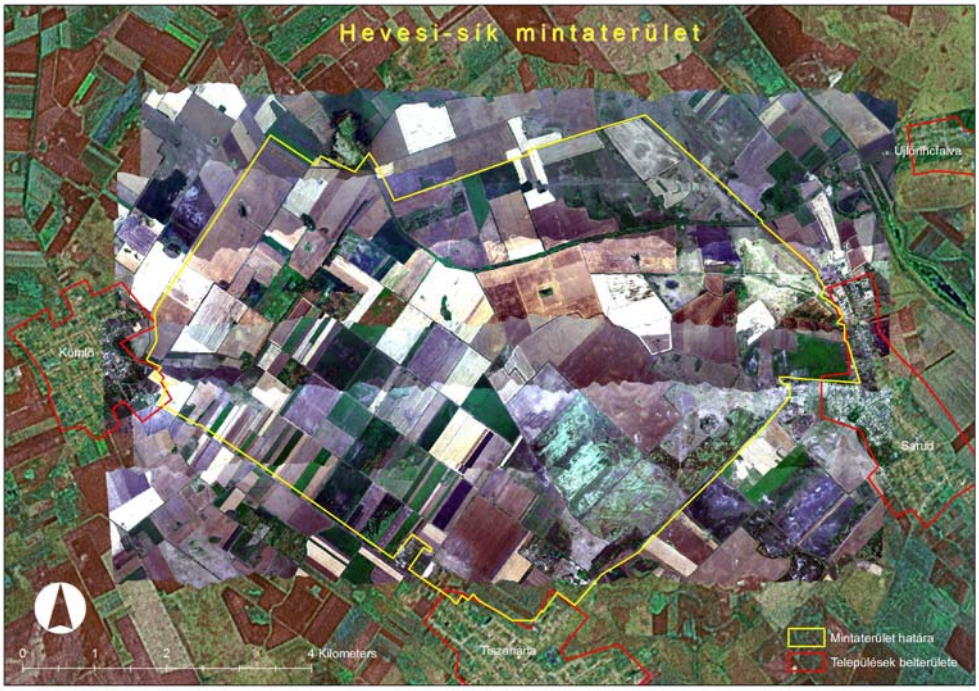


28. ábra

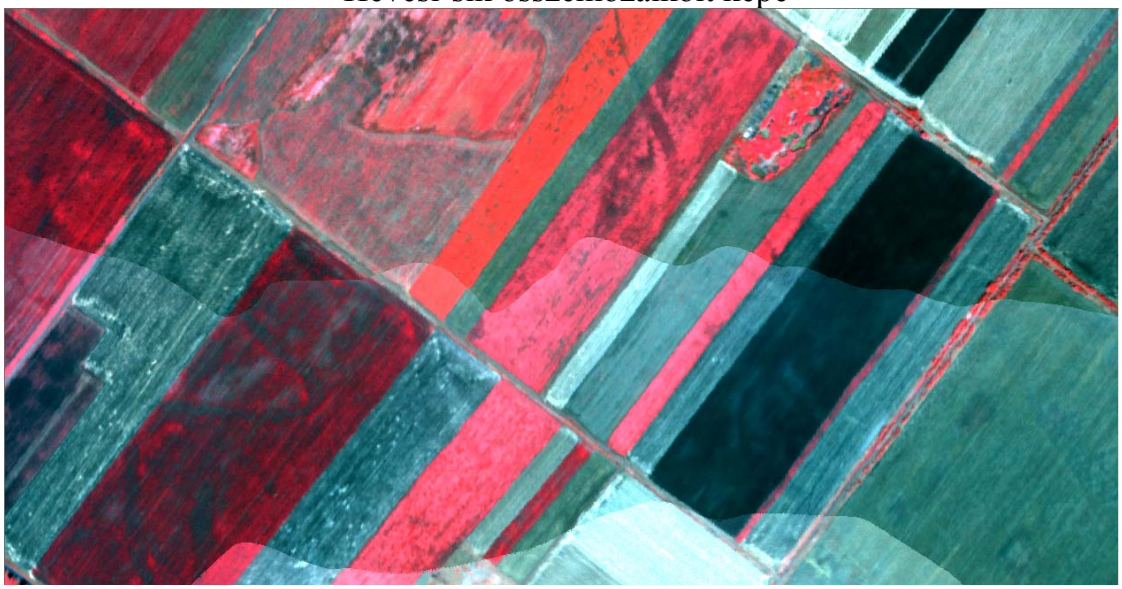
A leírt módon elkészült és korrigált adatok kerülnek a megrendelőkhöz.

A megrendelők a távérzékelési adatfeldolgozó szoftverek segítségével további analízist végeznek, általában a feladatnak megfelelő osztályozott képek a végső eredmények.

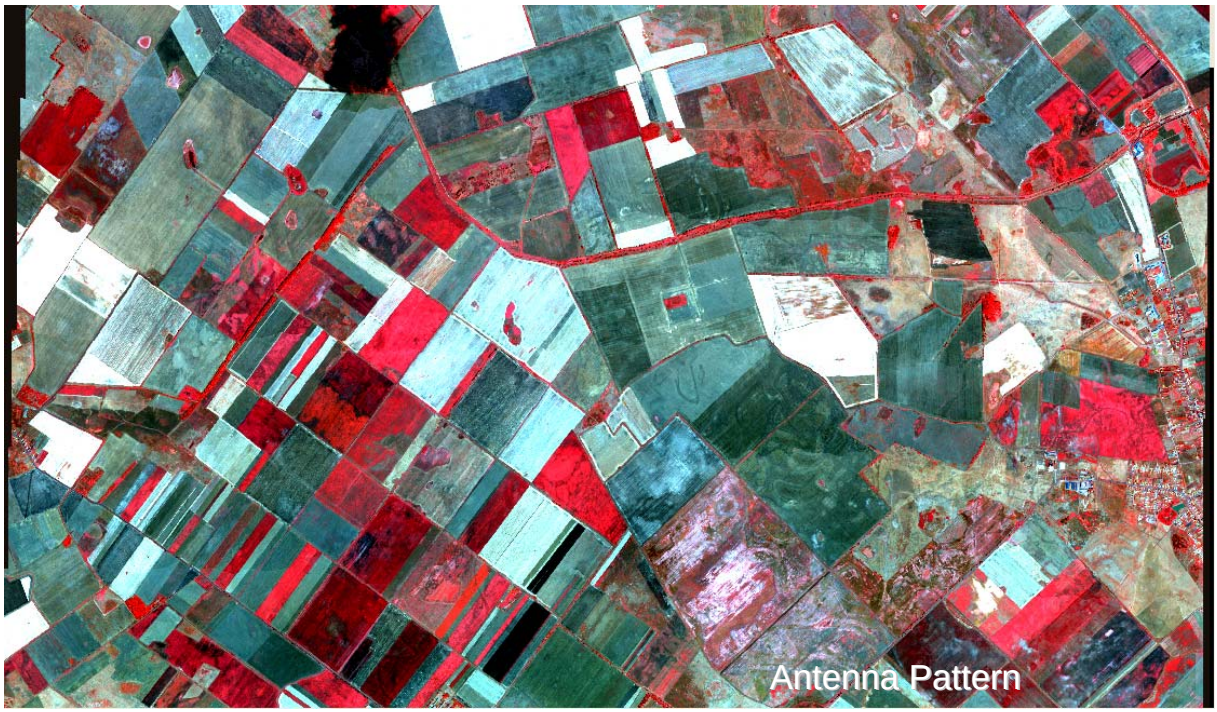
A következő képek Dr. Kristóf Dániel 2008. februárjában a FÖMI-ben megtartott előadásából valók. A képek a feldolgozás különböző fázisait mutatja be, a végén egy osztályozás eredményeként előállt élőhelytérképet mutat.



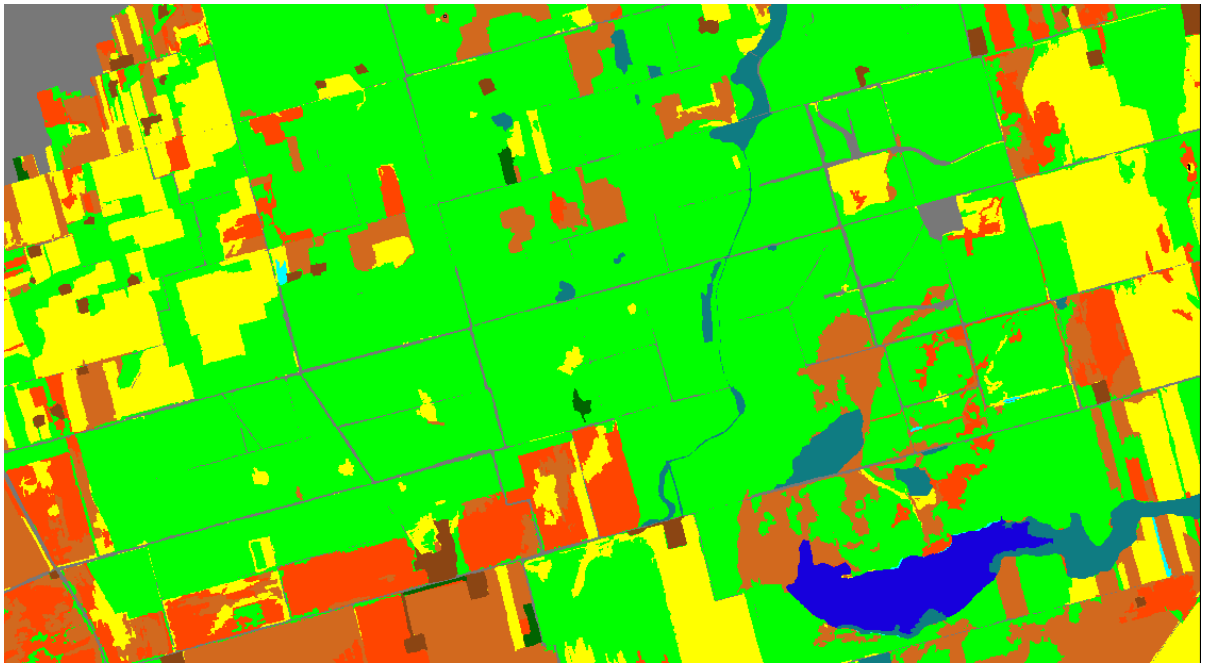
29. ábra
Hevesi-sík összemozaikolt képe



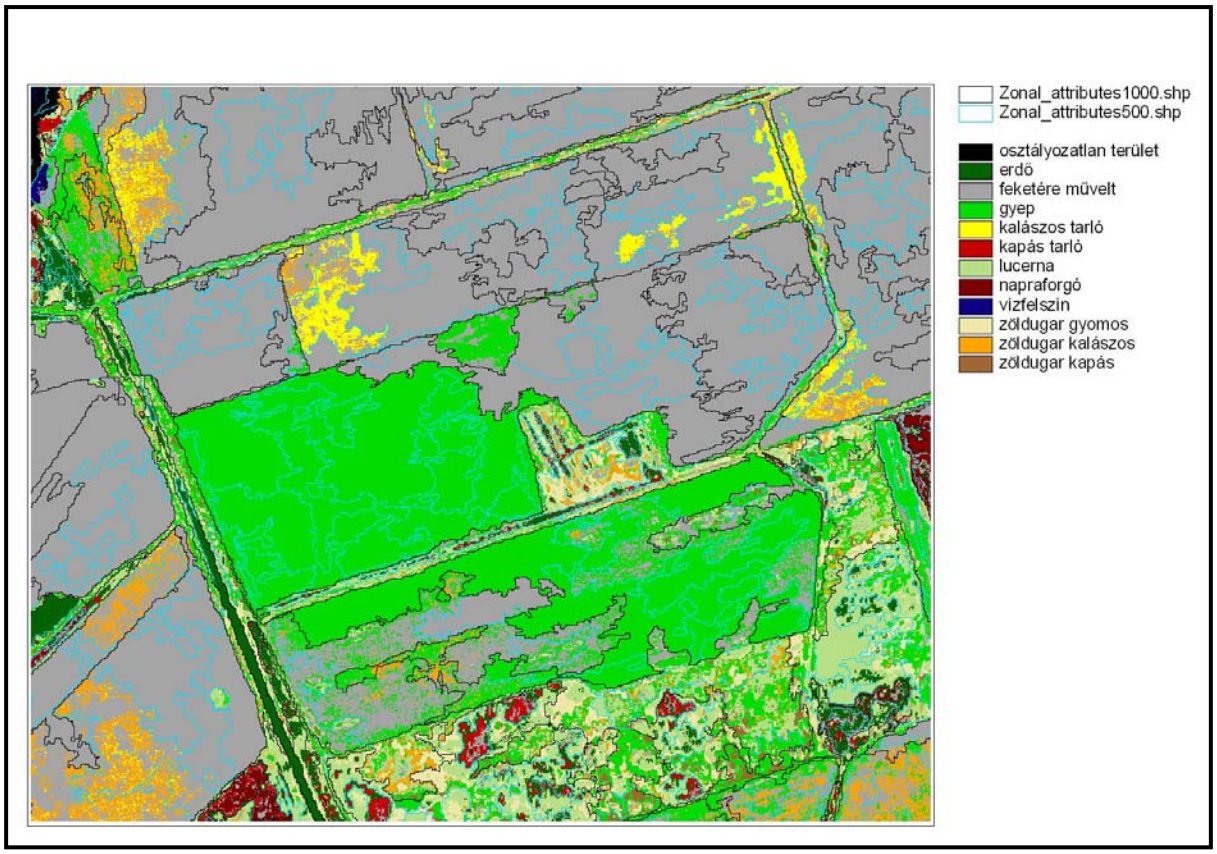
30. ábra
Geometriai korrekció után az egyes sávok helyesen csatlakoznak egymáshoz



31. ábra
Radiometriai korrekció után



32. ábra
Osztályozás eredménye



33. ábra
Élőhelytérkép

7. A felvételek pontosságát tovább javító lehetőségek

A felvételek feldolgozásánál az ún. atmoszférikus korrekció lehetősége jelen pillanatban fejlesztés alatt van. Az atmoszférikus korrekcióra azért van szükség, mert a légkör egyes hullámhoszúságú elektromágneses hullámokat elnyel. A pontos mérésekhez a repüléssel egyidőben a terepre kihelyezett ismert reflektanciájú anyagok alkalmazása, továbbá a repüléssel egyidejűleg a terepen végzett spektrométeres mérések szükségesek. 2008. évben Finnországban végzett mérések során a finn megrendelő biztosította ezen lehetőségeket is, az alábbi három fénykép ezt mutatja. Ezen méréseket akkor kell elvégezni, amikor a tényeges légifelvételezés történik.

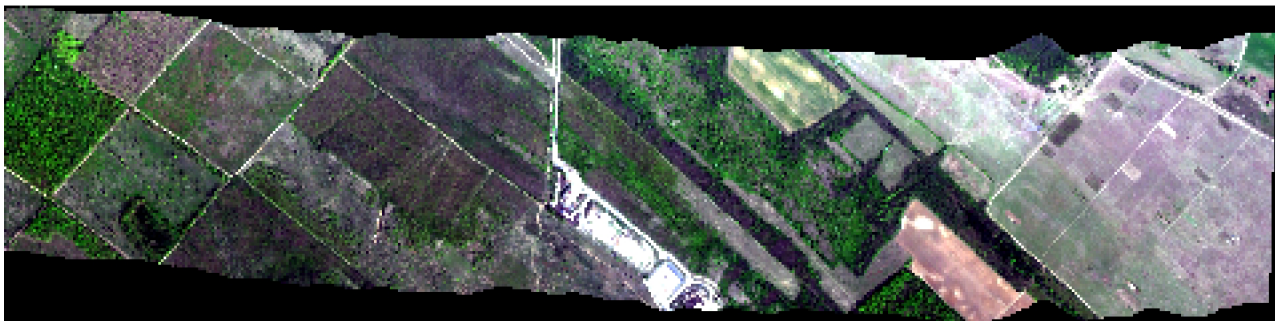
34. ábra

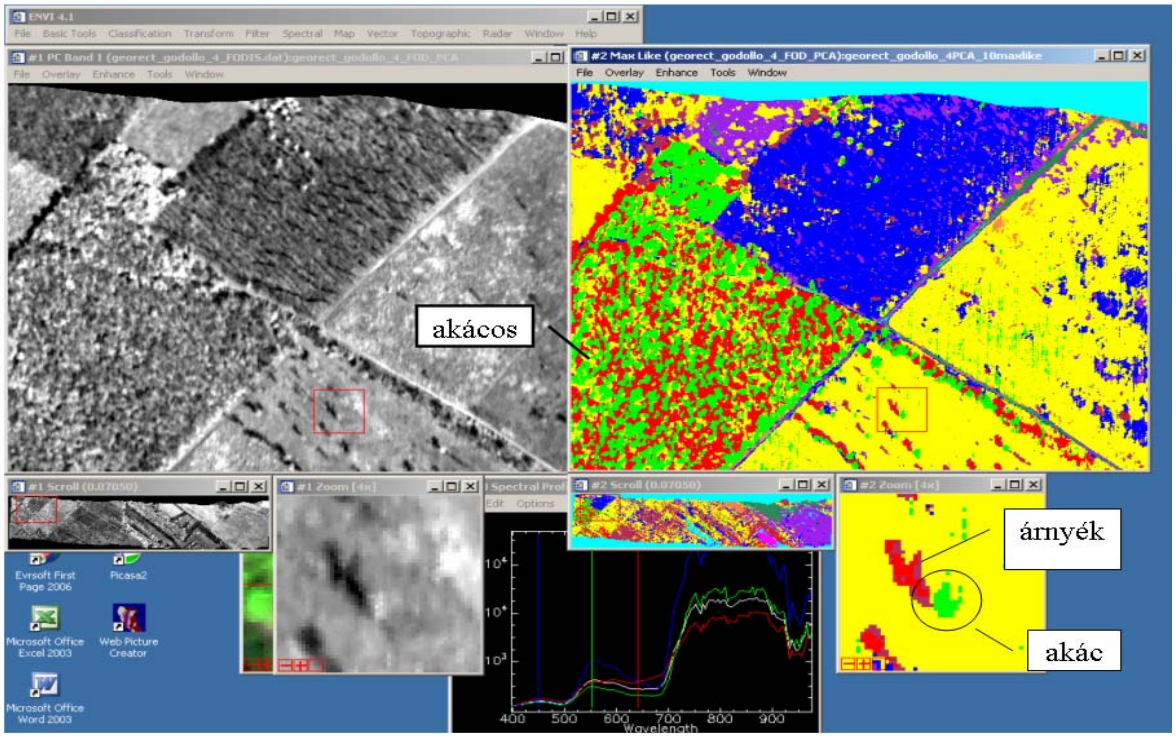
35. ábra

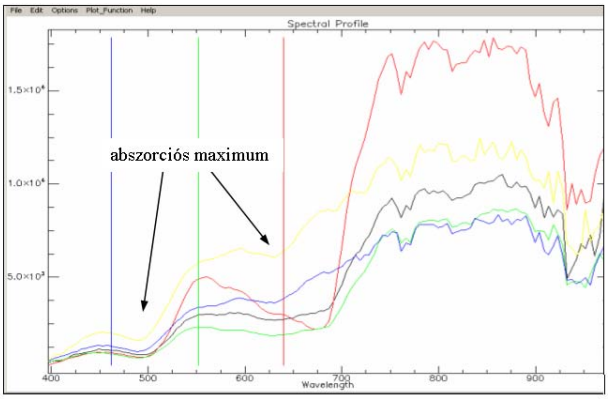
36. ábra

8. A hiperpektális méréstechnika alkalmazási területei

-földhasználatok felvételezése, ellenőrzése, a változások követése,
-felszínborítottság detektálása,
-biomassza felmérése,
-felszíni vizek fitoplankton tartalmának meghatározása, vízszennyezések detektálása,
-növényi vegetációk állapotértékelése,
-talajfelszín talajállapot értékelése,
-nedvességtartalom, ásványi-anyag összetétel, sivatagosodás vizsgálata,
-szennyezések kiterjedése, a terjedések mértékének nyomon követése.







1. Tölgy
2. Kopár talajfelszín
3. Bokros-cserjés állomány
4. Szántás
5. Gyep (LAI<1)

37. ábra
Földhasználat térképezés, Gödöllő, 2007