Műholdas távérzékelés

Elmélet és gyakorlat

Dr. Mucsi, László, SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék <mucsi@geo.u-szeged.hu>

Műholdas távérzékelés: Elmélet és gyakorlat

írta Dr. Mucsi, László

Publication date 2013.06.25.

TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1 MSc Tananyagfejlesztés

Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz

Tartalom

1. ATÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK 1 1. BEVEZETÉS 1 2. ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS FIZIKAI TÖRVÉNYEI 2 3. ZATMOSZYÉRÁN ÁTHAL ADÓ SUGÁRZÁS TULJDONSÁGAI 7 3.1. Szóródás 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSONHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbéj 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. So métodó (ciklikus) felés vagy idófelbontás 28 7. A műholdak stablizzálása 28 7. A szezfoglalás, ellenörző kérdések 29 7. Osszefoglalás, ellenörző kérdések 29 7. A Szezfoglalás, ellenörző kérdések 29 7. A KINSAT műholdprogram 51	ELŐSZÓ	xi
1 BEVEZETÉS 1 2. ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS FIZIKAI TORVÉNYEI 2 3. Az ATMOSZTERÁN ÁTHALADÓ SUGÁRZÁS TULADONSÁGAI 7 3.1. Szóródás 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÓLCSONHATÁSA A FÓLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbe 13 4.2. A növényzet, a talaj és a viz visszaverődési görbeje 14 5. ADATOK ESZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométreck vázlatos felépítés 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 27 6.4. Sa goszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 7. Osszefoglalás, ellenörző kérdések 28 2. A METEOSAT műholdprogram 30 2. A METEOSAT műholdprogram 30 2. A METEOSAT műholdprogram 31 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 35	1. A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK	1
2. ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS TIZIKAI TORVÉNYEI 2 3. AZ ATMOSZFERÁN ÁTHALADÓ SUGÁRZÁS TULAIDONSÁGAI 7 3.1. Szóródás 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSONHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbé 13 4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztáző rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK IELLENZÉSÉER HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Stepéktrális élbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 7. ÓSzerloglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRUUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A MÉTEOSAT műholdprogram 51 3. A GMS-MTISAT műholdprogram 55 <	1 BEVEZETÉS	. 1
3. AZ ATMOSZFÉRÁN ÁTHALADÓ SUGÁRZÁS TULAJDONSÁGAI 7 3.1. Szóródás 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÓLCSÓNHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbe 13 4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbeje 13 4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbeje 14 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A Spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK IELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.8. A műholdak elettartama 28 7. Osszerőgialás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 51 3. A GMS-MITSAL műholdprogram 53 3. A GMS-MITSAL műholdprogram 53 3. A CMS-MIT műholdprogram <td>2 ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS FIZIKAI TÖRVÉNYEI</td> <td>2</td>	2 ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS FIZIKAI TÖRVÉNYEI	2
3.1. Szóródás 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSONHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbe 13 4.2. A növényzet, a talaj és a viz visszaverődési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos félépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétődő (cikikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 7. A Szerfoglalás, ellenörző kérdések. 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 53 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 51 6. A	3 AZ ATMOSZFÉRÁN ÁTHALADÓ SUGÁRZÁS TULAIDONSÁGAI	7
3.2. Abszorpció – elnyelés 8 4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSÓNHATÁSA A FÖLDFELSZINNEL 10 4.1. A spektřál visszaverődési görbe 13 4.2. A novényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOI GOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásrtázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektralis felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 7. Összefoglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 51 3. A GMS műholdprogram 51 3. A GMS műholdprogram 51 4. Az INSAT műholdprogram 53 5. A GOMS műholdprogram 53 6. A ZINSAT műholdprogram 53 7. A g	3.1. Szóródás	8
4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSÖNHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL 10 4.1. A spektrális visszaverődési görbe 13 4.2. A növényezt, a talgi és viz visszaverődési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos félépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 27 6.3. Geoszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétődő (ö kilkus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A müholdak stabilizlákása 28 6.7. A müholdak stabilizlákása 28 7. Összerőglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT müholdprogram 50 3. A GMS-MTSAT müholdprogram 51 6. A ZINSAT müholdprogram 51 6. A IRNSAT müholdprogram 52 3. POLÁRIS PÁLY ÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK	3.2 Abszornejó – elnyelés	8
4.1. A spekträlis visszaverödési görbe 13 4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverödési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztizó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 26 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismélődő (ciklíkus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak égy a terfések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. J. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A NOAA / S/18 műholdak egy áttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGÓ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56	4 A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSÖNHATÁSA A FÖLDEFI SZÍNNEI	10
4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbéje 14 5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos félépítése 23 6. A MÜHOLDAK IELLEMZESÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak élettartama 28 6.8. A műholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONARIUS ME TEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 50 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. A A FELNOAA műholdprogram 51 6. J. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A NOAA 15/18 műholdak továbbí műszerei 63 1. A A VIHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. A A VIHRR szenzor és alkalmazási területei <	4. A spektrálie visszaverődési görbe	13
5. ADATOK ÉSZLELÉŠE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5. A ADATOK ÉSZLELÉŠE ÉS FELDOLGOZÁSA 17 5. A Kamera rendszer 18 5. 2. Pásztázó rendszerek 18 5. 3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6. 1. Inklináció 25 6. 1. Inklináció 26 6. 3. Geoszinkron pálya 26 6. 3. Geoszinkron pálya 27 6. 4. Térbeli felbontás 27 6. 5. Spektrális felbontás 27 6. 6. Ismélődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6. 7. A műholdak stabilizálása 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 53 3. A GMS-MINAGÍNegram 51 5. A GOMS műholdprogram 53 6. A műholdak elettrataras 55 3. A OGNS műholdprogram 53 6. A RENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdprogram 58 8. Öszerőglalás, ellenőrző kérdések 55	4.1 A powintzet a talaj és a víz visszaverődési görbéje	11
5 1. A kamera rendszer 18 5.1. A kamera rendszer 18 5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétiődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak stelutratman 28 7. Összerőglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 50 3. A GMS –MTSAT műholdprogram 51 6. A FEING-YUN műholdprogram 51 6. A FEING-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TAVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei	4.2. A hoven yzer, a talaj es a viz visszaverodesi göröcje	17
5.2. Pásztázó rendszerek 18 5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.1. Inklináció 25 6.1. Geoszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A müholdak stabilizálása 28 6.8. A müholdak stabilizálása 28 7. Öszerőglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÚHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdprogram 53 8. Összerőglalás, ellenörző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TROS-NOAA műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A szovjet/orosz meteor	5.1 A kamara randszar	10
1.2. rásolado releterk vázlatos felépítése 23 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétidőd (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A müholdak stabilizálása 28 6.8. A müholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOST ACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A szoszefoglalás, ellenőrző kérdések 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A TROS-NOAA műholdprogram 51 6. A ZINSAT műholdák együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. OROAA Műholdálprogram 66	5.2 Désztézé rendszerel:	. 10
5.3. A Spektfordier Variation leichtese 25 6. A MÜHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK 25 6.1. Inklináció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A müholdak stabilizálása 28 6.8. A müholdak stabilizálása 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56 1. A TROS-NOAA műholdak vegyüttes alkalmazási 53 1. A TROS-NOAA műholdak további műszerei 63 1. 1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. 2. A NOAA 0/14 műholdak további műszerei 63 1. 3. A NO	5.2. A graftramátorak vázlatog falánítága	22
6. A. MOLDZDAN JELEMIZESERE HASZNALT PODALMAK 25 6. 1. Inklinäció 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétiődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak stabilizálása 28 7. Összerfoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METECOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A TERG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PALYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER<	5.5. A spekirometerek vazialos relepitese	. 23
0.1. INKIMACIO 25 6.2. Napszinkron pálya 26 6.3. Geoszinkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrilis felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.6. A műholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrzó kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 50 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁL YÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 53 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 64 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 72	0. A MUHULDAK JELLEMZESEKE HASZNALI FUGALMAK	. 25
0.2. Napszinkron pálya 20 6.3. Geoszínkron pálya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PALYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 91/41 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2.4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A NOAA N 64	$6.1. \text{ Inklinacio} \qquad (1)$. 25
0.3. Geoszinkrön palya 27 6.4. Térbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak feltartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 3. A GMS-MITSAT műholdprogram 50 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 1.4. NOAA N 64 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. 1. A rendszer működése 72 5.	6.2 Napszinkron pałya	. 26
6.4. 1erbeli felbontás 27 6.5. Spektrális felbontás 27 6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak stabilizálása 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 64 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 1.4. NOAA N 56 1. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 1.3. A NOAA IS/18 műholdak műszerei 64 1.4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. A COSPAS-S	6.3. Geoszinkron palya	. 27
6.5. Spektralis felbontas 27 6.6. Ismétiődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLY ÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 58 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 67 3. 1. Berendezések a MetOp műholdak műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. 1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	6.4. Terbeli felbontas	. 27
6.6. Ismétlődő (ciklíkus) fedés vagy időfelbontás 28 6.7. A műholdak stabilizálása 28 6.8. A műholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGÓ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA Műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. A Z AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 67 3. I. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS	6.5. Spektrális felbontás	. 27
6.7. A müholdak stabilizálása 28 6.8. A müholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 63 1. A A VHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. A A VHRR szenzor és alkalmazási területei 64 1. A z NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2.4. Szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. A zeurópai MetOp program 66 3. A zeurópai MetOp program 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kér	6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás	. 28
6.8. A müholdak élettartama 28 7. Összefoglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS–MTSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 63 1.3. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3. J. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74	6.7. A műholdak stabilizálása	. 28
7. Osszefoglalás, ellenörző kérdések 29 2. GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 30 1. A NOAA-GŒS rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak egyűttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdk további műszerei 63 1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. A. NOAA 9/14 műholdak további műszerei 64 1. A. NOAA 9/14 műholdak további műszerei 64 1. A. NOAA 15/18 műholdak ovábbi műszerei 66 3. A z európai MetOp program 67 3. 1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 72 5. A Landsat 4-	6.8. A műholdak élettartama	. 28
2. GEOSTACIONARIUS METEOROLOGIAI MUHOLDAK 30 1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 58 1.3. A NOAA 15/18 műholdak további műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 72 5. A Landsat 4-5 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 79	7. Osszefoglalás, ellenőrző kérdések	. 29
1. A NOAA-GOES rendszer 30 2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁL YÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 63 1. A A ROAA 15/18 műholdak további műszerei 63 1. 3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1. 4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdakon 66 3. A curópai MetOp program 67 3. 1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. 1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 75 2. A Landsat 1-3 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 78 3. A Landsat 4-5 műholdak 78	2. GEOSTACIONARIUS METEOROLOGIAI MUHOLDAK	. 30
2. A METEOSAT műholdprogram 35 3. A GMS-MTSAT műholdprogram 46 4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdprogram 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3. 1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 97	1. A NOAA-GOES rendszer	. 30
3. A GMS-MTSAT müholdprogram 46 4. Az INSAT müholdprogram 50 5. A GOMS müholdprogram 51 6. A FENG-YUN müholdprogram 53 7. A geostacionárius müholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA müholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA müholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA müholdprogram 56 1. A A VHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 müholdak tvábbi müszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 müholdak müszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai müholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3. A. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. I. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 4–5 műholdak 83 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 </td <td>2. A METEOSAT műholdprogram</td> <td>. 35</td>	2. A METEOSAT műholdprogram	. 35
4. Az INSAT műholdprogram 50 5. A GOMS műholdprogram 51 6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 58 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 63 1. A A VHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4. 1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak	3. A GMS-MTSAT műholdprogram	. 46
5. A GOMS müholdprogram 51 6. A FENG-YUN müholdak együttes alkalmazása 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdak további műszerei 58 1. A TA AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak müszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3. I. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 93 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések </td <td>4. Az INSAT műholdprogram</td> <td>. 50</td>	4. Az INSAT műholdprogram	. 50
6. A FENG-YUN műholdprogram 53 7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MÜHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 58 1. A Z AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99	5. A GOMS műholdprogram	. 51
7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása 55 8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat 4–5 műholdak 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 75. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHO	6. A FENG-YUN műholdprogram	. 53
8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 55 3. POLÁRIS PÁLY ÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 66 3. Az európai MetOp program 67 3. I. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat 8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 7. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II.	7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása	. 55
 3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK 56 1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 93 5. Landsat 4–5 műholdak 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 	8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	. 55
1. A TIROS-NOAA műholdprogram 56 1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műholdak 83 4. A Landsat 4–5 műholdak 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 99	3. POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK	. 56
1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei 58 1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műholdak 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	1. A TIROS-NOAA műholdprogram	. 56
1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei 63 1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 7. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei	. 58
1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei 64 1.4. NOAA N 64 2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 7. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei	. 63
1.4. NOAA N642. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram663. Az európai MetOp program673.1. Berendezések a MetOp műholdakon684. A COSPAS-SARSAT RENDSZER714.1. A rendszer működése725. Összefoglalás, ellenőrző kérdések744. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.751. Bevezetés752. A Landsat 1–3 műholdak783. A Landsat 4–5 műholdak935. Összefoglalás, ellenőrző kérdések976. Összefoglalás, ellenőrző kérdések975. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II.991. Bevezetés992. SPOT 1-2 műholdak993. A SPOT-3 műhold108	1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei	. 64
2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram 66 3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	1.4. NOAA N	. 64
3. Az európai MetOp program 67 3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram	. 66
3.1. Berendezések a MetOp műholdakon 68 4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műholda 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 99	3. Az európai MetOp program	. 67
4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER 71 4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műholda 93 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	3.1. Berendezések a MetOp műholdakon	. 68
4.1. A rendszer működése 72 5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER	. 71
5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 74 4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	4.1. A rendszer működése	. 72
4. LANDSAT - ÖPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I. 75 1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	. 74
1. Bevezetés 75 2. A Landsat 1–3 műholdak 78 3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	4. LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I	. 75
2. A Landsat 1–3 műholdak783. A Landsat 4–5 műholdak834. A Landsat 6–7 műhold935. Landsat-8 műhold976. Összefoglalás, ellenőrző kérdések975. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II.991. Bevezetés992. SPOT 1-2 műholdak993. A SPOT-3 műhold108	1. Bevezetés	. 75
3. A Landsat 4–5 műholdak 83 4. A Landsat 6–7 műhold 93 5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	2. A Landsat 1–3 műholdak	. 78
4. A Landsat 6–7 műhold935. Landsat-8 műhold976. Összefoglalás, ellenőrző kérdések975. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II.991. Bevezetés992. SPOT 1-2 műholdak993. A SPOT-3 műhold108	3. A Landsat 4–5 műholdak	. 83
5. Landsat-8 műhold 97 6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	4. A Landsat 6–7 műhold	. 93
6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 97 5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	5. Landsat-8 műhold	. 97
5. SPOT - OPTIKAI ŚÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II. 99 1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	. 97
1. Bevezetés 99 2. SPOT 1-2 műholdak 99 3. A SPOT-3 műhold 108	5. SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II	. 99
2. SPOT 1-2 műholdak	1. Bevezetés	. 99
3. A SPOT-3 műhold	2. SPOT 1-2 műholdak	. 99
	3. A SPOT-3 műhold	108

4. A SPOT 4-5 műholdak	109
5. A SPOT 6-7 műholdak	114
6. A SPOT felvételek keresőháló rendszere (GRS)	114
7. A SPOT adatok feldolgozása, adatszintek	115
8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	117
6. OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK III	119
1. SZOVJET/OROSZ FÖLDKUTATÓ MŰHOLDPROGRAMOK	119
1.1. A METEOR-PRIRODA program	119
1.2. A RESURS-O orosz földkutató távérzékelési program	119
1.3. A RESURS-F sorozat	122
2. NASA ESE (EOS) PROGRAM	122
2.1. EOS TERRA program	123
2.2. EOS AOUA program (EOS-PM)	125
2 3 EOS ICESat műholdprogram	125
2.4 FOS SORCE műholdprogram	126
2.5. FOS AURA műholdnrogram (FOS-CHFM)	126
2.5.105 XORX manologiogram ($105-CHEM$)	126
2.1 IDS 1.4 millald	120
2.2 Az IDS 1D műhold	120
5.2. AZ IKS-1D IIIUII0IU	127
3.5. AZ IKS-IC/ID masodik generacios munoidak	127
3.4. AZ IKS-1E munold	129
3.5. Az IRS-P3 muhold	129
3.6. Az IRS-P4 (Oceansat)	130
3.7. Az IRS-P5 (Cartosat-1) műhold	130
3.8. Az IRS-P6 (RESOURCESAT-1) műhold	131
3.9. Indiai erőforráskutató műholdak 2005 után	131
4. AZ ADEOS MUHOLDAK	132
4.1. Az ADEOS-II (Midori-II) műhold	132
5. ORBVIEW PROGRAM MÜHOLDJAI	133
5.1. Az Orbview-1 műhold	133
5.2. Az Orbview-2 (SeaStar) műhold	133
6. RAPIDEYE PROGRAM	135
6.1. Műholdak, berendezések	135
7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések	136
7. NAGY FELBONTÁSÚ OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK	138
1. Az IKONOS műholdak	138
2. A QUICKBIRD műhold	142
3. Az ORBVIEW-3 műhold	145
4. GeoEve műholdak	146
5 WorldView műholdak	147
6 Összefoglalás ellenőrző kérdések	148
8 HIPERSPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS MŰHOLDAK	150
1 Bevezetés	150
2 Az AVIRIS szenzor	150
3 A DAIS-7015 szenzor	152
$\int \mathbf{A} \mathbf{D} \mathbf{A} \mathbf{B}^{T} \mathbf{D} \mathbf{A} \mathbf{B}^{T} \mathbf$	152
4. ITYMAP SZCHZOT	155
J. AZ ABA SZEIIZOI	154
0. Osszelogialas, elelloizo keldesek	154
9. FELDERITO (REM) MUNULDAK	155
1 Deve ette	155
1. Bevezetés	ררו
Bevezetés Corona program A Corona trial factorial fac	155
 Bevezetés	159
 Bevezetés	159 160
 Bevezetés	159 160 162
 Bevezetés	159 160 162 162
 Bevezetés	159 160 162 162 162
 Bevezetés	159 160 162 162 162 164
 Bevezetés	159 160 162 162 162 164 166
 Bevezetés	155 159 160 162 162 162 162 164 166 168

3.2. ERS-2 műhold 1	177
4. A RADARSAT műholdprogram 1	178
4.1. A RADARSAT-1	178
4.2. A RADARSAT-2 műhold 1	180
5. A JERS-1 (FUYO-1) műhold 1	183
6. Az ENVISAT műholdprogram 1	185
7. Az Okean-O sorozat 1	190
8. Új radar rendszerek a 2000-es évek elején 1	192
9. Az űrsiklón elhelyezett SIR és egyéb rendszerek 1	194
10. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 1	198
11. PASSZÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK 1	199
1. Bevezetés 1	199
2. A NIMBUS-7 műhold 2	200
3. A DMSP program 2	201
4. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 2	205
12. ŰRFELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA 2	207
1. Radiometrius korrekció 2	207
1.1. Radiometrikus korrekció elméleti háttere 2	207
1.2. Modellalkotás gyakorlati lépései 2	207
1.2.1. Radiancia értékek kiszámítása az intenzitásértékekből 2	207
1.2.2. Reflektancia érték számítása radiancia adatokból 2	208
1.3. Radiometrikus korrekció modellje grafikus felületen 2	210
1.3.1. Beépített model megnyitása 2	211
1.3.2. Új, grafikus modell szerkezete 2	211
1.3.3. Új, grafikus modell készítése a reflektanciaérték kiszámításához 2	212
1.4. Irodalomjegyzék 2	217
2. Összefoglalás, ellenőrző kérdések 2	218
A. Függelék	219

Az ábrák listája

1.1. Földi erőforrások és a környezetállapot elektromágneses érzékelése	. 1
1.2. Az elektromágneses hullám összetevői	. 2
1.3. Az elektromágneses spektrum részei a hullámhossz szerint	. 3
1.4. Különböző hőmérsékletű fekete testek kisugárzási energiaeloszlásai	. 5
1.5. Az atmoszférikus sugárzás kölcsönhatásai a légkörben és a földfelszínen	. 7
1.6. Az energiaforrás (a), a légköri hatások (b) és az érzékelő rendszer (c) spektrális	
tulajdonságai Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 11	. 9
1.7. Az elektromágneses energia és a földfelszín alapvető kölcsönhatásai	11
1.8. Az ideális és a diffúz visszaverődés folyamata	12
1.9. Lombhullató és tűlevelű fák általánosított spektrális reflektancia görbéi	13
1.10. Reflektancia görbék növényzetre, talajra és vízre (fent), és eltérő növényekre (lent)	15
1.11. A kamera/vidikon rendszerek képkészítési elve	18
1.12. A különböző pásztázó rendszerek felépítése és működésük	19
1.13. Példa keresztsávos és a sávmenti pásztázásra	21
1.14. Elektromechanikus és elektronikus multispektrális szkennerek felépítése	23
1.15. A spektrométerek vázlatos felépítése	23
1.16. A spektrométerek és a vizsgált tárgy helyzete a mérés során	24
1.17. A spektroradiométer funkcionális felépítése	25
1.18. A műholdak pályaelemei az egyenlítői koordináta rendszerben	25
2.1. A GOES-13 (East) műhold modellje	33
2.2. A GOES-13 (East) műhold által lefedett terület 2013.06.16-án	33
2.3. A GOES-15 (West) műhold által lefedett terület 2013.06.16-án	34
2.4. A METEOSAT műhold modellje METEOSAT Structure	35
2.5. A Meteosat műhold felépítése	37
2.6. Az MSG műhold modellje és részletes felépítése	38
2.7. Meteosat-7 VIS kép színes megjelenítéssel (copyright 2001 EUMETSAT)	41
2.8. Meteosat-8 RGB színes kompozit (NIR1.6, VIS0.8, VIS0.6) (copyright 2003 EUMETSAT))	41
2.9. Meteosat-8 IR10,8 kép 1998. okt. 20. (copyright 1998 EUMETSAT)	42
2.10. Meteosat-7 WV (vízgőz) kép 1998. okt. 20. (copyright 1998 EUMETSAT)	43
2.11. Meteosat-9 WV (vízgőz) kép 2011. okt. 27. (copyright 2011 EUMETSAT)	44
2.12. A GMS-1 műhold felépítése	46
2.13. A MTSAT-2 műhold	49
2.14. A MTSAT-2 felvétele az infravörös sávban (2013.06.16)	49
2.15. A GOMS műhold modellje	51
2.16. A Feng-Yun-2 műhold modellje	53
2.17. Az első Feng-Yun-2E műholdkép a látható fény sávban 2010.11.22	54
3.1. A TIROS-1 műhold modellje	56
3.2. A NOAA-11 műhold modellje	57
3.3. A jelenlegi NOAA műholdak felépítése	57
3.4. A NOAA AVHRR lefedési területe az észak-amerikai kontinens felett	59
3.5. A NOAA AVHRR LAC adatainak átalakítása GAC adatokká	62
3.6. A METOP-B első felvétele	69
4.1. Az ERTS-1 (LANDSAT-1) műhold felépítése	75
4.2. A LANDSAT műholdak RBV képkészítési rendszere	79
4.3. A LANDSAT MSS képkészítési rendszere	81
4.4. Az MSS berendezés és a képkészítés technikája	82
4.5. A Landsat 4–5 műholdak pályasajátosságai	83
4.6. A LANDSAT 4–5 egymást követő napi pályáinak helyzete	84
4.7. A LANDSAT 4–5 műholdak modellje	85
4.8. Magyarország területét lefedő Landsat felvételek azonosítói	88
4.9. TM 321 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban M	1akó a
Maros mentén látható, 1986.08.22)	89
4.10. TM 453 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban	Makó a
Maros mentén látható, 1986.08.22)	90
4.11. TM 432 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban	Makó a
Maros mentén látható, 1986.08.22)	91

4.12. TM 743 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban Makó a		
Maros mentén látható, 1986.08.22)	. 92	
4.13. A LANSDAT 4-5 16 napos fedési ciklusa és a pályák	. 93	
4.14. A LANDSAT-7 műhold modellje	. 94	
4.15. Részlet a Landsat 7 ETM+ hőtartományú infravörös felvételből	. 95	
4.16. Landsat SLC – pásztázási vonalkorrekció folyamatának vázlata	. 96	
5.1. A SPOT műhold vázlatos felépítése	. 99	
5.2. A SPOT többszörös területfedése a 45° szélességen (a) és az Egyenlítőn (b)	100	
5.3. A SPOT-4 műhold vonalsoros detektora	102	
5.4. Vonal-soros képalkotó technika	103	
5.5. A SPOT nadír és off-nadír tükörállásai	103	
5.6. A SPOT műhold oldalra (off-nadír) tekintési lehetősége	104	
5.7. A HRV-1,-2 felszíni területfedése egyidejű működéskor	105	
5.8. A SPOT műhold sztereokép készítési lehetősége	106	
5.9. A SPOT-4 műhold felépítése	109	
5.10. A VEGETATION szenzor felépítése	110	
5 11 Sztereokének felvételezése HRS berendezéssel	112	
5.12. A SPOT műholdak méretarányos összehasonlítása	113	
5 13 A SPOTCatalog keresőfelülete	115	
5 14 SPOT földi fogadóállomások és hatókörzetük	115	
5.15 SPOT standard (01-4) és speciális negvedkének (0S)	117	
61 A RESURS-01 műhold modellie	120	
62 Az MKE-6 multisnektrális kamerarendszer	120	
6.3 A LISS III és a DAN kamera káneinek kancsolata	122	
6.4. A SooWiES barendozóa	120	
6.5 A DanidEve falvétalk korecése ez EveEindTM falületén	134	
6.6. A MISSISSIDDI delte agy DenidEye felvételen (Convright @ DenidEye)	133	
7.1 Az IVONOS műhald madallia	120	
7.1. AZ IKONOS munoia modelije	139	
7.2. 1 m leidoniasu mesztett, korrigan iKONOS kep Gyula varosaroi (2005.aug. 11.)	140	
7.5. A QuickBird munoid modelije	142	
7.4. A GeoEye muhold modellje	146	
7.5. A World View-2 muhold modelije	14/	
8.1. Az AVIRIS szenzor felepítése	151	
8.2. A légkőr jellegzetes AVIRIS spektruma a vizsgált 224 sáv alapján	151	
8.3. A DAIS-/915 kepalkoto rendszere	152	
9.1. Fénykép a Corona (KH-4B) képkészítő rendszerérő	157	
9.2. Szeged belvárosa Corona felvételen (KH-4B, pankromatikus felvétel, 1972.05.26.)	158	
10.1. A képkészítő radarrendszerek blokkdiagramja	162	
10.2. A domborzat hatása a SLAR képkészítésben	164	
10.3. A SEASAT műhold modellje	167	
10.4. Az ERS-1 berendezései a műholdon	169	
10.5. Az ERS-1 főbb egységei oldalnézetben	169	
10.6. Az ERS-1 AMI kép mód geometriája	170	
10.7. Az ERS-1 AMI hullámmód geometriája	171	
10.8. Az RA sávok 3 napos és 35 napos ismétlődési ciklusban	172	
10.9. Az ERS-1 berendezések területfedései	175	
10.10. A RADARSAT-1 műhold felépítése	178	
10.11. A RADARSAT-1 különböző üzemmódjai	179	
10.12. A RADARSAT-2 műhold modellje	180	
10.13. Grönland jéggel borított partvidéke	181	
10.14. A JERS-1 műhold felépítése és fontosabb egységei	183	
10.15. Az ENVISAT műholdon elhelyezett berendezések	185	
10.16. Az Okean-O No.1. műhold modellje	190	
10.17. A 2001. február 27-én készült Okean-O felvétel	191	
10.18. A TerraSAT műholdak modelljei	193	
10.19. Az SRTM fő antennája az űrsikló rakterében és a raktérből kinvúló tartószerkezet	195	
10.20. Radarjelek fáziskülünbségének mérése két antennával az űrsiklón	195	
10.21. A MOMS-2P képkészítő geometriáia	197	
11.1. A NIMBUS-7 műhold modellie	200	
11.2. A DMPS-5D3 védelmi meteorológiai műhold a szerelőcsarnokban	202	
5		

11.3. Dél-Közép-Európa éjszakai fényei a DMSP műhold felvétele alapján	203
11.4. Az NPOESS műhold modellje (illusztráció)	204
12.1. Kalibrációs adatok Landsat 5 TM szenzorához (Chandler-Markham, 2003)	207
12.2. Az USGS Glovis felülete a példában szereplő űrfelvétellel	209
12.3. A Föld (ill. más bolygók) és a Nap távolságát kiszámító interaktív felület	210
12.4. Az átlagos külső-atmoszférikus irradiancia (ESUN _λ) értékei W/m ² *µm-ben	210
12.5. Beépített model betöltése a Modeler Model Maker menűjéből	211
12.6. Az Erdas Modeler Model Maker nyitófelülete és az eszközpaletta	211
12.7. Egyszerű grafikus modell az Erdas Imagine 9.1. modellezőjében	212
12.8. A Model Maker input raszterréteg szerkesztőfelülete	213
12.9. Függvény megadása a Model Maker-ben	214
12.10. Radiancia és reflektancia értékeket számító modell szerkezete 1 sávra	215
12.11. Radiancia és reflektancia értékeket számító modell szerkezete sávonként összefűzéssel	216
12.12. Radiancia és reflektancia értékeket számító modell teljes struktúrája sávonként összefűzéss	sel 216

A táblázatok listája

1.1. Atmoszférikus ablakok a 0,3–15 µm-es hullámhossz-tartományban	9
2.1. A NOAA-GOES 1-7 műholdak felbocsátási ideje	30
2.2. A GOES 8-12 műholdak alapadatai	31
2.3. A képkészítő radiométer tulajdonságai a GOES-I/M műholdakon	32
2.4. Szonda berendezés csatornái a GOES I-M műholdakon	32
2.5. A METEOSAT műholdak tevékenységi periódusai és pozíciójuk	36
2.6. A HRR szenzor képkészítő rendszerének tulajdonságai	37
2.7. A SEVIRI tulajdonságai és alkalmazási lehetőségei	40
2.8. A GMS műholdak felbocsátási ideje és pozíciója	47
2.9. Az INSAT-1 műholdsorozat tagjai	50
2.10. Az STR pásztázó televíziós radiométer csatornái	53
2.11. A FENG-YUN-2A/E műholdak VISSR szenzorának spektrális sávjai	54
3.1. A NOAA 6-19 műholdak felbocsátási ideje és pályaadataik	58
3.2. A NOAA 6-19 műholdak AVHRR szenzorának adatai	60
3.3. A NOAA 11/17 műholdak műszerei	63
3.4. Változások a NOAA-AVHRR csatornákban a NOAA műholdakon	64
3.5. A tervezett csatornák és alkalmazási területek az AMSU-A és az AMSU-B berendezésekkel a	1
NOAA-K műholdon	65
3.6. Az AMRIR csatornák frekvenciáj a tervezett NOAA műholdakon	65
3.7. A METEOR-1 műholdsorozat szenzoriainak adatai	66
3.8. A MetOn AVHRR/3 szenzorának sáviai és felhasználási ideiük	70
3.9. A Cosnas-Sarsat rendszer működő műholdiai	71
3.10. A Cospas-Sarsat rendszer lehetőségei	73
4 1 A LANDSAT 1-7 műholdak általános tulaidonságai	76
4 2 A Landsat-1-7 műholdak érzékelő szenzorai	77
4 3 A Landsat TM szenzor snektrális sávjaj	87
4 4 A leggyakrabhan használt TM színes (RGB) sávkombinációk	89
4 5 Az ETM+ spektrális sáviai és felbontásuk	94
4.6. Snektrális sávok és felbontás a Lansat 8 OLL és a Landsat 7 FTM+ szenzorokon)	97
5 1 A SPOT HRV 1-2 adattovábbítási lehetőségek	108
5.2 Összefoglaló táblázat a SPOT 1-3 műholdakról	108
5.3 A VEGETATION 1-2 berendezések adatai	111
5.4 A SPOT műholdak szterenkén-készítési lehetőségei	113
6.1. Szenzorok a Meteor-Priroda műholdakon	110
6.2 A Resurs-O (No3-4) műholdak MSU-SK berendezéseinek naraméterei	121
6.3 Az ASTER snektrális sáviai nontosság és térbeli felbontás	121
6.1 Az IRS 1.4 LISS szenzorának jellemző adataj	123
6.5. Az IRS 1C ás 1D műholdok pályasajátosságaj	127
6.6 Az IRS-1C cs 1D műhold szenzorajnak jellemző adataj	127
6.7 Az IPS P3 műhold MOS szenzorának tuloidonságai	120
6.9. Az IDS D4 műszaki adotai	129
6.0. Az IRS-14 IIIuszaki audiai	120
6.10 Az IBS Dé műhold kénkészítő szonzorajnak tulaidonsésaj	121
6.10. Az IRS-PO multola kepkesztió szenzolallak tulajdollságai	121
6.12. A SooWiES granger analytic testamányai	121
7.1. A = IKONOS műhald lagfantagakh adatai	133
7.2. A = IKONOS termélee a norie nélée neutosof se aronint	138
7.2. AZ IKONOS termekek a pozicionalas pontossaga szerint	140
7.5. Nagyleidontasu kepaikoto rendszerrei teiszereit munoidak adatai	141
7.4. A Quickbird szenzoranak spektralis savjal	143
7.5. A Quickoird termekek megrendelesi prioritasai	145
1.0. AZ OTDVIEW-3 KEPKESZITO FENGSZEFENEK SAJATOSSAGAI	145
9.1. A COKONA-program tobb adata	156
9.2. A Corona programban nasznalt kamerak, filmek jellemző adatai	157
9.5. A KH-1-b munoidak fizikai parameterei	157
9.4. A KH-/-12 muholdak fizikai paramèterei	159
10.1. A mikrohullámu távérzékelési szenzorok osztályozása és tevékenységük	164

10.2. Az ERS-1 pályatulajdonságai a működési szakaszokban	174
10.3. Az ERS-1 tervezett tevékenységei a repülés ideje alatt	174
10.4. Az ERS-1 műszerek alkalmazási lehetőségei	175
10.5. A RADARSAT-1 technikai jellemzői	178
10.6. A RADARSAT-1 SAR üzemmódjai	179
10.7. A JERS-1 optikai rendszerének (OPS) összefoglaló táblázata	184
10.8. Az ENVISAT műszerek feladatai	188
10.9. Az űrsiklókról indított műholdak összefoglaló táblázata	194
10.10. A MOMS-2 szenzorának tulajdonságai	196
10.11. A MOMS-2 változtatható megfigyelési módjai	197
11.1. A NIMBUS műholdak pályaadatai és szenzoraik	199
11.2. A NIMBUS-7 CZCS csatornái és hullámhosszuk	201
11.3. A legutóbbi DMPS műholdak indítási ideje, a tevékenység kezdete	202
11.4. Műszerek és azok feladatai a NPOESS műholdakon	204
A.1. Az elektromágneses spektrum hivatalos nemzetközi felosztása	219
A.2. A mikrohullámú sávok nemzetközi felosztása a frekvencia alapján	220
A.3. Különböző műholdas SAR rendszerek összehasonlító táblázata	220
A.4. Az aktív mikrohullámú szenzorok frekvenciái és a vizsgált jelenségek	221

ELŐSZÓ

A jelen digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0025 számú, "Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz" című projekt részeként készült el.

A projekt általános célja a XXI. század igényeinek megfelelő természettudományos felsőoktatás alapjainak a megteremtése. A projekt konkrét célja a természettudományi mesterképzés kompetenciaalapú és módszertani megújítása, mely folyamatosan képes kezelni a társadalmi-gazdasági változásokat, a legújabb tudományos eredményeket, és az info-kommunikációs technológia (IKT) eszköztárát használja.

MAGYARORSZÁG MEGÚJUL A Műholdas távérzékelés könvv 2004-ben jelent meg a Libellus Kiadó gondozásában. A puha fedeles könvv

SZÉCHENYI TERV

eljutott a hallgatókhoz, doktori értekezésekben hivatkoztak rá, de miután nem került be a terjesztői hálózatba a hozzáférés mind a mai napig nehezen megoldható. A könyv megjelenése óta eltelt közel egy évtizedben a távérzékelés eredményei egyre nagyobb szerepet kaptak mindennapi életünkben. A meteorológiai műholdak által készített felvételeket már régóta láthatjuk a különböző televíziós csatornák időjárásjelentéseiben, de a távérzékeléses technológia ugrásszerű fejlődésének köszönhetően napjainkban olyan gyakorlati feladatokat is távérzékelt adatok alapján oldunk meg mint pl. a termésbecslés, belvíztérképezés, nagy pontosságú topográfiai, települési stb. térképek szerkesztése, domborzatmodellezés (ez alapján pl. szükségtározó térfogatának kiszámolása), vagy a katasztrófák áldozatainak felkutatása.

A műholdas távérzékelés fizikai alapjainak, valamint a korábban is használt rendszerek régi és új tagjainak bemutatása mellett, az utóbbi évtized legfontosabb eredményeiről számol be a Műholdas távérzékelés (elmélet és gyakorlat) c. digitális tananyag. A tananyagot a TÁMOP 4.1.2.A/1-11/0025 sz. Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztésa természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz c. projekt keretében fejlesztettem tovább, kiegészítve a 2004-2013 közötti főbb fejlesztések bemutatásával, és néhány képfeldolgozási gyakorlati módszerrel. A digitális tananyag kerete biztosítja a folyamatos fejlesztést és bővítés lehetőségét, és nem utolsó sorban gyors és ingyenes hozzáférést biztosít a tartalomhoz.

A műholdfelvételek térbeli felbontása már a polgári alkalmazások terén is 0,5 m-nél jobb lett, a multispektrális rendszerek utódjaként megjelentek a hiperspektrális képalkotó rendszerek, és megnyílt néhány műholdrendszer és titkos katonai felderítő program képi adatbázisa is.

A korábban önálló nemzeti űrprogramot indító nemzetek mellé újabbak csatlakoztak, és nemzetközi összefogással számos űrprogramot valósítottak meg, ill. terveznek a közeljövőben. A távérzékelt adatokból előállított kereskedelmi termékek forgalmazása és megjelentetése szigorú jogi szabályozás alatt áll, így a tananyagban a rendszerek bemutatását helyeztem előtérbe kevesebb felvételt bemutatva, de a szenzorok részletes tárgyalásakor megadtam a jelenleg élő honlapok elérhetőségeit, ahol sok-sok űrfelvétel megtekinthető és letölthető.

A könyv részben tankönyvként ajánlható felsőoktatási intézményekben a távérzékelést magában foglaló alapés/vagy mesterszakos kurzusokhoz, valamint gyakorlati útmutatóként használható a távérzékelés gyakorlati alkalmazásakor.

A tananyag interdiszciplináris megközelítésű, hiszen a fizikai alapok után a műholdrendszerek a földrajzi, környezettudományi, meteorolgiai, geológiai, stb. tudományterületen történő alkalmazási is bemutatásra kerülnek. Már eddig is számos felsőoktatási intézményben és képzésben használják a digitális tananyag alapjául szolgáló könyet. A digitális tartalom, és a külső linkek révén nemcsak maga a tananyag, hanem a külső szakmai tartalomszolgáltatók is elérhetővé válnak egy tananyagon keresztül.

A tananyag tanulásakor érdemes a fizikai alapokat tartalmazó 1. fejezetet először elsajátítani, majd a nagyobb egységeket: meteorológiai műholdak (2., 3. fejezet); az oktikai távérzékelési műholdakat (5-10. fejezet); a mikrohullámú rendszereket (11-12. fejezet); ill. az űrfelvételek feldolgozása c. (13. fejezet) áttekinteni.

A digitális tananyag nem e-learning tananyag, de nem is csak egy korábbi könyv digitális változata. Minden fejezetek elején rövid célkitűzés, tartalmi összefoglaló, kulcsszavak segítik az egyéni tanulást. A szöveg közben kiemeléseket, külső oldalakra hivatkozásokat talál az olvasó, melyekre kattintva a külső tartalom azonnal megjelenik. A fejezetek végén rövid összefoglalás és ellenőrző kérdések vannak.

A tananyaggal kapcsolatos bármilyen véleményt szívesen fogad a szerző mucsi@geo.u-szeged.hu emailcímen.

1. fejezet - A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK

Ebben a fejezetben a távérzékelés fogalma, a legfontosabb fizikai összefüggések, törvényszerűségek kerülnek bemutatásra. Az új ismeretek megtanulásához szükségesek a középiskolában tanult fizikai (optikai) ismeretek.

korábbi ismeretek: hullámhossz, frekvencia, mikrométer, elektromágneses sugárzás, elektromágneses spektrum

kulcsszavak: Stefan-Boltzmann-féle törvény, Wien-féle törvény, szóródás, elnyelés, reflektancia

1. BEVEZETÉS

Távérzékeléses módszerekkel vizsgálhatók adott tárgyak, felszínformák, vagy egyéb jelenségek olyan paraméterei, melyeket az érzékelő eszköz úgy képes mérni és rögzíteni, hogy a mérőműszer nincs közvetlen kapcsolatban a vizsgálat tárgyával. Az olvasás is távérzékelés, hiszen a szemünk az az érzékeny szenzor, amely feldolgozza a papír fehér és fekete területeiről visszaverődő sugárzást, fényt. Ezeket az adatokat elemezzük az agyunkban és az érzékelés után már nem fekete vagy fehér foltokként értelmezzük azokat, hanem betűkként, szavakként. A szavak mondatot alkotnak és a mondat értelme lesz hasznos információ számunkra.

A távérzékelés több értelemben is egy olvasási folyamat. Különféle szenzorokat alkalmazva távérzékelés útján gyűjtjük össze az adatokat, melyeket elemezve információt kapunk a vizsgált tárgyakról, területekről és jelenségekről. A távérzékeléssel összegyűjtött adatok nagyon sokféle formájúak lehetnek. Például valamilyen erő eloszlásváltozását, a hanghullám eloszlását vagy az elektromágneses energia eloszlását mutathatják. A graviméter a gravitációs erő eloszlásának változásait mutatja. A hajókon elhelyezett szonár adatokat szolgáltat a hanghullámok terjedéséről és a meder vagy az óceánfenék visszaveréséről, míg a szemünk az elektromágneses energia egy részének – a látható fénynek – az eloszláskülönbségéről nyújt információt.

E könyv az elektromágneses energiát érzékelő szenzorokról, szűkebben a műholdakon elhelyezett szenzorokról ad ismertetést. Ezek a műszerek és technikák, a légifényképezéshez hasonlóan, fontos szerepet játszanak a felmérésben, a térképezésben, a földi erőforrások kutatásában, stb. Az alkalmazott szenzorok azért képesek biztosítani a földfelszín különböző tárgyaira vonatkozó spektrális adatokat, mert azok, a tárgyra sajátosan jellemző módon, elnyelik, visszaverik vagy kisugározzák az elektromágneses energiát. A feldolgozás és értelmezés után ezek az adatok informá-cióul szolgálnak a vizsgált objektum jellemző tulajdonságaira vonatkozóan.

Az 1.1. ábra bemutatja azokat a folyamatokat, melyek meghatározók a földi erőforrások műholdas elektromágneses távérzékeléses vizsgálatában. A két legfontosabb folyamat az adatok gyűjtése és elemzése. Az adatgyűjtés során figyelembe kell venni az energiaforrás (általában a Nap), az aktív rendszerekben a műhold, vagy a földfelszín tulajdonságait, az energia terjedési sajátosságait, a földfelszín és az energia kapcsolatát, a visszairányított energia változásait az atmoszférán át az érzékelőig, a műhold szenzorának érzékenységét, az adatok képi vagy digitális formába történő átalakítását. Röviden, a szenzorok rögzítik azokat az elektromágneses sugárzásváltozásokat, melyeket a földfelszín különböző alakzatai okoznak a visszaverődés, az elnyelés és a kibocsátás által. Az adatelemzés folyamata tartalmazza a képi adatok vizsgálatát, különböző képi vagy megjelenítő eszközöket, és/vagy egy számítógépet, mely megfelelő szoftverrel alkalmas a digitális adatok feldolgozására, elemzésére.

1.1. ábra - Földi erőforrások és a környezetállapot elektromágneses érzékelése¹

¹Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 2

A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK



A vizsgált jelenségek referencia adatai (talaj, területhasznosítási, erdészeti, topográfiai, geológiai térképek, mért adatok, stb.) nagy segítséget adnak az adatok elemzésekor. A referencia adatok alapján az elemző kiterjesztheti ismereteit a szenzor által összegyűjtött teljes adatmennyiségre. Ezek az információk a folyamat végén, mint összeszerkesztett termékek jelennek meg vagy egy kinyomtatott térkép formájában vagy számítógépes állományok (file-ok) alakjában. A digitális térbeli adatok egymással vagy más adatokkal rétegzetten egymás fölé helyezhetők, létrehozva egy olyan adatbázist, mely elemezhető, kiértékelhető képfeldolgozó eszközökkel, illetve az adatok beilleszthetők egy földrajzi információs rendszerbe (FIR). A végső fázisban az információk a felhasználók számára érthető formában jelennek meg, melyeket azután bevonhatnak saját döntéselőkészítő, döntéshozó folyamatukba.

2. ENERGIAFORRÁSOK ÉS A SUGÁRZÁS FIZIKAI TÖRVÉNYEI

A látható fény az elektromágneses spektrum vékony szelete, melynek a látható fényen kívül igen sokféle formája létezik: pl. rádióhullámok, hő-, ultraibolya, röntgen-, γ -sugárzás (1.függelék). Mindezek az energiák alapvetően hasonlítanak egymásra és tulajdonságaik leírhatók a hullámelmélettel.

Az elmélet szerint az elektromágneses energia szinuszhullám formájában, harmonikusan terjed a fény sebességével (c). Két szomszédos hullám csúcsa közötti távolságot hullámhossznak (λ), az időegység alatt egy rögzített ponton áthaladó csúcsok számát frekvenciának (v) nevezzük (1.2. ábra).

1.2. ábra - Az elektromágneses hullám összetevői



A következő elemi fizikai összefüggés teljesül a hullámokra:

$c = v \cdot \lambda$

Miután a c konstans ($3x10^8$ m/s, vákuumban), a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak, így bármelyikkel egyértelműen leírhatjuk a hullámzást. A távérzékelésben az elektromágneses hullámokat leggyakrabban a hullámhosszukkal jellemezzük. A hullámhossz mérésére általánosan használt mértékegység a mikrométer (1 µm= 1x10⁻⁶ m).

Bár különböző néven ismerjük az elektromágneses spektrum tartományait (pl. ultraibolya vagy mikrohullám), nincs egyértelmű választóvonal az egyes tartományok között. A spektrumon belüli sugárzástípusok elkülönítése úgy finomodott, ahogy a szenzorok érzékenysége növekedett. Az elektromágneses spektrumnak a távérzékelésben használatos tartomány határait az egyszerűség kedvéért a 10-es alapú hatványok egész kitevőihez köthetjük (1.3. ábra). A látható fény tartománya kicsiny, de az emberi látás szempontjából a spektrum legfontosabb része, így határai külön is említést érdemelnek. Az emberi szem érzékenysége mindössze a 0,4–0,7 µm közötti sávra terjed ki. Ezen belül a kék szín 0,4–0,5 µm, a zöld 0,5–0,6 µm, a vörös 0,6–0,7 µm hullámhosszú. Az ultraibolya sugárzás a spektrum látható részének kék-ibolya színű végéhez kapcsolódik. A látható fény vörös végéhez kapcsolódó infravörös tartomány három különböző kategóriára bontható: közeliinfravörös (near-infrared) 0,7 µm-től 1,3 µm-ig, a közepes-infravörös (mid-infrared) 1,3–3 µm és a hőtartományú-infravörös (thermal-infrared) 3 µm-től. A spektrum sokkal hosszabb hullámhosszú (1 mm–1 m) tartománya az ún. mikrohullámú sugárzás tartománya.

1.3. ábra - Az elektromágneses spektrum részei a hullámhossz szerint



A legáltalánosabb érzékelő rendszerek a látható fény egy vagy több sávjával, infravörös sávokkal vagy mikrohullámokkal dolgoznak. A távérzékelés szempontjából nagyon fontos, hogy az infravörös tartományon belül csak a hőtartományú-infravörös sáv alkalmas a hőmennyiség direkt érzékelésére a másik két sáv, a közeliés a közepes-infravörös sáv nem.

Bár a hullámelmélet alkalmas a hullámok tulajdonságainak leírására, az elektromágneses energia anyagtermészete miatt egyéb ismeretekre is szükség van, s így válik világossá az elektromágneses energia és az anyagok közötti kölcsönhatás. A részecskeelmélet rávilágít arra, hogy az elektromágneses sugárzás hordozója az a diszkrét egység, amit fotonnak vagy kvantumnak nevezünk.

Egy kvantum energiája a következőképpen adható meg:

ahol

Q = egy kvantum energiája, Joule (J)

h = Planck-állandó, 6,626x10⁻³⁴ Jsec

v = frekvencia

Az I.1 egyenletből kifejezhetjük a frekvenciát a hullámhossz és a fénysebesség segítségével, majd behelyettesítve az I.2 egyenletbe kapjuk az alábbi egyenletet.

Ebből azt láthatjuk, hogy egy kvantum energiája fordítottan arányos a saját hullámhosszával, vagyis minél nagyobb a hullámhossz, annál kisebb az energiatartalom. Ennek a törvényszerűségnek alapvető szerepe van a távérzékelésben, hiszen a természetes eredetű hosszúhullámú sugárzás, mint pl. a földfelszín mikrohullámú kisugárzása, nehezebben érzékelhető, mint a rövidebb hullámhosszú kisugárzott, hőtartományú-infravörös sugárzás energiája. A hosszúhullámú sugárzás kis energia-tartalma azt jelenti, hogy a hosszúhullámú sugárzást mérő, érzékelő rendszereknek a földfelszín nagyobb területét kell vizsgálniuk adott időegység alatt, mert csak így juthatnak érzékelhető energiamennyiséghez a mérés során.

A távérzékelésben a Nap a legfontosabb elektromágneses sugárzásforrás, bár minden anyag az abszolút nulla fok fölötti hőmérsékleten (0 °K vagy -273 °C) folyamatosan kibocsát elektromágneses sugárzást. Ezért minden földi tárgy sugárzásforrásnak tekinthető, más erősséggel és spektrális összetétellel, mint pl. a Nap. Egy tárgy által kisugárzott energia mennyisége függ a tárgy felszínének hőmérsékletétől. Ez a tulajdonság a Stefan-Boltzmann-féle törvénnyel fejezhető ki, amely szerint:

 $M = \sigma \cdot T$

ahol

M = a sugárzó test 1 m²-nyi felületéről, 1 s alatt kisugárzott összenergia a

teljes hullámhossz-tartományban (a test sugárzási teljesítménye, W/m2),

 σ = Stefan-Boltzmann állandó, 5.6697x10-8 Wm^{-2°}K⁻⁴,

T = a kibocsátó anyag abszolút hőmérséklete (°K).

A képlet módosítása (I.5) a spektrális összintenzitást fejezi ki az alábbiak szerint

 $I = A \cdot \sigma \cdot T^4$

ahol

A = a sugárzó test összfelülete (m^2),

I = a spektrális összintenzitás.

Ebből az egyenletből látható, hogy a fekete test teljes kibocsátott energiája (sugárzása) az abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos, vagyis rendkívül gyorsan növekszik, ahogy a hőmérséklet emelkedik. A Stefan-Boltzmann-törvény egy olyan energiaforrásra vonatkozik, amely rendelkezik a fekete test tulajdonságaival. A fizika abszolút fekete testnek nevezi az olyan objektumot, amely a ráeső sugárzást függetlenül attól, hogy az milyen hullámhosszúságú, teljes egészében elnyeli és az elnyelt energiát teljes egészében, minden hullámhosszon ki is sugározza. A tárgyak csak megközelítik ezt az ideális állapotot.

Ahogyan a hőmérséklet meghatározza a tárgy által kibocsátott teljes energia-mennyiséget, úgy változik a kibocsátott energia spektrális eloszlása is. Az 1.4. ábra a 200–6000 °K közötti hőmérsékletű fekete testek energiaeloszlási görbéit ábrázolja.

1.4. ábra - Különböző hőmérsékletű fekete testek kisugárzási energiaeloszlásai²

² Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 8.



A függőleges tengely egysége (Wm⁻²µm⁻¹) 1 µm széles spektrális intervallumra fejezi ki a fekete test sugárzási energiáját. Ebből következik, hogy a görbe alatti terület egyenlő a teljes sugárzással (M) és grafikusan illusztrálja azt, amit a Stefan-Boltzmann törvény matematikailag kifejez: minél nagyobb a sugárforrás hőmérséklete annál nagyobb a kibocsátott teljes energiamennyisége. A görbesorozat azt is mutatja, hogy minél magasabb a sugárforrás hőmérséklete, annál rövidebb hullámhosszon éri el a kibocsátási csúcsot. A kibocsátási csúcs hullámhossza, vagyis ahol a fekete test sugárzási görbéje eléri a maximumát, függ a fekete test hőmérsékletéfől a Wien-féle eltolódási törvény alapján:



ahol

 $\lambda_{max} = a maximális spektrális sugárzás hullámhossza µm-ben,$

T = abszolút hőmérséklet, °K

 $A = 2898 \ \mu m^{\circ} K.$

Ebből következik, hogy a maximális spektrális sugárzáshoz (emisszió-képességéhez) tartozó hullámhossz fordítottan arányos a fekete test abszolút hőmérsékletével, vagyis a sugárzás maximuma az abszolút hőmérséklet növekedésével a rövidebb hullámok felé tolódik el. Ezt a jelenséget könnyen megfigyelhetjük, ha egy

fémdarabot, pl. egy vasdarabot melegítünk. Amint a tárgy fokozatosan melegszik, egyre tüzesebb lesz és a színe lassan átvált a rövidebb hullámhossznak megfelelően sötét vörössé, majd narancs, sárga színűvé és esetleg fehérré.

A Nap egy 6000 °K-os fekete testhez hasonló sugárzó forrás. Egy 3000 °K-os izzólámpának relatíve kicsiny az energiakisugárzása a kék fény tartományban és sugárzásának spektrális összetétele nem ugyanolyan, mint a Napé.

A felszín anyagainak (talaj, víz, növényzet) átlagos hőmérséklete kb. 300 °K (27 °C). A Wien-féle törvény szerint, a földfelszín a 9,7 μm-es hullámhosszon bocsátja ki a maximális spektrális energiát. Ez kapcsolatban van a földfelszíni hővel, ezért termális infravörös energiának nevezik. Ez a sugárzás nem látható fényképen, de észlelhető speciális eszközökkel, pl. radiométerrel. Összehasonlításként, a Nap sokkal nagyobb energiacsúcsa a 0,5 μm-es hullámhossz közelében jelentkezik. A szemünk és a fényképpapír érzékeny az ilyen erősségű és hullámhosszú energiára. Ezért, amikor a Nap az égbolton van, a tárgyakat a visszavert napenergia révén vagyunk képesek érzékelni. A látható fénynél hosszabb hullámú kibocsátott energia csak speciális szenzorok segítségével vizsgálható. A 3 μm-es hullámhossz az általános határvonal a visszavert és a kibocsátott infravörös sugarak között. Ez alatti hullámhosszakra a visszavert energia, e fölött a kibocsátott energia a jellemző.

Bizonyos szenzorok, pl. a radarok, saját energiaforrásukkal pásztázzák a vizsgált felszínt. Az ilyen rendszereket aktív, a természetes sugárzást érzékelő rendszereket pedig passzív rendszereknek nevezzük. A villanófényt alkalmazó kamera aktív, míg a tárgyakról visszaverődő napsugárzást rögzítő fényképezőgép passzív rendszernek minősül.

3. AZ ATMOSZFÉRÁN ÁTHALADÓ SUGÁRZÁS TULAJDONSÁGAI

Függetlenül az energiaforrástól, minden az érzékelő által feldolgozott sugárzás rövidebb vagy hosszabb utat tesz meg az atmoszférában. A passzív és az aktív érzékelőkre érkező sugárzás kétszer is áthalad az atmoszféra teljes vastagságán, amíg a forrástól az érzékelőhöz ér. Ez alól csak a termális érzékelés a kivétel, hiszen ebben az esetben a tárgyak által kibocsátott hőhullámok csak egyszer haladnak át az atmoszférán, míg az érzékelőt elérik.

Az atmoszféra távérzékelésre gyakorolt hatása függ (1) a sugárzás által megtett út hosszától, (2) a sugárzás energiájának nagyságától, változásaitól, (3) az atmoszféra összetételétől, a részecskék nagyságától, valamint a (4) hullámhossztól (1.5. ábra).

A legfontosabb két atmoszférikus hatás a szóródás és az elnyelés.

1.5. ábra - Az atmoszférikus sugárzás kölcsönhatásai a légkörben és a földfelszínen



3.1. Szóródás

Az atmoszférikus szóródás az atmoszférában megtalálható részecskék okozta, előre nem jelezhető sugárzásdiffúzió. A szóródásnak típusa létezik, aszerint, hogy a részecske átmérője hogyan viszonyul a vele kölcsönhatásba lépő sugárzás hullámhosszával. Az ipari, közlekedési eredetű részecskék, molekulák, vagy a tüzelőanyagok elégetésekor keletkező égéstermékek, stb. átmérője sokkal kisebb, mint a látható fény hullámhossza. Ha ilyen méretű légköri anyagokon szóródik a sugárzás, akkor azt Rayleigh-szóródásnak nevezzük. Miután a Rayleigh-szóródás hatása a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos, ezért sokkal intenzívebb eredménnyel jár a rövidebb hullámhosszak szóródása, mint a hosszabb hullámhosszaké. A Rayleigh-szóródás következménye az égbolt kék színe, nélküle az fekete lenne. Amint a napsugárzás kölcsönhatásba lép az atmoszféra anyagaival, a rövidebb (kék) hullámhosszak sokkal erőteljesebben szóródnak, mint más látható hullámhosszak, ezért látjuk az eget kék színűnek. Napkeltekor és napnyugtakor a napsugarak sokkal hosszabb atmoszférikus utat tesznek meg, mint napközben. A hosszabb út miatt, a rövidebb hullámhosszak szóródása és elnyelése teljessé válik, ezért csak a kevésbé szórt, hosszabb hullámokat (narancs, vörös) látjuk.

A Rayleigh-szóródás az oka annak is, hogy a műholdas fényképek homályosak. Ez abban nyilvánul meg, hogy csökken a kép élessége és romlik a kontrasztja. Nagy magasságból készített, színes légi- és űrfényképek többnyire kékes-szürke árnyalatúak. Ezt úgy lehet kiküszöbölni, ha olyan fényszűrőket helyezünk a kamera lencséje elé, melyek nem engedik át a rövidebb hullámhosszakat.

Egy más típusú szóródás, az ún. Mie-szóródás, mely akkor lép fel, ha a kölcsönhatásba lépő részecske átmérője egyenlő a sugárzás hullámhosszával. Elsősorban a vízgőz és a por okoz Mie-szóródást. Ilyen típusú szóródás hatása inkább a nagyobb hullámhosszak esetén érezhető (összehasonlítva a Rayleigh-szóródással). A Mie-szóródás már csekély felhőzet esetén is jelentőssé válik.

A harmadik, de nem elhanyagolható szóródás típus a nem-szelektív szóródás, mely akkor jön létre, ha a részecske átmérője sokkal nagyobb, mint a vele kölcsönhatásba lépő sugárzás hullámhossza. Például a vízcseppek okoznak nem-szelektív szóródást. A vízcseppek átmérője általában 5 és 100 µm között változik, így az átmérő nagyobb, mint a fény és az infravörös sugárzás hullámhossza. A látható fény összetevőit (a kék, a zöld és a vörös fényt) egyenlő mértékben (nem-szelektív módon) szórják a vízcseppek, ezért fehér színűek a felhők és a köd.

3.2. Abszorpció – elnyelés

A szóródással ellentétben, az abszorpció valódi energiaveszteséget jelent. A vízgőz, a széndioxid és az ózon nyeli el leghatékonyabban a különböző hullámhosszú sugárzásokat. Miután ezek a gázok az elektromágneses energiát egyes hullámhosszsávokban intenzíven vagy teljes egészében elnyelik, döntően befolyásolják azt, hogy mely spektrális sávokat alkalmazhatjuk az adott távérzékelő rendszerben. Azokat a tartományokat, melyekben az atmoszféra részlegesen vagy teljes egészében átengedi az elektromágneses energiát, atmoszférikus ablakoknak nevezzük (I.1. táblázat, 1.6b ábra).

atmoszférikus ablak	hullámhossz tartomány (μm)
1	0,3 – 1,3
2	1,5 – 1,8
3	2,0-2,6
4	3,0 - 3,6
5	4,2 - 5,0
6	7,0 – 15,0

1.1. táblázat - Atmoszférikus ablakok a 0,3–15 µm-es hullámhossz-tartományban

Az 1.6. ábra bemutatja az energiaforrások és az atmoszférikus abszorpció kölcsönhatását. Az I.6a ábra a távérzékelésben leggyakrabban használt két energiaforrás, a Nap és a földfelszín által kibocsátott energia spektrális eloszlását szemlélteti.

1.6. ábra - Az energiaforrás (a), a légköri hatások (b) és az érzékelő rendszer (c) spektrális tulajdonságai Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 11.



Az 1.6c ábrán láthatjuk azt, hogy az emberi szem spektrális érzékenységi tartománya kapcsolatban van egy atmoszférikus ablakkal és a napsugárzás kibocsátási csúcs energiaszintjével. A földfelszín kibocsátott hőenergiája (kicsiny görbe az I.6a ábrán) a 3–5 μm, valamint a 8–14 μm közötti atmoszférikus ablakokon keresztül jut az érzékelőhöz. Ezekben a tartományokban működő érzékelőket hőérzékelőknek vagy termális szkennereknek (thermal scanners) nevezzük. A többsávú érzékelők vagy multispektrális szkennerek (multispectral scanners, MSS) a látható fény és az infravörös tartomány több, vékony sávját egyidejűleg képesek vizsgálni. A radar és a passzív mikrohullámú rendszerek (passive microwave systems) az 1 mm és az 1 m közötti atmoszférikus ablak adta lehetőségeket használják ki.

Az energiaforrások, az atmoszférikus ablakok, a szenzorok spektrális érzékenysége közötti kapcsolat ismerete rendkívül fontos a távérzékelésben.

Egy adott távérzékelési feladat elvégzésekor, az érzékelő kiválasztásakor figyelembe kell venni (1) a szenzor spektrális érzékenységének lehetőségeit, (2) az atmoszférikus ablak hiányát vagy jelenlétét abban a tartományban, melyben a vizsgálatot el akarjuk végezni, valamint (3) a kiválasztott sávban a sugárzásforrás energiáját és spektrális összetételét. Végül figyelembe kell venni, hogy az adott spektrális sávban érkező energia milyen kölcsönhatásba léphet a vizsgálat tárgyával.

4. A SUGÁRZÁSI ENERGIA KÖLCSÖNHATÁSA A FÖLDFELSZÍNNEL

Amint az elektromágneses energia kapcsolatba kerül a földfelszín egy adott alakzatával, négy alapvető energiakölcsönhatás lehetséges (1.7. ábra). Példaként nézzük azt az esetet, amikor a sugárzással kölcsönhatásba lépő elem egy nagyobb víztömeg. A beérkező energia egy része elvezetődik, visszaverődik, szóródik és/vagy elnyelődik (abszorpció).

Az energiamegmaradás elvét alkalmazva igaz a következő egyenlet

$$E_{I}(\lambda) = E_{R}(\lambda) + E_{A}(\lambda) + E_{T}(\lambda)$$

ahol

 $E_i = a$ beérkező energiamennyiség,

 E_R = a reflektált (visszavert) energia,

EA = az abszorbeált (elnyelt) energia,

ET = a továbbított energia.

Mindegyik energiaösszetevő a hullámhossz (λ) függvénye.

A különböző tárgyak által visszavert, elnyelt és továbbított energia aránya eltérő. Az elnyelt, a visszavert és a továbbított energia mennyisége függ az anyag típusától, állapotától. Egy földfelszíni forma a különböző hullámhossz-tartományokban másképpen reflektálhatja, nyelheti el, vagy továbbíthatja az energiát. Két különböző tárgy viszont hasonlóan reflektálhat egy vagy több spektrális tartományban, míg különböző mértékben más sávokban. A tárgyakról visszavert, a látható fény tartományába eső elektromágneses sugárzást a tárgyak színeként érzékeljük. Egy tárgy akkor kék színű, ha döntően a spektrum kék sávját veri vissza, zöld színű, ha a spektrum zöld sávját veri vissza, stb. Vagyis a szem a spektrális energia visszaverődésekor fellépő energiaváltozásokat használja fel a tárgyak megkülönböztetésére.

Miután a legtöbb távérzékelési rendszer a reflektált energiáját méri, alapvető fontosságú a földfelszín visszaverő képességének a vizsgálata. Ezért gyakran használjuk az 1.7 egyenlet átalakított

 $E_{R}(\lambda) = E_{I}(\lambda) + (E_{A}(\lambda) - E_{T}(\lambda))$

formáját. Eszerint a visszavert energia mennyisége egyenlő a beérkező energia és az elnyelt, valamint a továbbított energia összegének különbségével.

1.7. ábra - Az elektromágneses energia és a földfelszín alapvető kölcsönhatásai



Figyelembe kell venni, hogy egy tárgy geometriai értelemben hogyan veri vissza az elektromágneses sugárzást. Ez elsősorban a tárgy felszínének egyenetlenségétől/simaságától függ. A tökéletes elméleti visszaverő az a sík felszín, mely tükörszerűen ver vissza és a visszaverődés szöge egyenlő a besugárzás szögével. A diffúz (Lambert-féle) visszaverő olyan durva felszín, amely minden irányban egyenletesen ver vissza. A földfelszín tárgyai sem tökéletes, sem diffúz visszaverők, ilyen tulajdonságuk valahol a két szélsőség között helyezkedik el, ezek alapján megkülönböztetünk tökéletes, közel-tökéletes, közel-diffúz és diffúz visszaverőket (1.8. ábra).

1.8. ábra - Az ideális és a diffúz visszaverődés folyamata



Az, hogy egy felszín milyen visszaverőnek minősül, attól függ, hogy milyen a felszín érdessége és mekkora a beérkező energia hullámhossza. A relatíve hosszú hullámhosszú rádióhullámok esetében egy kőzetfelszín sima felszínnek, vagyis tökéletes, közel-tökéletes visszaverőnek minősül, míg ha a látható fény egy sima homokfelszínre ér, ott az közel-diffúz módon verődik vissza. Röviden, ha a beérkező energia hullámhossza sokkal kisebb, mint a felszín magasságkülönbség változása vagy a felszínt felépítő részecske mérete, akkor a felszín diffúz visszaverő lesz.

Diffúz visszaverődéskor a visszaverő felszín színe hordozza a spektrális információt, míg tökéletes visszaverődéskor nem. Ezért a távérzékelésben a földfelszín diffúz visszaverődési tulajdonsága alapvető fontosságú.

A földfelszín visszaverő tulajdonságát mennyiségileg is meg lehet határozni a beérkező és a visszavert energia nagyságának arányával. Ezt az arányt, mely függ a hullámhossztól, spektrális visszaverődésnek, reflektanciának nevezzük, jele p_{λ} . Matematikai definíciója:



ahol p_λ százalékban kifejezett.

4.1. A spektrális visszaverődési görbe

Ha különböző hullámhosszakon megmérjük a vizsgált tárgy által visszavert energiákat és a reflektancia értékeket egy grafikonon ábrázoljuk (vízszintes tengelyen a hullámhossz (µm), a függőleges tengelyen a reflektancia érték %-ban), akkor a kapott értékeket összekötő görbét az adott tárgy spektrális visszaverődési görbéjének, röviden reflektancia görbéjének nevezzük. A spektrális visszaverődési görbe nemcsak a tárgy spektrális tulajdonságairól tájékoztat, hanem meghatározza azt a hullámhossz-tartományt vagy tartományokat, melyekben a tárgy részletesen vizsgálható távérzékelési módszerekkel. Az 1.9. ábra a lombhullató és a tűlevelű fák spektrális visszaverődési görbéinek erősen leegyszerűsített képét mutatja. A lombhullató és a tűlevelű fák sokfélesége miatt nem egyszerű görbéket, hanem inkább egymást átfedő sávokat kapunk.

1.9. ábra - Lombhullató és tűlevelű fák általánosított spektrális reflektancia görbéi



A fentiek alapján látható, hogy a lombhullató és a tűlevelű fák megkülönböztethetők spektrális visszaverésük alapján. Ha az emberi szemet választanánk szenzorként, azonnal problémába ütköznénk. A grafikon szerint a visszaverődési görbék a látható fény tartományában részben átfedik, keresztezik egymást és csak szűk sávban távolodik el egymástól a két görbe. Ezért van az, hogy az emberi szem a két fatípust a zöld valamilyen alig megkülönböztethető árnyalataiban látja. A fa alakját, méretét, helyét, erősségét a levegőből elég nehéz mérni, főleg akkor, ha a fák sűrűn egymás mellett, keverve fordulnak elő. Mégis megkülönböztethetőek, ha infravörös tartományban érzékelő szenzort alkalmazunk a vizsgálatban. Fekete-fehér infravörös filmet használva, a lombhullató fák magasabb infravörös visszaverődésük miatt, általában világosabb tónusban jelennek meg, mint a tűlevelű fák. A látható fény tartományban készült képen szabad szemmel lehetetlen megkülönböztethetően a két fatípust, talán csak a tűlevelű fák kúpalakja különbözik a lombhullató fák gömbölyű koronájától. A spektrális reflektancia különbség az infravörös tartományban szembetűnő, a tűlevelű fák jól megkülönböztethetően sötét tónusúak. Ha számítógépes elemzéskor a kép tónusát vizsgáljuk, az egész térképezési folyamatot automatizálhatjuk. A legtöbb távérzékeléses adat analízise ezen az elven alapszik. Ahhoz, hogy a rendszer sikeresen működjön, a megkülönböztetendő tárgyaknak spektrálisan elkülöníthetőknek kell lenniük.

A gyakorlat azt mutatja, hogy nagyon sok földfelszíni tárgy azonosítható, térképezhető és tanulmányozható spektrális tulajdonsága alapján, viszont szintén a gyakorlatból ered, hogy nagyon sok tárgy spektrálisan nem különíthető el. Ezért a távérzékelési módszerek effektív alkalmazása csak akkor lehetséges, ha tudjuk és megértjük az adott tárgy spektrális tulajdonságait az adott vizsgálat szempontjából, vagyis tudjuk, hogy milyen tényezők befolyásolják ezeket a tulajdonságokat.

4.2. A növényzet, a talaj és a víz visszaverődési görbéje

Érdemes megnézni a földfelszínt borító három tipikus anyag – az egészséges, zöld növényzet, a száraz, csupasz talaj (itt szürkésbarna vályog) és az állóvíz (tiszta vizű tó) – spektrális visszaverődési görbéjét. Az ábrázolt vonalak átlagos visszaverődési görbék, melyek nagyszámú minta mérési eredményeként adódtak. Észrevehető, hogy mennyire eltérőek a különböző anyagokhoz tartozó görbék (1.10. ábra).

Általában ezek a görbék mértékadóak, s mintegy indikátoraik a vizsgált felszínborítási típusoknak. Bár az egyedi formák visszaverődése az átlagosnál erősebb vagy gyengébb lehet, ezeket a görbéket figyelembe lehet venni a spektrális visszaverődés elemzésekor. Az egészséges zöld növények visszaverődési görbéje majdnem mindig jellegzetes lefutású, ugyanott veszik fel minimum és maximum értékeiket (1.10.a ábra). A spektrum látható fény tartományában jelentkező minimumok a növény leveleiben található színtestek (pigmentek) miatt alakulnak ki.

A növény leveleiben lévő klorofil erősen megköti a kék és a vörös fényt, míg a zöld tartományban sugárzott energiát nagyon erősen visszaveri, ezért az egészséges vegetációt zöld színben látjuk. Ha egy növény valamilyen betegségben, vagy káros hatástól szenved, akkor normális növekedése lelassul vagy megáll, s ez a klorofiltartalom csökkenésében is megnyilvánul. A kisebb klorofil mennyiség gyengébb kék és vörös abszorpcióhoz vezet. A vörös visszaverődés növekedése miatt a növény (a zöld és vörös szinek kombinációjaként) sárga színű lesz.

Amint a spektrum látható fény tartományát elhagyjuk az infravörös tartomány felé (0,7 μ m-es hullámhossznál), a visszaverődése mértéke ugrásszerűen megnő. A 0,7–1,3 μ m közötti sávban az egészséges növényzet a beérkezett energia 40–50 %-át visszaveri. A maradék energia legnagyobb része elvezetődik, hiszen az abszorpció ebben a sávban minimális (kevesebb, mint 5 %).

1.10. ábra - Reflektancia görbék növényzetre, talajra és vízre (fent), és eltérő növényekre (lent)



A 0,7–1,3 µm közötti sávban növényzet visszaverő képessége elsődlegesen a növény levélzetének belső szerkezeti sajátosságaiból következik. A belső szerkezet nagyon különbözik az eltérő fajoknál, ezért a visszaverődés mérése lehetőséget ad a fajok elkülönítésére, még ha a látható fényben a fajok nagyon hasonlítanak is egymásra. Hasonló okok miatt használhatunk ebben a sávban érzékelő szenzorokat a betegségek kimutatására, hiszen a növényi stressz, a betegségek is megváltoztatják a visszaverődési tulajdonságokat. Azonban a méréskor zavaró lehet a növény levélzetének rétegzettsége, amely lehetővé teszi a többszörös sugárzás-visszaverést és elvezetést. Ezért az infravörös visszaverődés növekszik a korona levélrétegeinek a számával.

Az 1,3 μm-nél nagyobb hullámhosszú energia legnagyobb része elnyelődik, vagy visszaverődik a növényzeten, nincs vagy csak kevés az energia elvezetés. Az 1,4 és a 2,7 μm-nél előforduló minimumok azért alakulnak ki, mert a levelek magas víztartalma elnyeli az ilyen hullámhosszú sugárzást. Következésképpen ezeket a sávokat vízelnyelési sávoknak nevezzük. Visszaverődési csúcsokat találunk az 1,6 μm és a 2,2 μm-es hullámhosszaknál, az elnyelési sávok között. Az 1,3 μm-nél nagyobb hullámhosszakra igaz, hogy a levél visszaverődése hozzávetőlegesen fordítottan arányos a levél teljes víztartalmával.

A talaj visszaverődési görbéje kisebb minimum és maximum különbségeket mutat. Ez annak a következménye, hogy azok a tényezők, amelyek a talaj visszaverő képességét befolyásolják nem köthetők egyértelműen

spektrális sávokhoz. A sugárzás visszaverődését befolyásoló tényezők: a talaj nedvességtartalma, a talaj szerkezete (fizikai összetétele, a homok, iszap és az agyag aránya, stb.), a felszín egyenetlensége, vasoxid jelenléte, valamint a szervesanyagtartalom. Ezek a tényezők komplexek, változékonyak és kölcsönhatásban vannak egymással. Például a talajnedvesség növekedése a visszaverődés csökkenését vonja maga után. Növényzet esetén ez a hatás természetszerűleg a víz elnyelési sávjaiban az 1,4, 1,9 és 2,7 µm-es hullámhosszakon a legerősebb (az agyagos talajok vízelnyelése az 1,4 és a 2,2 µm-es sávokban jelentkezik). A talaj nedvességtartalma szoros kapcsolatban van a talaj fizikai összetételével. A kavicsos, homokos talajok rendszerint jól vezetik a vizet. Ennek következménye a homoktalajok alacsony víztartalma és relatíve magas visszaverőképességűek. Alacsony talajnedvesség esetén a visszaverődés szempontjából a talaj szerkezete a meghatározó tényező. A kavicsos, durvább szemcseösszetételű talajok sötétebbnek látszanak, mint a finomabb szerkezetű talajok. A visszaverődés mértékét további két tényező módosítja: a talajfelszín egyenetlensége (érdessége), és a talaj szervesanyagtartalma. A talaj vasoxidtartalma szintén jelentősen csökkenti a reflektanciát.

A víz spektrális visszaverődési tulajdonságai közül a legjellemzőbb az infravörös sávban fellépő energiaelnyelés. Ez az infravörös abszorpció nemcsak nyílt vízfelületek (tengerek, tavak, folyók) esetén figyelhető meg, hanem a növényzetben és a talajban jelenlévő víz is hasonló elnyelést okoz. A víz sajátos elnyelési tulajdonsága lehetővé teszi, hogy az infravörös sávban gyűjtött távérzékelési adatokkal pontosan kijelöljük és elhatároljuk a vízfelületeket, bár a vízfelületek jellegzetes visszaverődése már a látható fény tartományban is elég sajátos ahhoz, hogy a szárazföldeket és a vízfelületeket elhatároljuk egymástól. Az energia–anyag kapcsolat ezekben a hullámsávokban nagyon bonyolult és függ a kölcsönhatásban résztvevő tényezőktől. A víztest visszaverődése három tényező: a vízfelszín (közel-tökéletes visszaverő felület), a vízben lebegő anyagok, és végül a mederfenék reflektancia tulajdonságának komplex eredője. Mélyebb vizek esetében ez a harmadik tényező elhanyagolható, itt nemcsak a vízfelület visszaverő tulajdonságától függ a reflektált fény mennyisége, hanem a vízben lévő (lebegtetett vagy oldott állapotú) anyagoktól is.

A tiszta víz viszonylag kevés energiát nyel el a 0,6 µm-nél rövidebb hullámhosszú sugárzásból. Különösen a spektrum kék-zöld tartományában nagy a víz átengedő, sugárzástovábbító képessége. A víz színének (vagyis az áteresztő és a visszaverő képesség) változását okozza az örvénylés és a szerves, szervetlen anyagok megjelenése. Például, ugyanannál a folyónál a talajerózióból származó anyagok oldott formában történő szállítása sokkal erősebb visszaverődést okoz a látható fény tartományban, mintha a folyó vize tiszta lenne. Ugyanúgy változik a reflektancia a víz klorofiltartalmának növekedésekor. Ezért a távérzékelés lehetőséget nyújt a vizek folyamatos monitoringjára (ismétlődő méréssorozat az állapotváltozások érzékelésére, mérésére), az algakoncentráció jelenlétének kimutatására és az algatömeg becslésére, valamint egyéb szennyeződések (olaj-, és egyéb ipari hulladékok) felderítésére. A víz egyéb fizikai, kémiai tulajdonságai, pl. az oxigéntartalom, a pH vagy a sókoncentráció, nem mutathatók ki távérzékeléses módszerekkel, bár néhány paraméter változása korrelál a reflektancia módosulásával.

5. ADATOK ÉSZLELÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA

Az elektromágneses energia érzékelése történhet fotografikus vagy elektronikus úton. A fényképezéskor olyan érzékeny filmet használunk, mely kémiai folyamatok révén képes érzékelni és rögzíteni az energia-változásokat. A fényképezési eljárás számos előnnyel rendelkezik: viszonylag egyszerű és olcsó, nagyfokú térbeli felbontással rendelkezhet, valamint geometriai információkat hordozhat, melyek biztosítják a fotogrammetriai feldolgozás lehetőségét.

Az elektronikus szenzorok elektromos jelekké alakítják át az energia-változásokat. Ilyen rendszer, pl. a videokamera is. Bár bonyolultabbak és drágábbak, mint a fotografikus rendszerek, érzékenységük szélesebb spektrális sávra terjed ki, pontosan kalibrálhatók és lehetőség van közvetlen elektronikus adatátvitelre is.

A távérzékelésben a fénykép szót kizárólag a filmen rögzített képekre használjuk, míg a kép (image) sokkal általánosabb értelmű és a képi adatok mindenféle képi megjelenítésére vonatkozik. Egy hőtartományú szkenner (elektronikus szenzor) által rögzített kép hőkép (thermal image) és nem hőfénykép (thermal photograph). Így minden képi megjelenítés képnek minősül, de nem minden kép fénykép.

Az adatok megjelenítése döntő mozzanat a távérzékelésben. A kép elemzése, a különbségek felismerése és a felismerés képessége az emberi szem lehetőségeiben rejlik és egyben korlátozódik. Ezért a vizuális megjelenítés mellett szükség van az adatok számszerű vizsgálatára is, emiatt előnyben részesítjük a digitális adatformátumot, s így lehetőség nyílik a digitális képfeldolgozási módszerek alkalmazására.

A távérzékelési rendszerekben a vizsgálat tárgyáról visszavert vagy az általa kibocsátott sugárzást többféle módon lehet észlelni és feldolgozni. A két leggyakoribb rendszer a kamera és a pásztázó rendszer.

5.1. A kamera rendszer

A kamera rendszert vagy más néven azonnali képkészítő (framing) rendszert az jellemzi, hogy a vizsgált felszín teljes területéről egyidejűleg készül felvétel. A keretező rendszerek közé tartoznak a fényképkészítő kamerák, a digitális video képkészítők (1.11. ábra).

1.11. ábra - A kamera/vidikon rendszerek képkészítési elve



Az emberi szem is egy keretező rendszernek tekinthető. A kamerák (pl. KFA-1000 kamera a Resurs-F sorozaton) olyan lencséket használnak, melyek a képet a fókuszsíkra vetítik. A kép a fókuszsíkon élesen, kontrasztosan jelenik meg. A zárszerkezet adott időintervallumokban kinyílik, és ekkor fény jut a kamera belsejébe, ahol a kép a filmen rögzül. A kamerák filmfelületét ezüsttartalmú emulzióval vonják be. A vidikon típusnál (pl. a Landsat RBV), amely valójában egy televíziós kamera, a kép egy elektronikusan feltöltődő fotoszenzitív felületen képződik. Az elektronnyaláb végigsöpri a felületet és a töltéskülönbségeket érzékelve hozza létre a képet. Az elektronnyaláb így egy jelet képez, amely elektromos úton továbbítható és tárolható, pl. mágnesszalagon, majd végső formában filmen.

A kamerák keretei és a vidikon képek egymás után készülnek a rendszer mozgásával megegyező irányban. A szomszédos képek részben átfedik egymást (forward overlapping). Az átfedett részek alkalmasak sztereoképpárok létrehozására, melyekkel 3-dimenziós hatás érhető el (sztereofotogrammetria). A kamerában használt filmeken, az ultraibolya sávtól a visszavert infravörös tartományig (0,3–0,9 μ m), az elektromágneses spektrum csak egy kis tartománya rögzíthető. Ebbe a tartományba beleesik a látható fény tartománya (0,4–0,7 μ m) is. Egyes speciális vidikon rendszerek érzékenysége kiterjed a hőtartományú-infravörös sávra is.

5.2. Pásztázó rendszerek

A pásztázó rendszerekben egy egyszerű detektort találunk, amely a keskeny végigsepert területről származó sugárzást érzékeli. A felszínről kisugárzott vagy visszavert elektromágneses energiát érzékeli és a keletkező elektromos jel erőssége arányos a beérkezett fotonok számával. Az elektromos jeleket felerősítik, az adatokat rögzítőn tárolják vagy az adattovábbító rendszeren keresztül azonnal a földi fogadóállomásokra sugározza a rendszer, ahol újra előállítható a kép. Minden pásztázó rendszer a detektorral párhuzamos irányban pásztáza

végig a vizsgált területet. A pásztázó rendszerek keresztsávos, köríves, sávmenti és oldalra tekintő (I.12a-d ábra) típusba sorolhatók.

A, Keresztsávos pásztázás

Ez a képkészítési mód igen gyakori a távérzékelési rendszerekben. A rendszer legfontosabb eleme egy tükör, amelyet egy motor forgat. A forgó tengely párhuzamos a repülés irányával (1.12a ábra). A tükör végigpásztázza a vizsgált területet a pálya irányára merőlegesen. A felszínről kibocsátott vagy visszavert energiát azután egy újabb optikai rendszer fókuszálja a detektor(ok) felületére.

A detektorok száma és a látószög meghatározza az egy detektorra jutó szögtartományt – melyet miliradiánban adnak meg – és egyúttal a detektorok pillanatnyi képmezőjének (IFOV-Instantaneous Field of View) méretét is. A képmező mérete határozza meg meg a szenzor térbeli felbontóképességét is. A felszíni felbontás egységének, a cellának (vagy pixelnek) a méretét a detektor pillanatnyi képmezőjének nagysága és az érzékelő rendszer magassága határozza meg. Ha például a detektor IFOV-ja 1 mrad és a szenzor 10 km magassan van, akkor a felszíni felbontás 10x10 m², vagyis minden egyes cella egy 10x10 m²-es területet reprezentál.

1.12. ábra - A különböző pásztázó rendszerek felépítése és működésük



A teljes látószögmező (AFOV–Angular Field Of View) az a szögtartomány, amelyben a tükör végigpásztázza a vizsgált területet. Értékét általában fokokban adjuk meg. Az AFOV és a magasság meghatározza a lefedett terület szélességét, melyet a következőképpen számíthatunk ki

$sz\acute{e}less\acute{e}g = 2 \cdot h \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

ahol

h = a szenzor magassága,

 α = a teljes látószögmező (AFOV).

Az érzékelő és a felszín távolsága a kép szélei felé növekszik, ebből következően a felszíni felbontás is gyengébb a kép szélein, mint a kép közepén. Ez a hatás a keresztsávú szkennerek képeinél oldalirányú torzítás formájában jelentkezik. Nagy magasságban keringő műholdaknál kicsi IFOV is elég nagy terület lefedésére, ezért a forgó tükröt egy síktükörrel helyettesítik, amely előre-hátra oszcillál kb. 15°-ot. Ilyen megoldást találunk a Landsat MSS rendszerben.

A keresztsávú szkennereknél a felvételezési időt az IFOV mérete és a tükör sebessége határozza meg. Például egy repülőgépes szkenner esetében, ha az IFOV 1 mrad, a látószög mező 90°-os, és egy végigseprés ideje 2x10⁻² mp/vonal, akkor az egy cellára jutó felvételezési idő 1x10⁻⁵ mp. Összehasonlítva a repülőgép sebességével, pl. 720 km/óra (200 m/s), akkor a szkenner sebessége 5000-szer nagyobb, mint a repülőgépé. Ez szükséges is, hogy ne legyenek feldolgozatlan területek az egymást követő sávok között (1.13a ábra). Ha a repülőgép repülési magassága 10 km, akkor a legkisebb vizsgált felszíni terület 10 m.

A rövid felvételezési idő nemcsak a beérkező energia mennyiségét és a detektorok által kibocsátott jel erősségét szabályozza. Az IFOV-nak és a spektrális sávszélességnek elég nagynak kell lennie ahhoz, hogy a jel erősebb legyen, mint a rendszer belső elektronikus zajai.

A detektor felületére beérkező, illetve a detektor által kibocsátott jel erőssége az alábbi tényezőktől függ:

energia fluxus: a felszínről kibocsátott vagy visszavert teljes energiamennyiség az észlelés ideje alatt. A látható fény tartományában működő detektoroknál a fluxus alacsonyabb borult, sötét napokon, mint napfényes időben.

magasság: egy adott térbeli felbontási cellára igaz, hogy a detektorhoz érkező energia mennyisége fordítottan arányos a repülési magasság négyzetével, vagyis minél távolabb van a detektor a felszíntől annál gyengébb a beérkező jel erőssége.

detektorok spektrális sávszélessége: azoknál a detektoroknál, melyek szélesebb hullámhossztartományt vizsgálnak a jel is erősebb. A teljes látható fény tartományát vizsgáló detektor sokkal nagyobb energiamennyiséget fogad, mint amelyik csak egy keskeny sávra, pl. a látható vörös sávra érzékeny.

1.13. ábra - Példa keresztsávos és a sávmenti pásztázásra

A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK



pásztázási sebesség 2*10⁻² mp/sáv

IFOV minden detektorra 1mrad

IFOV, pillanatnyi képmező: mind a detektor érzékelő felületének fizikai mérete mind a szenzor optikai rendszerének fókusztávolsága meghatározza a pillanatnyi képmezőt. Kis IFOV esetén nagy lesz a térbeli felbontás, de jelentősen csökken a detektor által érzékelhető energia mennyisége, ebből következően a jel erőssége is.

felvételezési idő: felvételezési időnek nevezzük azt az időtartamot, amely a legkisebb felbontási terület végigpásztázásához szükséges. Hosszabb felvételezési idő esetén több energia jut el a detektorig, ezáltal erősebb jel keletkezik.

B, Köríves pásztázó rendszerek

A köríves pásztázó rendszerekben a tükör egy függőleges tengely mentén forog, így egy ív alakú felszíni területet pásztáz végig. Csak az előremutató pásztát rögzíti a rendszer. Ennek a módszernek az az előnye, hogy a szkenner és a vizsgált terület távolsága állandó marad a vizsgálat alatt, ezért a felszíni felbontási cella is mindig azonos méretű (1.12b ábra).

A rendszer hátránya viszont az, hogy a legtöbb képfeldolgozó rendszer a vonalas-sávos pásztázó technika elemzésére szolgál, így a köríveket mintegy kiegyenesítve olyan képet kapunk, melyet az alkalmazás előtt alá kell vetni egy kiterjedt geometriai korrekciónak. A köríves pásztázás felvételezési ideje sokkal rövidebb, mint a keresztsávos szkenneré.

C, Sávmenti pásztázó technika

A finomabb térbeli és spektrális felbontás érdekében meg kell növelni az egyes cellákra jutó felvételezési időt. Megoldás lehet a tükörrendszer megszüntetése és a detektor felbontása annyi elemre, ahány felbontási cella lefedi a teljes sávot (1.12c ábra). A detektorok sorba rendezve helyezkednek el a fókuszsíkon, ahova a lencserendszer az éles képet vetíti. A sordetektor iránya merőleges a repülés irányára. Minden detektorra egyidejűleg érkeznek a jelek. A szenzor a repülés irányával párhuzamosan pásztázza a pillanatnyi képmező által meghatározott területeket. Ezt a rendszert push-broom (toló-seprő) technikának is hívják.

A sávmenti pásztázó szkennereknél a legkisebb lefedett területre jutó felvételezési idő a felszínre vonatkoztatott sebességgel fejezhető ki. Egy repülőgépes sávmenti szkennerre (sebesség 200 m/s, cellaméret 10 m) ez 5x10⁻² mp, amely 5000-szer nagyobb, mint a keresztsávú szkennernél (I.13b ábra). A megnövekedett felvételezési idő lehetővé teszi, hogy csökkenjen az IFOV mérete, vagy a detektorok szűkebb spektrális tartományban dolgozhatnak (nő a spektrális felbontás). A spektrális sávszélesség rendszerint 0,1 μm, de hiperspektrális szenzoroknál akár 1 nm is lehet.

A keresztsávú és a sávmenti pásztázó szkennereket alkalmazzák a multispektrális távérzékeléses rendszerekben, ahol a detektorok előtt egy spektrométer bontja fel a polikromatikus sugárzást összetevőire és irányítja azokat a megfelelő számú detektor felületére (1.14. ábra).



1.14. ábra - Elektromechanikus és elektronikus multispektrális szkennerek felépítése

D, Oldalra tekintő pásztázó technika

A passzív távérzékeléses rendszerek az előző három pásztázó rendszer valamelyikét hasznosítják. Az oldalra tekintő pásztázó (1.12d ábra) rendszert az aktív (pl. radar) rendszerekben helyezik el, ahol a repülési irányt tekintve oldalra néző antenna bocsát ki jeleket. A másik ilyen rendszer a hajókon elhelyezett oldalra tekintő szonár is, melyet a tenger medencealjzatának topográfiai vizsgálatakor alkalmaznak.

5.3. A spektrométerek vázlatos felépítése

A pásztázó rendszerekben a beérkező sugárzást egy spektrométeren keresztül vezetik a detektorok felületére. A spektrométer (1.15. ábra), amely pontosabban egy monokrométer, a polikromatikus sugárzás egyedi spektrális komponenseit elemzi.

1.15. ábra - A spektrométerek vázlatos felépítése

A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAI, FOGALMAK



A polikromatikus sugárzás áthalad a berendezés bejárati nyílásán, zárszerkezetén. Ez a nyílás szabályozza a beérkező sugárzás intenzitását és gyakran meghatározza a pillanatnyi képmező nagyságát is. Miután a sugárzás áthalad a bejárati nyíláson, fókuszáló és erősítő rendszeren folytatja az útját. Az optikai rendszer lehet reflektív, refraktív vagy a kettő kombinációja. Számos spektrométerben a sugárzás egy optikai feldolgozó rendszeren alakul át optikai jelekké. Ez a jel a berendezés optikai osztályozó részén halad át. Itt különböző szűrők, prizmák találhatók, melyek áteresztő és reflektáló tulajdonsága függ a sugárzás hullámhosszától. Ebben a részben az összetett sugárzás spektrális komponenseire bomlik. A spektrális felbontás meg is előzheti az optikai feldolgozó rendszert. Ezután rendszerint a sugárzás főkuszálódik a kijárati nyílásra, amely szintén befolyásolja a képmező lehetséges méretét és a berendezés spektrális felbontását. A kijárati nyíláson áthaladva a sugárzás a detektorra vagy a detektorok sorozatára ér, ahol elektromos jellé alakul, felerősödik, különböző átalakító folyamaton megy át, majd rögzítésre kerül. Nagyon sokféle spektrométer létezik, de mindegyik tartalmazza ezeket a részelemeket.

Az így felépülő spektrométer az alapja számos távérzékeléses berendezésnek, pl. a spektrofotométernek. A spektrofotométerben a sugárzást egy belső sugárforrás biztosítja, amely pl. látható fényt vagy infravörös sugárzást bocsát ki. A kibocsátott sugárzás a vizsgált tárgyról visszaverődik és egy spektrométerben kerül elemzésre. A vizsgálat eredménye a belső sugárzásforrás által kibocsátott sugárzástól függ, ezért a kalibrációt egy ismert tulajdonságú tárgyon (referencia tárgyon) kell elvégezni és a későbbi vizsgálatok eredményét is a referencia tárgy segítségével lehet kifejezni.

Ha a spektrométer a céltárgyról visszavert sugárzást méri, akkor spektro-reflektométernek, ha pedig a tárgyon áthaladó sugárzást elemzi, akkor spektro-transzmisszióméternek nevezzük (1.16. ábra).

1.16. ábra - A spektrométerek és a vizsgált tárgy helyzete a mérés során



Amennyiben a berendezés nem tartalmaz belső sugárzásforrást és a sugárzás külső forrásból származik, akkor a berendezést spektroradiométernek, röviden radiométernek nevezzük. Ilyen berendezést használnak a természeti
környezet vizsgálatakor, hiszen a spektrális elemzés így természetes feltételek mellett folyható. A spektroradiométer (1.17. ábra) a külső sugárzásforrásból származó energia spektrális mérésére szolgál, de emellett belső sugárzásforrás segítségével referencia-kalibráció végezhető, ezáltal abszolút sugárzásmérés történhet.

1.17. ábra - A spektroradiométer funkcionális felépítése



6. A MŰHOLDAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT FOGALMAK

6.1. Inklináció

Az inklináció a Föld egyenlítői síkja és a műhold keringési pályasíkja által bezárt szög (1.18. ábra). Az inklináció a legtöbb műhold esetében állandó marad Föld és a műhold különböző pályaperiódusaiban. A műhold pályája mindig azonos hosszúsági kör egységgel tolódik el a következő pálya irányába. A műholdpályák hajlásszöge 0° és 180° között változhat. Ha pl. az inklináció szöge 30°, akkor a műhold által vizsgálható terület az északi szélesség 30° és a déli szélesség 30° között terül el. A poláris pálya hajlásszöge 90°. A 0°-os hajlásszögű pályát ekvatoriálisnak nevezzük. Ha 0° és 90° közé esik a hajlásszög, akkor a műhold É felé haladva, DNy-ÉK irányban halad át az Egyenlítő fölött, 90–180° közötti hajlásszög esetén pedig DK-ÉNy irányban, ilyen esetben retrográd pályáról beszélünk.

1.18. ábra - A műholdak pályaelemei az egyenlítői koordináta rendszerben³

³ Remote Sensing Note (ed.: S. Murai) – Japan Ass. on Remote Sensing 1993. p. 103.



6.2. Napszinkron pálya

Ha a földközeli műholdpályák (magasságuk kisebb, mint 1000 km) esetében úgy választják meg az inklinációt és a pályamagasságot, hogy a műhold egy adott hely fölött mindig azonos helyi idő szerint haladjon el, akkor a műhold pályáját napszinkronnak nevezzük. A műhold ebből következően mindig azonos helyi időben metszi az egyenlítői síkot is. Rendszerint ezt az időt adják meg a műholdpálya adataként is. Az észak-déli irányú áthaladást az egyenlítői síkon leszálló pályának (módnak), a dél-északi metszést felszálló pályának (módnak) nevezik. Napszinkron pálya esetén a besugárzási szög, az árnyékhatás ugyanaz marad bármely adott felszín ismétlődő vizsgálatakor. Az állandó paramétereknek vannak előnyei és hátrányai az alkalmazás szempontjából. Az állandóság az ismételt felvételek összehasonlításakor csökkenti a különbséget előidéző okok számát, míg pl. a változó feltételek lehetőséget adhatnak az eltérő körülmények mellett jobban vizsgálatható jelenségek (pl. geológiai szerkezeti formák) magyarázatára, értelmezésére.

Bár a napszinkron pálya biztosítja az azonos besugárzási feltételeket, ezek a feltételek helyileg és évszakonként változnak. Az, hogy a napsugarak mekkora beesési szöggel érkeznek a Föld felszínére, függ a szélességtől és a felvételezés idejétől. Például a napsugarak beesési szöge december 21-én 90° a Baktérítőn és 0° az Északi Sarkkörön. Hasonlóképpen változik az azimut iránya évszakosan és a szélességgel. A napszinkron pálya nem küszöböli ki a napsugarak beesési szögének, az azimut és az intenzitás változásait. Ezek a tényezők mindig változnak és különböző atmoszférikus feltételek okozzák a képek közötti intenzitás-különbségeket.

6.3. Geoszinkron pálya

A földi vezérlésű, ember nélküli műholdak lehetnek geostacionárius, ill. közel-poláris pályán keringő műholdak. Ha a műhold tömege m és r sugarú kör alakú pályán kering az M tömegű Föld körül, ω szögsebességgel, akkor Newton törvényei alapján a műhold keringési ideje (T) a következőképpen számítható:



A Föld felszíne feletti nagyobb magasságokban már csökken az atmoszféra zavaró hatása, s miután a π , g, és M állandó, a műhold keringési ideje csak a pálya sugarától függ. A közel-poláris pályán keringő műholdak rendszerint 800–900 km-es pályamagasságban mozognak a Föld felszíne felett, ebben a magasságban a keringés periódusideje 90–100 perc. Nagyobb sugár mellett a keringési idő növekszik. A Hold esetében, melynek keringési ideje megközelítőleg 28 nap, a pálya sugara 384 ezer km. Valahol az említett két különböző sugarú pálya között lennie kell egy olyan speciális pályának, melyen a műhold periódusideje pontosan 24 óra, 1 nap. Ez a sugár, amely kb. 42250 km, a Föld felszínétől számított magasságban kifejezve 35900 km. Ha ezt a pályamagasságot választjuk, és a keringés síkja egybeesik az Egyenlítő síkjával, akkor ezen a pályán a műhold sebessége megegyezik a Föld forgási sebességével, így a műhold mindig ugyanazon az egyenlítői földfelszíni pont felett fog látszani a nap bármely szakában. Az ilyen tulajdonságú pályát geostacionárius vagy geoszinkron pályának, az ilyen típusú pályán keringő műholdat geostacionáriusnak nevezzük. A geostacionárius pályán a műhold keringési ideje 1436 perc, azaz egy csillagnap.

6.4. Térbeli felbontás

A műholdfelvételek térbeli felbontása azt jelenti, hogy egy képelem mekkora felszíni terület reprezentál. Általában a szenzoradatok között megadják a műhold alatti (nadír helyzetű) legjobb felbontási értéket (m-ben vagy km-ben) és többnyire a legnagyobb látószög alatt látszó területre vonatkozó adatokat is. A jelenleg működő, kereskedelmi jellegű képalkotó műholdak szenzorai már 1 m alatti térbeli felbontással rendelkeznek (pl. a Quickbird 61 cm). A nagyfelbontású képek esetében viszonylag keskeny a lefedett terület sávja, mert ilyen felbontás mellett rendkívül gyorsan megtelik a rendszer tárolóegysége.

A teljes globális fedés csak a poláris pályán keringő műholdakkal vagy a széles vizsgálati sávú, közel-poláris pályán keringő műholdakkal érhető el. A pályaadatokat és a lefedési terület szélességét úgy kell megválasztani, hogy az egymás melletti vagy az egymást átfedő sávok teljesen lefedjék a földfelszínt. Általában egy műhold különböző fedélzeti szenzorai eltérő szélességű területeket fedhetnek le.

6.5. Spektrális felbontás

A műhold szenzorának spektrális felbontása kifejezi azokat a sávszélességeket, amelyeken az észlelés folyik. Nagy spektrális felbontás mellett, szűk sávszélesség esetén, pontosabb spektrális reflektanciamérés lehetséges egy adott felszínre vagy tárgyra vonatkozóan, mint egy szélesebb spektrális tartományban. A sávszélesség szűkítésekor a berendezések, változatlan méretű lefedett terület és változatlan hosszúságú felvételezési idő esetén, alacsonyabb energiaszintű jeleket érzékelnek, ezért csökken a rendszer radiometrikus felbontása. A végigpásztázott területről érkező energiaszint növelhető a felvételezési idő növelésével. A sávszélesség növelésekor (pl. SPOT pankromatikus sáv) jobb térbeli és radiometrikus felbontás érhető el. Spektrális felbontásukat tekintve a szenzorok pankromatikusak (1 sáv), multispektrálisak (3–20 sáv) vagy hiperspektrálisak (20–300 sáv) lehetnek. Esetenként a több száz, néhány nm-es szélességű spektrális tartományokban mért reflektancia értékek ismerete tipikus reflektancia görbe megrajzolását teszi lehetővé, ezáltal akár az anyagot felépítő kémiai elemekre, molekulákra vonatkozó ismereteket kaphatunk.

6.6. Ismétlődő (ciklikus) fedés vagy időfelbontás

A térbeli és a spektrális felbontás mellett az időt a harmadik felbontási változónak tekinthetjük. A Föld egyes környezeti változásai rendkívül gyorsan játszódnak le (pl. a meteorológiai jelenségek vagy a katasztrófa bekövetkezése, stb.). Ezért ezek megfigyelésekor az ismételt megfigyelések közötti időt a lehető legrövidebbre kell szűkíteni. Az ismétlődő fedés (vagy időfelbontás) azt az időtartamot jelenti, amely egy adott földrajzi hely két egymást követő megfigyelése között eltelik.

A térbeli felbontás (IFOV vagy a megfelelő földi felbontási cella) mérete és a fedés gyakorisága között egyszerű összefüggés van. Minél kisebb az IFOV annál több adatot kell kezelni egy terület fedésekor, emiatt keskenyebb sávban történik felvételezés. Ezáltal hosszabb idő alatt lehetséges a Föld teljes fedése, s így ritkábban kerülhet sor a vizsgált terület újbóli fedésére. Ezt az összefüggést figyelembe kell venni a szenzorok építésekor, az adatok tárolásakor, átvitelekor. Az ismételt fedések közötti időtartam a különböző távérzékelési alkalmazások igénye szerint eltérő lehet:

- a gyakorlati meteorológia (időjárás-előrejelzés) óriási területekől nagy gyakoriságú, viszonylag kis térbeli felbontású (1–5 km) képeket igényel. A fő szempont a napi folyamatok mind részletesebb vizsgálata. A kb. 15–30 perces képkészítési idő jellemzi a geoszinkron meteorológiai műholdakat,
- 2. a megújuló erőforrások monitoringja közepes hosszúságú ismételt fedési időt igényel (2–20 nap), viszonylag nagy spektrális és térbeli felbontás mellett. A poláris, közel-poláris pályán keringő erőforráskutató műholdakon elhelyezett különböző képalkotó rendszerek elégítik ki az ilyen irányú igényeket.

Természetesen számos olyan jelenség is van, amelyeket nehéz vizsgálni vagy egyáltalán nem lehet vizsgálni poláris pályán keringő műholdakról. Ezek általában a dinamikus jelenségek: (a) csapadék és párolgás, (b) a földfelszín-óceán-légkör energiaháztartás, (c) az óceán, a növényzet színe, (d) katasztrófa, stb.

Térképészeti alkalmazás viszonylag rövid ismétlődési idő mellett nagy (1–10 m) térbeli és spektrális (3 vagy több sáv) felbontást igényel. A városi növekedés vizsgálatakor elegendő éves, többéves mintákat vizsgálni.

6.7. A műholdak stabilizálása

A műholdak stabilizálása rendkívül fontos a képkészítés szempontjából. A korai műholdak és ember vezérelte űrhajók a korlátozott energiaellátás miatt forogtak, orsózó mozgást végeztek. Ez a nehezen szabályozható mozgás korlátozta a képkészítést is. A meteorológiai műholdak mozgásait egy tengely körüli, szabályos forgásra egyszerűsítik. Ezt a mozgást forgatásnak nevezik, és a műhold tájolását a Nap segítségével végzik el. A Napra irányított érzékelő a legkisebb elmozdulást is korrigálja a megfelelő gázsugárfúvókák bekapcsolásával. A fedélzeti szenzorok optikai tengelye gyakran eltér a helyi függőlegestől (off-nadír helyzet), így a kép erősen torzulhat.

Ma már 3-tengely mentén stabilizálják a műholdakat, úgy, hogy az egyik tengely (a szenzor optikai tengelye) mindig merőleges a Föld felszínére, tehát egybeesik a helyi függőlegessel. A helyzetbeállítás automatikus érzékelőkkel történik.

6.8. A műholdak élettartama

A műholdak élettartamát több tényező is befolyásolja. A műhold életében a legkritikusabb szakasz a hordozórakéta indítása és a pályára állítás kezdeti szakasza. A NOAA-13 az indításkor semmisült meg, a Landsat-6 pedig az indítás után tűnt el az irányítók elől, több milliárd dollár veszteséget okozva. Gyakran fellépő hiba a mozgó alkatrészek meghibásodása, pl. ha a napelemszárnyak nem nyílnak ki, akkor a műhold elveszti energiaellátó rendszerét. Viszonylag ritka hibának számít a kozmikus hatások okozta meghibásodás. A

kozmikus sugárzás szétroncsolhatja a beégetett programokat, mint pl. az ERS-1 PRARE rendszerében, vagy az apró kozmikus porszemcsék tehetik tönkre a berendezést.

A már működő műholdak élettartamát döntően az energiarendszer hatékonysága befolyásolja, ezért a műholdak egyik legfontosabb alrendszere, a műholdra jellemző mérő és érzékelő eszközök mellett, a műhold energiaellátó rendszere. Az építéskor figyelembe kell venni, hogy minden megtett pályán hosszabb-rövidebb ideig a Föld árnyékában halad a műhold és ilyenkor a napelemek helyett, a megvilágított szakasz alatt feltöltődött elemek biztosítják a szükséges energiát. Pl. a SPOT műhold esetében, a kb. 65 perces nappali szakaszban töltődnek fel a nagy kapacitású elemek a kb. 35 perces éjszakai tevékenységre. A gyors nappali-éjszakai feltöltési-üzemelési ciklusváltás viszont rendkívül igénybe veszi ezeket az elemeket. Egy év alatt közel 5000 ilyen ciklus ismétlődik. A jelenlegi elemtípusok okozzák azt, hogy a műholdak élettartama nem hosszabb 5–10 évnél. Tervezik a nagyobb méretű, de modulszerű energiarendszerek kiépítését, melyek cseréjét az űrsiklóval el lehet majd végezni, ha a műhold üzemanyagtartalékai elegendőek a pályamódosításra.

7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben megismerhette az olvasó a távérzékelés fogalmát, és legfontosabb fizikai törvényszerűségeket, melyek a távérzékelés folyamatában, a digitális képalkotásban szerepet kapnak.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Mely emberi érzékeléshez hasonlítható a távérzékelés folyamata?
- 2. Mekkora a kisfelbontású űrfelvétel 1 képeleme által lefedett területe?
- 3. Melyik pásztázó módszerrel készíthető a legjobb geometriai felbontású űrfelvétel?
- 4. Mi a Föld egyenlítői síkja és a műholdpálya síkja által bezárt szögtartomány?
- 5. Mi határozza meg a műholdak keringési idejét?
- 6. Mi az a fizikai fogalom, mely kifejezi, hogy időegység alatt hány hullám halapd át egy ponton?
- 7. Milyen hullámhossz mértékegységgel szokás megadni a látható fény hullámhosszát?
- 8. Milyen hullámhossztartományba esik a látható fény?
- 9. Melyik hullámhossztartományt nevezzük atmoszférikus ablaknak?

2. fejezet - GEOSTACIONÁRIUS METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

Ebben a fejezetben a geostacionárius pályán keringő műholdak típusait ismerhetik meg az olvasók. A geostacionárius műholdak közül a meteorológiai műholdak legfontosabb tulajdonságai, képalkotó rendszerei, alkalmazási lehetőségei is megtalálhatók a fejezetben.

korábbi ismeretek: geostacionárius pálya, időjárás, klíma, vízelnyelési sáv

kulcsszavak: meteorológiai műholdak, NOAA, METEOSAT

A meteorológiai műholdak geoszinkron vagy poláris, közel-poláris pályán keringenek. Számos nemzet, nemzetközi szervezet működtet ilyen típusú műholdakat a Föld klímájának, a meteorológiai jelenségek jobb megismerése vagy az időjárás-előrejelzés érdekében. Ma már nemcsak meteorológiai jellegű adatok gyűjtésére használják ezeket a műholdakat, hanem egységes rendszerben működtetve vizsgálják a globális klímaváltozás hatásait, vagy támogatják a szerencsétlenségek áldozatainak keresését, mentését. Ebben a fejezetben a meteorológiai műholdak a főbb típusok szerint (geostacionárius, poláris) kerülnek bemutatásra, majd a globális mentési rendszer elemei és működésük is ismertetésre kerülnek.

1. A NOAA-GOES rendszer

Az 1960-as évek elejére már elég sok tapasztalat összegyűlt a geostacionárius pályán keringő telekommunikációs műholdak rendszerbe állításával és üzemeltetésével kapcsolatban. Ezért 1966 decemberében a NASA (National Aeronautics and Space Administration) szakemberei egy távközlési műholdon (ATS-1, Application Technology Satellite) helyezték el az első forgó-pásztázó (spin-scan) rendszerű kamerát. Ez a berendezés a Föld feléről 20 percenként készített képeket. A következő kamerát (az ATS-3 műholdon) 1967 novemberében indították útjára, és ezen küldetés során szerzett tapasztalatok alapján alakították át a programot, melynek fő célja ezután kizárólag távérzékelési feladatok végrehajtása lett. A program első műholdja az SMS-1 (Synchronous Meteorological Satellite) volt 1974 májusában. Az SMS-1 egy a látható fény és az infravörös tartományú radiométert VISSR (Visible and Infrared Spin-Scan Radiometer) szállított, mely a Föld feléről készített képeket a látható fény (0,66–0,7 μm) és a hőtartományú-infravörös (10,5–12,6 μm) hullámsávokban 19 percenként.

műhold neve	SMS-1	SMS-2	GOES-1	GOES-2	GOES-3
felbocsátás ideje	1974.05.17.	1975.02.06.	1975.10.16.	1977.06.16.	1978.06.16.
műhold neve	GOES-4	GOES-5	GOES-6	GOES-7	
felbocsátás ideje	1980.09.09.	1981.05.22.	1983.04.28.	1987.02.27.	

2.1.	táblázat -	-GOES 1-7	műholdak	felbocsátási ideie
	unnunu		manoraan	icid occuracit inclo

Az SMS műholdprogramot később átnevezték GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) programra, mely a NOAA tulajdonába és kezelésébe került. Az 1980-as évek végéig a NOAA további 7 GOES műholdat bocsátott fel, melyek az Egyenlítő felett különböző pozíciókban helyezkedtek el a változó igényeknek megfelelően. A jól használható rendszer 3 műhold egyidejű működését feltételezte (amíg meg nem jelentek további nemzetek geostacionárius műholdjai). A GOES-4 1982. novemberében, a GOES-5 1984. júliusában fejezte be a tevékenységét és ebben az időszakban a GOES-1 csak a látható fény tartományában üzemelt, míg a GOES-6 teljes fedélzeti rendszere működőképes volt. A GOES műholdak legfontosabb fedélzeti berendezése a VISSR, de a GOES-3 műholdtól kezdve már egy mikrohullámú légkörszonda is kiegészítette a rendszert, amely a légkör függőleges szerkezetéről szolgáltatott újabb információkat. Mindegyik GOES műhold tervezett élettartama 5 év volt. A NOAA névadási szabványa szerint a tervezett műholdakat betűvel, a működő műholdakat számokkal jelölik.

A GOES 1–7 műholdakon használt szenzorok

- 1. VISSR többcsatornás radiométer, 8 sáv a látható fény tartományban, 2 sáv az infravörös spektrumban.
- 2. VAS (VISSR Atmospheric Sounder) légkörszonda, a VISSR továbbfejlesztett változata. 8 db, a látható fény tartományában működő detektorral, valamint 6 db hőtartományú detektorral, amelyek az infravörös tartomány 12 spektrális sávjában működnek. Az IR detektorok közül 2 képkészítő, 4 légkörszonda. A térbeli felbontás 0,7 km (VIS) és 7-14 km (IR).

A VAS üzemmódjai a következők: eredeti üzemmód, multispektrális képkészítés a teljes földfelszínről félóránként (légköri vízgőz, hőmérséklet, felhőeloszlás), szonda üzemmód 12 spektrális szűrővel.

A GOES 8-12 sorozat

A GOES I-M (8-12) sorozat már 3-tengely mentén stabilizált műholdakat tartalmaz, ezáltal növekszik a megfigyelési idő és egyéb műszerek is alkalmazhatók.

Az új, 5 tagú GOES sorozat első tagját, a GOES-8 (I) műholdat 1994. április 13-án bocsátották fel. A 3-tengelyű stabilizálás miatt a GOES-8 sokkal pontosabb időjárási adatokat és légköri hőmérsékletmérési eredményeket szolgáltat, mint sorozat korábbi tagjai. A vizsgálat folyamatos (összehasonlításként a forgótengelyű műhold 5 %-os időkihasználású). A GOES-8 pozíciója a 75° nyugati hosszúsági kör és az Egyenlítő metszéspontja fölött van, ezért használják a GOES-East elnevezést is.

A GOES-8 és a GOES-10 műholdak együtt teljes fedést adnak a 20° Ny-i és a 165° K-i hosszúsági körök közötti földfelszíni területekre vonatkozóan.

műhold neve	GOES-8	GOES-9	GOES-10	GOES-11	GOES-12
felbocsátás ideje	1994.04.13	1995.05.23.	1997.04.25.	2000.05.03.	2001.07.23.
működés kezdete	1995.06.01.	1996.01.11.	1998.08.27.	2006.06.21.	2003.01.04.
működés vége	2004.05.05	2007.06.15.	2009.12.02.	2011.12.16.	2010.05.10.
inklináció (fok)	0,171	0,405	0,007	0,016	0,423
átlagos magasság (km)	35787	35852	35785	35789	35789
pozíció (fok)	74,90	115,29	135,46	111,70	104,98
szenzorok	GVAR,	-	GVAR,	-	-
	WEFAX,		WEFAX,		
	DCPR,DCPI, SEM, SAR		DCPR, CPI, SEM, SAR		

2.2. táblázat - A GOES 8-12 műholdak alapadatai

A következő, GOES-9 (J) műhold felbocsátási ideje 1995. május 23. volt, és közel 3 évig működött. A rendszer 1998-ban meghibásodott, ezért csak vészmentésekre használják, és más pozícióba állították.

A GOES-10 (K) műholdat (GOES-West) 1997. április 25-én indították útjára, pozíciója a 135° Ny-i hosszúsági kör és az Egyenlítő metszéspontja fölött van.

A GOES-11/12 műholdak tartalék üzemmódban vannak, addig amíg felváltják a GOES-8 vagy a GOES-10 műholdakat.

Szenzorok a GOES 8–12 sorozaton

A második generációs GOES műholdak legfontosabb berendezései a képkészítő (Imager) és a szonda (Sounder).

Az 5-csatornás (1 VIS, 4 IR) képkészítő radiométer a földfelszín által visszavert és kisugárzott energiákat méri. Rendkívül gyors a képkészítés, egy Egyesült Államok középpontú 3000x3000 km-es területet felvételezéséhez 41 mp elegendő.

csatorna szám	1 (VIS)	2	3	4 (IR 1)	5 (IR 2)
hullámhossz (µm)	0,55-0,75	3,8-4,0	6,5-7,0	10,2-11,2	11,5–12,5
felbontás (km) 1		4	8	4	4
			4 GOES M		
rendszer abszolút pontossága	TIR sávokban: kisebb vagy egyenlő 1°K látható fény sávban: 5%				
képkészítés ideje	teljes félgömb fedése kevesebb, mint 26 perc alatt				

A GOES 8–12 szondája egy 19-csatornás radiométer, mely adatokat szolgáltat az atmoszféra hőmérsékletéről, az atmoszféra nedvességtartalomának függőleges eloszlásáról, a felszín és a felhőtető hőmérsékletéről és az ózon eloszlásáról. A szonda detektorai 4 csoportba sorolhatók. Látható fény, hőtartományú, közepes és közeli infravörös detektorokat találunk a szondában.

csatorna szám	hullámhossz	csatorna szám	hullámhossz	csatorna szám	hullámhossz
	(µm)		(µm)		(µm)
1	14,71	8	11,03	14	4,52
2	14,37	9	9,71	15	4,45
3	14,06	10	7,43	16	4,13
4	13,64	11	7,02	17	3,98
5	13,37	12	6,51	18	3,74
6	12,66	13	4,57	19	0,70
7	12,02				

2.4. táblázat - Szonda berendezés csatornái a GOES I-M műholdakon

A GOES műholdak harmadik generációjának tagjait (GOES N,O,P) 2006 óta állítják pályára.

A GOES 13-15 (NOP) sorozat

A GOES műholdak újabb generációja a 2007 óta készít felvételeket a nyugati félgömbről. A közel valós idejű felvételek a NOAA honlapjáról elérhetők.

A GOES-13 műholdat (2.1.ábra) 2006. május 24-én indították el, és 2010. április 14. óta tevékenykedik üzemszerűen a 75 fokos nyugati hosszúsági kör és az Egyenlítő felett (2.2. ábra).

2.1. ábra - A GOES-13 (East) műhold modellje¹



A GOES-14 műholdat 2009. június 27-én indították el, jelenleg tartalék üzemmódban van a 105 fokos nyugati hosszúsági kör és az Egyenlítő felett 2013. február 13. óta.²

A GOES-15 műholdat 2010. április 30-án indították el, és 2011. június 12. óta tevékenykedik üzemszerűen a 135 fokos nyugati hosszúsági kör és az Egyenlítő felett (2.3.ábra).

2.2. ábra - A GOES-13 (East) műhold által lefedett terület 2013.06.16-án³

²http://www.oso.noaa.gov/goesstatus/

¹Forrás: http://www.nesdis.noaa.gov/nesdis_news.html

³Forrás: NOAA GEOSTATIONARY SATELLITE SERVER



2.3. ábra - A GOES-15 (West) műhold által lefedett terület 2013.06.16-án⁴

⁴Forrás: NOAA GEOSTATIONARY SATELLITE SERVER



2. A METEOSAT műholdprogram

A Meteosat (2.4. ábra) az ESA (European Space Agency) meteorológiai műholdprogramja. Indítása 1972-ben történt, a geostacionárius műholdak Európáról, Afrikáról és az Atlanti-óceánról készítenek képeket. A program első szakasza 3 műholdat tartalmazott. 1982 óta a program neve MOP (Meteorological Observation Programme). A MOP program 1987-től átkerült az EUMETSAT irányítása alá.

2.4. ábra - A METEOSAT műhold modellje METEOSAT Structure⁵

⁵⁻ in: http://www.eumetsat.de/en/ index.html?area=left6.html&body=/en/mtp/space/ spacecraft.html © EUMETSAT, 2004



A Meteosat része annak a globális geostacionárius műhold hálózatnak, amely az Egyenlítő felett épült ki. Minden tevékenységet a CGMS (GMS koordináció) bizottság irányít, amely a WMO (World Meteorological Organisation) és a saját műholdat is felbocsátó országok (Európa–ESA, USA–NOAA GOES, USSR–GOMS, Japán–JMA GMS, India–ISRO INSAT) képviselőiből áll.

Az első METEOSAT műhold 1977 novemberében került geostacionárius pályára az Egyenlítő (0° szélesség) és a kezdő meridián (0° hosszúság) fölé, vagyis Nyugat-Afrikától délre, a Guineai-öböl fölött működött 1979-ig. A METEOSAT képei az északi és a déli szélesség 55°-ig használhatóak a Föld görbülete miatt, így jó képi fedést biztosít Afrikára és Dél-Európára, de Észak-Európára már kevésbé.

műhold neve	tevékenység kezdete	tevékenység vég/megjegyzések
METEOSAT-1	1977.11.23.	1979. nov. 24.
METEOSAT-2	1981.06.19.	1988. aug. 12.
METEOSAT-3	1988.06.15.	1995. nov. 22.
METEOSAT-4	1989.03.06.	1995. nov. 08.
METEOSAT-5	1991.03.02.	1998-99 között pozíciója 10° Ny,
		1999. júl. 01-től pozíciója 63° K, óránkénti képek, részvétel az INDOEX kísérletben)
METEOSAT-6	1993.11.20.	2002. okt. 08-tól pozíciója 10° K,

2.5. táblázat - A METEOSAT műholdak tevékenységi periódusai és pozíciójuk ^a

		5 percenkénti képek Európáról, 10 percenkénti képek 15-65°É közötti területekről (RSS – Rapid Scanning Service)
METEOSAT-7	1997.09.02.	tervezett működés 2005-ig, pozíciója 0° Ny
		2003-tól párhuzamosan az MSG-1 műholddal)

^a METEOSAT History - in: http://www.eumetsat.de/en/ index.html?area=left6.html&body=/ en/mtp/background/meteosat_history.html

A HRR (High Resolution Radiometer) radiométer a látható fény, a vízgőz elnyelési sávban és a hőtartományú infravörös sávban félóránként készít képeket. A nadír helyzetű felbontás az IR és a vízgőz elnyelési sávban 5 km, a látható fény sávban 2,5 km.

2.6. táblázat - A HRR szenzor képkészítő rendszerének tulajdonságai

tulajdonság	adat
spektrális tartományok (µm)	0,5–0,9 (látható fény – VIS)
	5,7–7,1 (vízgőz elnyelési sáv)
	10,5–12,5 (TIR)
teljes látószögmező (°)	18
pillanatnyi látómező (mrad)	0,065 (VIS), 0,14 (IR)
térbeli felbontás (km)	2,5x2,5 (VIS)
	5x5 (IR)

A METEOSAT (2.5.ábra) legfontosabb alkalmazási területei: Föld és légkör monitoring, napi csapadékindex és alapvető klimatológiai adatok gyűjtése, pl. felhőfedettség, felhőmozgás, felhőtető magasság, felső troposzférikus nedvesség, csapadékmérés.

2.5. ábra - A Meteosat műhold felépítése⁶

⁶ METEOSAT Spacecraft - in: http://www.eumetsat.de/en/ index.html?area=left6.html&body=/en/mtp/space/spacecraft.html



A Meteosat második generációja – MSG

Az EUMETSAT második generációs geostacionárius műholdját a MSG-1-et, többszöri halasztás után, 2002. augusztus 28-án indították útjára. Az első hivatalos felvételek 2002. november 28-án készültek 2004. január 29-én az MSG-1 megkezdte rutinszerű működését, és a METEOSAT-8 nevet kapta.

Az MSG műholdak (2.6. ábra), a METEOSAT műholdakhoz hasonlóan, a Föld forgástengelyével párhuzamos tengely mentén stabilizáltak. Geostacionárius pályán a műhold az óramutató járásával ellentétes irányban 100 fordulatot tesz meg percenként saját tengelye körül. Az MSG műholdak az Egyenlítő felett a 0° hosszúsági körön helyezkednek el, de szükség esetén keleti és nyugati irányban elmozdíthatók max. 50°-kal. A 680 kg tömegű, henger alakú (átmérő 3,2 m) MSG-1 magassága 2,4 m.

2.6. ábra - Az MSG műhold modellje és részletes felépítése 7

⁷ A multipurpose payload - in: www.esrin.esa.it/msg/pag3.html



A műhold három főbb részből áll:

- 1. a SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) a továbbfejlesztett pörgő képalkotó a műhold középen helyezkedik el, s a látható fény és az infravörös tartományban készít felvételeket,
- 2. az MCP (Mission Communication Payload) kommunikációs rendszert műhold felső részében találjuk,
- 3. a műhold alsó részében helyezték el a működtetésért felelős alrendszereket.

A pályára állításkor és a geostacionárius pályán tartáshoz kisebb rakétahajtó-műveket használnak, melyekhez a hajtóanyagot a műhold tárolja (kb. 40 kg-ot). Az MSG henger alakú felületén 8 db napelemtábla termeli a berendezések működtetéséhez szükséges áramot.

A Meteosat-9 (MSG-2) műholdat Kourou-ról (Francia Guiana), egy Ariane-5 GS hordozórakéta segítségével juttatták az űrbe 2005. december 22-én, míg a Meteosat-10 (MSG-3) műholdat szintén Kourou-ról 2012. július 5-én indították útjára.

Az MSG képkészítő rendszere (SEVIRI)

A SEVERI egy 12-csatornás képalkotó berendezés. A 15 perces képalkotó ciklusok, a METEOSAT-hoz hasonlóan, a terület É-D-i szűkítésével rövidíthetők. A látható fény tartományában a térbeli felbontás 1x1 km (nadírban), infravörösben 3x3 km. A 60 cm-es nyílás és a nagyobb tömeg miatt a képek élesebbek és stabilabbak, mint a korábbi műholdak esetében. A gyors képkészítés lehetővé teszi a felhőképződés és a felhőpályák pontosabb nyomon követését. A SEVIRI mérési adatait a meteorológusok felhasználják numerikus időjárás előrejelző modelljeikben.

csatorna	spektrális sáv (µm)	térbeli felbontás (km)	alkalmazás
HRV 0,75	0,6-0,9	1	felhő szerkezet, szelek
VIS 0,64	0,56-0,71	1	felhő a szárazföldek felett, szelek
VIS 0,81	0,74-0,88	1	felhők a vízfelületek felett, vegetáció
NIR 1,6	1,50-1,78	3	felhők a hó és jégfelszínek felett
MIR 3,8	3,48-4,36	3	alacsony felhők
IR 6,2	5,35-7,15	3	magas vízgőztartalom
IR 7,3	6,85-7,85	3	közepes vízgőztartalom
IR 8,7	8,30-9,10	3	teljes vízgőz mennyiség mérése
IR 9,7	9,38-9,94	3	teljes ózon mennyiség mérése
IR 10,8	9,80-11,80	3	felszín és felhőtető hőmérséklete, szelek
IR 12,0	11,00-13,00	3	felszín hőmérséklet korrekció
IR 13,4	12,40-13,40	3	magasabb felhők vizsgálata

2.7.	táblázat -	Α	SEVIRI	tula	idonságai	és a	alkalmazási	lehetőségei
_ •/•	unnazai	1 .		<i>una</i>	Juonsagai	U 3 4	unannazasi .	icherosegei

A képi alapadatok valós időben érkeznek a fő fogadóállomásra, Darmstadtba. Rendszer, geometriai és radiometrikus korrekció után majdnem valós időben elkészül az átmintázott 1.5 szintű adat, mely az MSG elsődleges terméke. A feldolgozás során a 32 bites alapadatokat korrigálják általános geostacionárius rendszerbe, a kép sarkaiból kiveszik a világűr adatait, a hibás adatok helyén interpolációt vagy maszkolást végeznek és az utolsó lépésben 10-bitre kerekítik a pixelértékeket. A felvételek 5 percen belül elérhetők a HRUS, 15 percen belül a LRUS állomással rendelkező felhasználók számára. A legfrissebb képek gyorsan elérhetők, letölthetők az interneten keresztül, pl. az EUMETSAT honlapjáról.⁸

A képek mérete 3712x3712 pixel, kivéve a HRV sávban, ahol 11136x5568 pixel. A felvételeken – a HRV sáv kivételével – a Föld fele teljesen látható. A HRV sávban csak fél fedés biztosított K–NY-i irányban teljes vagy osztott területen (2.7-11.ábra)

⁸ Meteosat Images – in:http://www.eumetsat.de/.



2.7. ábra - Meteosat-7 VIS kép színes megjelenítéssel (copyright 2001 EUMETSAT)

2.8. ábra - Meteosat-8 RGB színes kompozit (NIR1.6, VIS0.8, VIS0.6) (copyright 2003 EUMETSAT))



2.9. ábra - Meteosat-8 IR10,8 kép 1998. okt. 20. (copyright 1998 EUMETSAT)



2.10. ábra - Meteosat-7 WV (vízgőz) kép 1998. okt. 20. (copyright 1998 EUMETSAT)



2.11. ábra - Meteosat-9 WV (vízgőz) kép 2011. okt. 27. (copyright 2011 EUMETSAT)



EUMETSAT

🏦 Meteosat-10 videoanimáció a láthatófény tartományban (kattints a hivatkozásra!) - 1:53 p

Az MSG földi sugárzási egyenleget mérő berendezése (GERB)

Az MSG fedélzetén további műszereket helyeztek el. A földi klíma változásának megértésében segíthet a GERB (Geostationary Earth Radiation Budget) nevű pásztázó radiométer, mely két széles sávban gyűjti az adatokat. A GERB egyrészt méri a Napból a Földre (pontosabban az atmoszféra felső részére) érkező sugárzás mennyiségét, másrészt méri a földfelszín által reflektált és szórt napsugárzást, valamint a földfelszín által kibocsátott hősugárzás mennyiségét 1 %-os pontossággal.

Az MSG keresést, mentést támogató rendszere

Az MSG a 406 MHz-es frekvencián érkező segélykérő üzeneteket a központi fogadóállomásra, Darmstadtba továbbítja, mely eljuttatja azokat a mentést végző szervezeteknek. A 27 ország által üzemeltett Cospas-Sarsat nevű mentőrendszer, különböző geostacionárius és egyéb műholdakon elhelyezett hasonló berendezései révén, globális kereső és mentési feladatot lát el.

Meteosat harmadik generáció

A Meteosat harmadik generációját 2020 utáni indítással tervezik az ESA szakemberei. A tervekről röviden az alábbiakat olvashatjuk az ESA honlapján:

A Meteosat harmadig generációja (MTG) hat műholdat tartalmaz. A műholdak párban fognak tevékenykedni egy képkészítő - MTG-I (imager) - és egy szonda - MTG-S (sounder) - egységet. A műholdak már 3-tengely mentén stabilizáltak lesznek, így a berendezések folyamatosan a Föld felé fognak irányulni.

A képkészítő műholdon (MTG-I) egy FCI (Flexible Combined Imager) és egy LI (Lightning Imager) berendezés lesz. A vizsgált spektrális sávok száma a tervek szerint 16 lesz a 3 tonnás műholdon. A szondaegységet hordozó műholdon lesz egy interferométer (InfraRed Sounder - IRS), melynek jellemzője a hiperspektrális felbontás a hőtartományú infravörös sávban, valamint egy Sentinel-4 berendezés és egy UVN (Ultraviolet Visible Near-infrared) spectrométer. A szondák feladata a légkör függőleges összetételének az elemzése.

A program várhatóan 2030-as évek végéig biztosítja a meteorológiai megfigyelésekhez szükséges adatokat.

3. A GMS–MTSAT műholdprogram

A **GMS** (Geostationary Meteorological Satellite), másnéven Himawari (2.12.ábra), japán geostacionárius műholdsorozat a Japán Meteorológiai Szolgálat, a JMA (Japanese Meteorological Agency) és a NASDA (National Space Development Agency of Japan) kezelésében van.

2.12. ábra - A GMS-1 műhold felépítése⁹

⁹ Missions of GMS Series Satellites - in: http://mscweb.kishou.go.jp/general/activities/ gms/index.htm#gms5



1. antenna, 2. radiométer, 3. napelemek

2.8. táblázat - A GMS műholdak felbocsátási ideje és pozíciója

műhold neve	felbocsátás ideje	pozíció - megjegyzés
GMS-1	1977.07.14.	befejezte működését
GMS-2	1988.08.11	befejezte működését
GMS-3	1984.08.03.	120° K - befejezte működését
GMS-4	1989.09.06.	140° K - befejezte működését 2000.02.24.
GMS-5	1995.04.	140° K

A GMS program célja:

- 1. a Föld felszínéről, a felhőborítottságról a VISSR berendezés segítségével –képek készítése és azok továbbítása,
- 2. hajókról, meteorológiai állomásokról, stb. érkező időjárási adatok gyűjtése,
- 3. időjárási adatok szolgáltatása hajók, meteorológiai állomások, stb. számára,
- 4. Nap részecskék (solar particles) monitoringja.

A GMS műholdakon a következő szenzorokat helyezték el:

- VISSR (Visible and Infrared Spin-Scan Radiometer) forgó-pásztázó radiométer a 0,5-0,75 μm-es és a 10,5-12,5 μm-es tartományban készít 1,25 km és 5 km felbontásban képeket a Föld felszínéről és a felhőborítottságról.
- 2. SEM (Space Environmental Monitor, NOAA szenzor) speciális műszer, mely méri a Napból érkező elemi részecskék: protonok, alfa-részecskék és elektronok mennyiségét.

A GMS-5 műhold

A GMS-5 műholdat 1995. március 18-án bocsátották fel, és 1995 júniusától kezdett képeket továbbítani. A GMS-5 az Egyenlítő felett a 140° K hosszúsági körön tevékenykedik. 2001 júniusától a legdélebbi fedés egy műszaki hiba miatt megszűnt, de élettartama így is jóval meghaladja a tervezett 5 évet.

A 725 kg tömegű GMS-5 műhold 1-tengely mentén stabilizált (100 fordulatot tesz meg percenként), az antenna mindig a Föld felé irányul. A földi vevőállomásokkal a kommunikációt az UHF antenna (S-sáv) biztosítja.

A GMS-5 forgó-pásztázó képkészítő rendszere 4 sávban készít felvételeket

- 1. látható fény sáv 1,25 km-es felbontás,
- 2. hőtartományú infravörös (11 µm) 5 km-es felbontás,
- 3. hőtartományú infravörös (12 µm) 5 km-es felbontás,
- 4. vízgőz elnyelési sáv (6,5 µm), 5 km-es felbontás.

A GMS-5 nagyfelbontású képformátuma megegyezik a GOES-7 VISSR berendezésének tulajdonságaival. A valós idejű felvételeket Japánban (JWA – Japán Meteorológiai Társaság) és a Hawaii Egyetemen rögzítik, majd továbbítják a NASA-nak az interneten keresztül. 1997-ben az ENSO év keretében elsősorban az ázsiai monszunok megfigyelésére használták a műholdat.

A GMS-5 műholdat 2003. május 22-től a GOES-9 (155° K) helyettesítette.

MTSAT program

A MTSAT (Multifunctional Transport Satellites) a Japán Meteorológiai Szolgálat (Japan Meteorological Agency, JMA) által üzemeltetett és a Japán Kormány tulajdonában lévő időjárási és repülésellenőrző műholdsorozat, mely a korábbi GMS rendszer folytatása (2.13.ábra).



2.13. ábra - A MTSAT-2 műhold¹⁰

A Föld feléről készít felvételeket a 140° K-i hosszúsági kör és az Egyenlító fölött kb. 36000 km-es magasságból. A kép lefedi Japán és Ausztrália, a két legnagyobb felhasználó ország területét. A felvételek 5 sávosak (látható, 4 infravörös, ezen belül vízgőzelnyelési sáv). A látható fény tartományában készülő felvételek geometriai felbontása 1 km, az infravörös sávokban 4 km. A várható élettartam 5 év. A MTSAT-1R (japán neve Himawari 6) műholdat 2005. február 26-án sikeresen felbocsátották és részlegesen 2005. június 28-án kezdett működni (a repülés irányító berendezés nem üzemelt), ekkor a GMS-5 műholdat helyettesítő GOES-9 műholdat üzemen kívül helyezték. A MTSAT-2 (Himawari 7) műholdat 2006. február 18-án sikeresen felbocsátották és a 145° K-i hosszúsági kör fölé pozícionálták (2.14.ábra). Az időjárási funkcióit azonban az MTSAT-1R működési ideje alatt nem használták. A JMA a Himawari-8 felbocsátását 2014 nyarára tervezi, és 2015-ben fog működésbe lépni, amikor a MTSAT-2 várhatóan befejezi működését. A JMA a Himawari-9 felbocsátását 2016-ra tervezi¹¹

2.14. ábra - A MTSAT-2 felvétele az infravörös sávban (2013.06.16)

11http://mscweb.kishou.go.jp/himawari89/index.html

 $^{{}^{\}rm 10} http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/materials/MTSAT-2/MTSAT-2.png$



4. Az INSAT műholdprogram

Az INSAT (Indian National SATellite) több indiai szervezet és intézmény közreműködésével jött létre. A műhold egyrészt geostacionárius műholdként üzemel az indiai szubkontinens és az Indiai-óceán felett, de egyidejűleg telekommunikációs és közvetlen televíziós műsorszórási feladatokat is ellát.

Az Indiai Űrkutatási Szervezet (ISRO - Indian Space Research Organization) által működtet INSAT sorozatok 3-tengely mentén stabilizált műholdakat tartalmaznak. A kb. 10 évente egymást követő sorozatokon belül hasonló műholdakat találunk. Az INSAT-1 sorozat a 80-as években, az INSAT–2 sorozat a 90-es években, míg az INSAT-3 sorozat az új évezred első évtizedében tevékenykedik. A sorozatokon belüli műholdakat A, B, C stb. betűkkel jelölik. 2013-ban a program 24 műholdjából 10 üzemelt ((INSAT-3A, INSAT-4B, INSAT-3C, INSAT-3E, KALPANA-1, INSAT-4A, INSAT-4CR,GSAT-8, GSAT-12 és a GSAT-10)).

Az INSAT-1 sorozat

A sorozaton belül az INSAT-1D főbb szenzora a VHRR radiométer (Very High-Resolution Radiometer). Az 1. sáv (0,47-0,70 μm) felbontása 2 km, a 2. sávé (10,5-12,5 μm) 8 km. A képkészítés ideje 30 perc, a vizsgált terület kiterjedése a nadírhelyzettől 20° K-Ny-i és 14° É-D-i irányban (normál üzemmód).

2.9. táblázat - Az INSAT-1 műholdsorozat tagjai

műhold neve	indítás	befejezés	pozíció
INSAT-1A	1982.04.	1982.09.	(74° K)
INSAT-1B	1983.08.30.		(94° K)
INSAT-1C	1988.07.22.	1989.11.22.	-
INSAT-1D	1990.06.12.	2002.05.	74° K

Az INSAT-2 sorozat

A sorozaton belül az INSAT-2E szenzora kiegészült a vízgőz elnyelési sávval (5,7–7,1 μm). Sikeres felbocsátása 1999. április 3-án volt, pozíciója a 83° K. Az új képkészítő rendszer 1999 végére tönkrement, így az INSAT-1D műholdat állították újra rendszerbe, mely 2002 május közepéig működött.

Az INSAT-3 sorozat

Az ISRO 2002-06 között 6 újabb műholdat készít, egyet METSAT, ötöt INSAT néven (A–E jelzés). A METSAT egy könnyű, olcsó műhold, fedélzetén a VHRR berendezéssel, melyet 2002 szeptemberében bocsátottak fel. A Columbia űrsikló tragédiája után a METSAT műhold nevét KALPANA-1-re módosították, tisztelegve a katasztrófában elhunyt indiai származású amerikai kutató-űrhajósnő, Dr. Kalpana Chawla emléke előtt.

Az INSAT-3A még a korábban bemutatott meteorológiai mérőberendezéseket hordozta. Az INSAT-3B felbocsátása 2000. március 20-án, az INSAT-3C műholdé 2002. január 24-én volt. Tervezett élettartamuk 10 év. Az INSAT-3D-re (várható felbocsátás ideje 2004) már egy 6-csatornás képkészítőt és egy 19-csatornás szondát szerelnek fel.

Az 1,93x1,7x1,65 m méretű, 2070 kg tömegű műhold 2 napelemszárnya összesen 14,7 m hosszú, kb. 23 m²-es felületével 1,7 kW energiát termel.

5. A GOMS műholdprogram

A GOMS (Geostationary Operational Meteorological Satellite) – másnéven ELEKTRO vagy ELECTRO – a GMS rendszer orosz tagja (2.15. ábra). A 3-tengely mentén stabilizált műholdat 1994. október 31-én bocsátották fel, pozíciója 76°50' K, súlya 2400 kg. A kezdeti problémák ellenére a keleti félgömbről készített felvételeket. Várható élettartama 2-3 év volt, de műszaki problémák miatt a látható fény tartományában készült képeket nem tudta továbbítani. A GOMS IR képei 1996 júniusától elérhetők.

A GOMS műholdak következő egységét a GOMS-N2 műholdat várhatóan 2005-ben állítják geostacionárius pályára, pozíciója 76° K lesz.

2.15. ábra - A GOMS műhold modellje¹²

¹²http://sputnik.infospace.ru/goms/engl/goms_im.htm



ELEKTRO-L (GOMS-2)

Elektro-L 1, műholdat 2011. január 11-én indították el. Ez az első sikeres, geostacionárius pályán működő orosz meteorológiai műhold és jelenleg a második orosz meteorológiai műhold.

A fedélzeten egy MSU-GS nevű, képalkotó rendszer található, melynek 1 km-es a geometriai felbontása a 2 látható fény tartományába eső sávban és 4 km a 8 infravörös sávban 800 nm-től 11500 nm-ig. Alapesetben 30 percenként készít képet, de vészhelyzetek idején az ismételt lefedések közötti idő lerövidíthető 10 percre. Az optikai mechanikus kamera a látható fény sávban 12,576 pixel/sor felbontú.

Feladatai:

- 1. valósidejű televíziós képkészítés a földfelszínről és a felhőborítottságról a látható fény és az IR tartományban
- 2. szárazföldek és az óceánok hőmérsékletének mérése
- 3. sugárzási állapot és a mágneses mező mérése
- 4. rádiócsatornákon keresztül digitális adattovábbítás

Az STR (Scanning Television Radiometer) – pásztázó televíziós radiométer – a látható fény, valamint az infravörös tartományban készít képeket. A képsorok száma 8000 a látható fény és 2500 az infravörös tartományban. Az IFOV 31,5 µrad, az AFOV-nak megfelelő teljes kép mérete 13500x13500 km. A radiometrikus felbontás 8 bit. A képek továbbítási gyakorisága kevesebb, mint 30 perc, a kép elkészítési ideje 15 perc. Az adattovábbítási sebesség 2,56 Mbps.

2.10. táblázat - Az STR pásztázó televíziós radiométer csatornái

hullámsávok (μm)	felbontás (km)
0,46 – 0,7 (VIS)	1,25
10,5 – 12,5 (IR I)	6,25
6 – 7 (IR II)*	6,25

* csak a GOMS-2 műholdtól

Az RMS nevű sugárzásmérő (Radiation Measurement System) a napsugárzás vizsgálatára és egyéb geofizikai mérésekre szolgáló műszer. Feladatai:

- 1. protonok, elektronok, alfa-részecskék érzékelése,
- 2. Nap eredetű röntgen-sugárzás mérése,
- 3. mágneses mező vektor összetevőinek mérése.

6. A FENG-YUN műholdprogram

A Kínai Népköztársaság geostacionárius meteorológiai műholdja a FENG-YUN (jelentése: szél-felhő). A műhold 1-tengely mentén stabilizált, 100 fordulatot tesz meg percenként tengelye körül (2.16. ábra).

2.16. ábra - A Feng-Yun-2 műhold modellje 13



Feladatai:

- 1. nappali felhőtérkép készítése a látható fény tartományában,
- 2. nappali és éjszakai felhőtérkép készítése az IR tartományban,
- 3. vízgőz eloszlási térkép készítése,
- 4. meteorológiai, óceanográfiai állomások adatainak gyűjtése,
- 5. fedélzeti műveletekkel alacsony felbontású időjárási térképek készítése,

¹³http://en.wikipedia.org/wiki/Fengyun

- 6. felhőtető és tengerfelszín hőmérsékletmérés,
- 7. szélmező meghatározás az adatokból.

Az első FY-2 műhold a földön megsemmisült (1994.04.02), amikor a hordozórakéta üzemanyaga felrobbant megölve 1 embert, megsebesítve további 20-at. A második FY-2 műholdat 1997. június 10-én sikeresen felbocsátották és 1997 végén már rendeltetésszerűen működött. Neve FY-2A lett, pozíciója a 105° K (79°–122° K) volt. A kezdeti sikeres működés után azonban, a műhold VISSR nevű képkészítő berendezése már csak napi egy képet készített, és 1999 márciusában megszűnt a képtovábbítás (2.17. ábra).

Az FY-2B műholdat 2000. június 25-én indították el, és többek között 2000. októberében képet készített arról a tájfunról, mely a Szingapúri Légitársaság gépének katasztrófáját okozta Tajvan szigetén.

Az FY-2C (2004.10.19.), FY-2D (2006.12.08.) és az FY-2E (2008.12.23.) műholdak mindegyikére egy 5-csatornás VISSR képkészítő rendszer kerül.

2.17. ábra - Az első Feng-Yun-2E műholdkép a látható fény sávban 2010.11.22.¹⁴



2.11. táblázat - A FENG-YUN-2A/E műholdak VISSR szenzorának spektrális sávjai

	FY-2 A,B	FY-2 C,D,E	FY-2 A,B	FY-2 C,D,E				
VIS	VIS	IR	WV	IR1	IR2	IR3	IR4	
hullámhoss z	0,5-1,05	0,5-0,75	10,5-12,5	6,3-7,6	10,3-11,3	11,5-12,5	3,5-4,0	6,3-7,6
(µm)								

¹⁴http://nsmc.cma.gov.cn/NewSite/NSMC_EN/Contents/100353.html

térbeli felbontás (km)	1,44	1,25	5,76	5,76	5	5	5	5
hőmérsékl et felbontás (°K)			0,6	1,0	0,4-0,2	0,4-0,2	0,5-0,3	0,6-0,5
detektorszá m	4	4	1	1	1	1	1	1
radiometri kus felbontás (bit)	6	6	8	8	10	10	10	10

7. A geostacionárius műholdak együttes alkalmazása

Az amerikai, az európai és a japáni geostacionárius meteorológiai műholdak összekapcsolásával alakították ki először a globális adatgyűjtő rendszert (Első GARP Globális Kísérlet-First GARP Global Experiment), amely 1978–79-ben valósult meg. A geostacionárius műholdak rendszere állandó, megbízható meteorológiai célú képkészítést biztosít a teljes földfelszínre vonatkozóan.

8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ez a fejezet a geostacionárius pályán keringő meteorológiai műholdak pályaadatait, képalkotó rendszereit, alkalmazási lehetőségeit mutatta be. A legfontosabb műholdcsaládok (NOAA-GOES, METEOSAT, INSAT, stb.) kiépítése, a műholdak pályára állítása és fejlesztése napjainkig megtalálható a fejezetben

Ellenőrző kérdések:

- 1. Mekkora a geostacionárius pálya magassága?
- 2. Mit vizsgálnak a METEOSAT sorozat műholdjaival?
- 3. Milyen pályán keringenek a METEOSAT műholdak?
- 4. Melyik sávra terjed ki a közeli infravörös sáv?
- 5. Melyik spektrális tartományban teljes a víz elnyelése?
- 6. Melyik színtartományban verik vissza a növények a legnagyobb arányban a látható fényt?

3. fejezet - POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

Ebben a fejezetben a poláris pálán keringő meteorológiai műholdak kerülnek bemutatásra. A geostacionárius műholdakkal szemben a poláris pályán keringő műholdak jobb geometriai felbontásúak, ugyanakkor valamelyest hosszabb idő telik el egy terület ismételt fedései között.

korábbi ismeretek: poláris pálya, pásztázó rendszerek, reflektancia

kulcsszavak: multispektrális rendszer, szonda, légkör, AVHRR, vegetációs index

1. A TIROS-NOAA műholdprogram

A műholdas távérzékelés korai szakaszában a vizsgálat tárgya nem a földfelszín, hanem a légkör volt. A kutatók viszont gyorsan felismerték a nagy területi lefedésű képek értékeit, különösek azok alkalmazhatóságát a felhőrendszerek és a nyílt óceáni területek kutatásában.

Az USA 1960. április 1-én bocsátotta fel a TIROS-1 (*Television and InfraRed Observation Satellite*) műholdat (3.1.ábra). Több TIROS műhold követte a rövid életű TIROS-1 műholdat, 1960–65 között összesen 10 hasonló műholdat bocsátottak fel. Mindegyiken egy kicsiny televíziós kamerát helyeztek el, míg néhány műholdon további kiegészítő műszerként szerepelt egy hőtartományú-infravörös radiométer és egy földi sugárzásháztartást mérő berendezés. A TIROS műholdak fő hiányossága a kis területi lefedés volt. A TIROS 1–4 műholdak pályainklinációja 48° volt, míg a TIROS 5–8 műholdaké 58°, vagyis a műholdak csak a 48° vagy az 58° északi és déli szélességekig tudtak eljutni. Ez jó lefedést biztosított a trópusi és a szubtrópusi területeken, de a közepes szélességek és a poláris területek teljesen fedés nélkül maradtak.

3.1. ábra - A TIROS-1 műhold modellje¹



ESSA TOS 1-9 (TIROS 11-19) műholdsorozat

TIROS sorozat első, lényegében kísérleti darabjait 1966-ban egy már gyakorlati műholdsorozat, a TOS (Tiros Operational System) követte. A műholdat úgy tervezték, hogy rutinszerűen végezze a napi megfigyeléseket és az adatokat megszakítás nélkül továbbítsa a földi vevőállomásokra. Ezeket a műholdakat később átnevezték ESSA műholdakra a működésükért felelős intézmény neve alapján (ESSA = US Environmental Science Services Administration). 1966-69 között kilenc műholdat bocsátottak fel, melyek kiváló globális képi adatforrásoknak bizonyultak. A globális adatgyűjtést az tette lehetővé, hogy a pálya inklinációja kb. 100° volt,

¹ http://www.skyrocket.de/space/ doc_sdat/tiros.htm

így minden megtett pálya alatt a műhold 10°-ra megközelítette a sarkokat. A képekből egy-egy poláris sztereografikus vetületben lévő mozaikkép készült az északi és a déli féltekére vonatkozóan, igaz a mozaikok nem egyidejű képekből álltak és a felhőtakarás is zavarhatta a felszíni formák vizsgálatát.

Minden páros számú ESSA műhold (ESSA 2–8) képeit az automatikus képi adatátvitel, az APT (Automatic Picture Transmission) segítségével közvetlen módon lehetett gyűjteni a Föld bármely részén. Ez a felhasználók számára egy alacsony építési költségű fogadóállomás kialakítását tette lehetővé, és ezek segítségével gyűjthették a saját területükről készített meteorológiai műholdképeket. A páratlan számú ESSA műholdakon (ESSA 1-9) egy mágnesszalag egység tárolta az adatokat. A műhold a rögzített adatokat később továbbította a Földre, akkor, amikor a műhold egy vagy két fogadóállomás (Virginia vagy Alaszka) hatókörzetébe került.

ESSA ITOS (Tiros M/NOAA 1/ITOS A,B,C) műholdak

A meteorológiai műholdak második generációja az ITOS (Improved Tiros Operational System) műholdak 1970es felbocsátásával indult. Az ITOS műholdak rendelkeztek a közvetlen APT adatátvitel előnyével és fedélzeti tárolási lehetőséggel. Mindegyik képes volt nappali adatgyűjtésre (látható fény és hőtartományú-infravörös képkészítés), valamint éjszakai, csak hőtartományú-infravörös kép alkotására. A pásztázó radiométer közepes (4 km) és nagy (0,9 km) térbeli felbontást biztosított. Az ITOS műholdakat később átnevezték NOAA-ra, miután az ESSA utódja a NOAA (Amerikai Nemzeti Óceán és Atmoszféra Kutató Hivatal–US. National Oceanic and Atmospheric Administration) lett.

A NOAA 2/18 műholdak

Különböző műhold-generációkat találunk az új NOAA sorozaton. A NOAA poláris pályán keringő műholdjai által készített felvételek az elmúlt 40 év alatt világszerte ismertekké váltak a felhasználók előtt. Több mint 30 éve már, hogy szinte teljesen azonos kiépítéssel és adatátviteli móddal működnek a sorozat elemei (3.2-3.ábra)².

3.2. ábra - A NOAA-11 műhold modellje

3.3. ábra - A jelenlegi NOAA műholdak felépítése ³

²http://airandspace.si.edu/exhibitions/looking-at-earth/online/images/LE411L5.jpg



1.1. Az AVHRR szenzor és alkalmazási területei

A NOAA sorozat akkor vált igazán ismertté, amikor a fedélzeten megjelent az AVHRR (Advenced Very High Resolution Radiometer), az ún. fejlett, nagyon nagy felbontású radiométer. A sikeres felbocsátás után a betűk helyett számokkal látták el a műholdakat. Ezen sorszámozás alapján a 6-os sorszámú volt az első műhold, amely már hordozta az AVHRR berendezést. A műholdak közül a páros számúak nappal, 7 óra 30 perckor keresztezik az Egyenlítőt észak-déli irányú pályájukon, míg a páratlan sorszámúak éjszaka, 02 óra 30 perckor teszik ugyanezt.

paraméter	NOAA-6/18	NOAA-7/19
felbocsátás ideje	1979.06. (NOAA-6)	1981.06.23. (NOAA-7)
	1983.03. (NOAA-8)	1984.12.12. (NOAA-9)
	1986.09. (NOAA-10)	1988.09.24. (NOAA-11)
	1991.05. (NOAA-12)	1993.08.09. (NOAA-13)
	1994.12.30. (NOAA-14)	1998.05.13. (NOAA-15)
	2000.09.21. (NOAA-16)	2002.06.24. (NOAA-17)
	2005.05.20. (NOAA-18)	2009.02.06. (NOAA-19)

3.1. táblázat - A NOAA 6-19 műholdak felbocsátási ideje és pályaadataik^a

³ The instruments of NOAA-M, NASA RELEASE, 22.06.2002. in:http://www.spaceflightnow.com/titan/g14/020620instruments.html

POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

magasság (km)	833	
keringés ideje (perc)	102	
inklináció szöge (°)	98,9	
fordulat/nap	14,1	
pályák közötti távolság (°)	25,5	
pályaismétlődés (nap)	4-5	8-9

ahttp://www.oso.noaa.gov/poesstatus/

A rendszer felbontóképessége a többi, később kifejlesztett rendszerhez képest nem olyan nagy, mint azt a neve sugallja, hiszen a nadír helyzetű pixelek 1,1 km széles területeket jelölnek. Kialakításakor azonban ez még tényleg jó felbontásnak számított, bár a szenzor rendszerbeállítása óta sokat javult a műholdak felbontóképessége. A NOAA sorozat műholdjai az AVHRR 1,1 km-es geometriai felbontása és nagy látószöge miatt óriási területet tudnak egyidejűleg felvételezni. Egy érzékelt sáv szélessége kb. 2400 km, amely pl. az amerikai kontinenst tekintve, majdnem félig lefedi az Amerikai Egyesült Államok területét (3.4. ábra).

3.4. ábra - A NOAA AVHRR lefedési területe az észak-amerikai kontinens felett ⁴

⁴ http://edc.usgs.gov/guides/images/avhrr/figure1.gif



3.2. táblázat - A NOAA 6–19 műholdak AVHRR szenzorának adatai

paraméter	NOAA-6/18	NOAA-7/19
rálátás szöge (°)	±55,4	
legkisebb felszíni felbontás (km)	1,1	
felbontás off-nadir maximum (km)	2,4x6,9	
lefedett terület szélessége (km)	2400	
időfelbontás (óra)	12	
É-D irányú egyenlítői metszés	19 óra 30 perc	14 óra 30 perc
D-É irányú egyenlítői metszés	07 óra 30 perc	02 óra 30 perc
1. sáv (AVHRR) (µm)	0,58 - 0,68	
2. sáv (µm)	0,72 - 1,10	
POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

I	1	l
3. sáv (µm)	3,55 - 3,93	
4. sáv (μm)	10,5 – 11,5	10,3 – 11,3
5. sáv (µm)	10,5 – 11,5	11,5 – 12,5

Az AVHRR a keresztsávú radiométerek közé tartozik, a pillanatnyi látómező 1,4 mrad. Percenként 360 pásztázás történik, egy sorban 2048 mintát vesz (1,36 minta 1 IFOV-ra). A nadírhelyzettől maximum 55,4°-kal térhet el a látószög. Természetesen a felbontás erősen változik, ahogy a rálátás szöge nő. A rálátás szögének változása és a Föld görbülete együttesen erősen torzítja a képeket a szélek felé, de ezt geometriai korrekcióval ki lehet küszöbölni.

A NOAA AVHRR különösen a vegetáció nagy területű monitoringjához biztosít kedvező feltételeket. Általában a spektrális csatornák közül a látható fény tartományába eső 1. sávot (0,58–0,68 μ m) és a közel infravörös 2. sávot (0,73–1,1 μ m) használják erre a célra.

Azokat a matematikai kifejezéseket, melyekben e két sáv segítségével fejezzük ki a vegetáció jelenlétét és állapotát, vegetációs indexeknek nevezzük. A vegetációs indexek közül kettőt – az egyszerű vegetációs indexet (VI, simple Vegetation Index), és a normalizált vegetációs indexet (NDVI, NormalizeD Vegetation Index) - már rutinszerűen számolnak és használnak az AVHRR adatok segítségével. Az m oszlopból és n sorból álló kép i oszlopában és j sorában elhelyezkedő pixel által reprezentált terület vegetációs indexe a következőképpen fejezhető ki:



ahol p2 a pixel értéke a 2. sávban (IR) és p1 a pixel értéke az 1. sávban.

Az NDVI értéket bármely olyan műholdfelvétel alapján kiszámíthatjuk, mely tartalmaz az AVHRR szenzor első két sávjával megegyező sávokat, ezért az NDVI értékét általános formában is megadhatjuk a következőképpen:



Az NDVI értéke -1 és 1 közé eső szám lehet. A normalizált vegetációs indexet inkább a globális vegetációs monitoring érdekében vezették be, hiszen így kiküszöbölhetők a besugárzás, a lejtőszög, a kitettség és más külső tényezők okozta eltérések. A dús, egészséges vegetációjú területek NDVI értéke 0,2 és 0,8 között van a növények sűrűségétől és klorofiltartalmától függően.

A növényzettel borított területek indexei nagyobb értékűek lesznek a vegetáció relatíve magas infravörös és alacsony vörös reflektanciája miatt, mint a vegetációmentes felszínek. A felhő, a víz és a hó magas látható fény és alacsonyabb infravörös visszaverése miatt negatív vegetációs indexű. A kőzet- és talajfelszínek a közel azonos infravörös és vörös reflektancia miatt nullához közeli vegetációs indexűek.

A negatív NDVI értékek elkerülése érdekében bevezették a transzformált vegetációs indexet, melynek értéke:

$TNDVI = \sqrt{NDVI + 0,5}$

Később, elsősorban a Landsat MSS és TM felvételek alapján, számos további tapasztalati (empirikus) indexeket (LAI – levélborítottsági index, greenness index – zöld vegetáció index, stb.) is kialakítottak, melyek alkalmasak a növényzettel kapcsolatos paraméterek mérésére.

Az AVHRR adatokat mozaikszerűen feldolgozva elkészíthető a napi globális NDVI térkép. A napi 14 pálya mozaikszerű kompozícióját egy poláris-sztereografikus vetületben ábrázolják. Mivel a Föld fele általában felhővel takart, ezért egy 7 napos adatfelvételi periódust használnak a végleges kompozíciók elkészítéséhez. Olyan területekről, amelyekről több sikeres felvételezés is készült e hét nap alatt, az egyes pixelhez mindig a legnagyobb NDVI értéket rendelik. Egy ilyen kép mindig a legkevesebb felhővel ábrázolja a Földet. Az AVHRR adatokat három különböző formában tárolják:

- 1. HRPT (High Resolution Picture Transmission) nagyfelbontású képátvitel adatai teljes felbontásúak, azaz a térbeli felbontás 1,1 km. Bármely olyan fogadóállomáson gyűjthetők, amely fölött éppen áthalad a műhold. A HRPT a korábban alkalmazott APT adatátviteli rendszer megfelelője.
- 2. LAC (Local Area Coverage) helyi területfedési adatok. Minden pályán 10 percnyi, teljes felbontású adattömeg tárolható a fedélzeten és újra lejátszhatók, ha a műhold valamelyik fogadóállomás fölé ér. A 10 percnyi adat megfelel egy 4000x2400 km-es területnek.
- 3. GAC (Global Area Coverage) globális területfedési adatok. A teljes felbontású adatok mennyiségét csökkentik, így globális fedés érhető el. Az adatértékelési keret egy 3 sorból és soronként 5 pixelből álló, 15 eredeti pixel feldolgozása után létrejött háló. Egy GAC pixel reprezentálja ezeket a képelemeket oly módon, hogy az új pixelérték az sor adott 4 pixelének az átlaga lesz (3.5. ábra).

3.5. ábra - A NOAA AVHRR LAC adatainak átalakítása GAC adatokká ⁵

⁵ A. van Dijk: Remote sensing and crop yield prediction – in: Land observation by remote sensing (editors: H.J. Buiten- J. Clevers (1993)



1.2. A NOAA 9/14 műholdak további műszerei

A NOAA műholdakon is, mint egyéb meteorológiai műholdon, a korai működési szakaszban a legfontosabb műszerek a képkészítő műszerek voltak. Később ezek mellett, megjelentek egyéb műszerek is, mint pl. az atmoszféra függőleges szerkezetét vizsgáló szondák. Ezek a szenzorok alacsony (10 km-nél nagyobb) térbeli felbontásúak voltak és nem készítettek képeket. A NOAA műholdakon az alábbi műszeregyüttes foglalt helyet a TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) rendszerben:

A HIRS/2I (High Resolution Infrared Radiation Sounder) nagyfelbontású infravörös sugárzás szonda a légköri hőmérsékletet és nedvességet méri. A földfelszíntől 40 km magasságig megszerkeszti a légkör függőleges hőmérsékleti profilját. A méréseket a látható fény és az infravörös tartomány 20 sávjában végzi. Spektrális tartományok: 6,72–14,95 μm (1–12. sáv), 3,76–4,57 μm (13–19. sáv), 0,69 μm (20. sáv). A lefedett terület 2240 km széles, a térbeli felbontás 20,4 km.

Az SSU (Stratospheric Sounding Unit) sztratoszféra szonda egység a felső légkörben (25–50 km) végez hőmérsékletméréseket. A spektrális sávok frekvenciája 669,99, 669,63, 669,36 cm-1. A nadírhelyzetű felbontás 147,3 km.

	NOAA-11	NOAA-12	NOAA-14	NOAA-15	NOAA-16	NOAA-17
AVHRR	ki	be	csökkentett	be/csökk.	igen	igen
AMSU-A1	nincs adat	nincs adat	nincs adat	be	igen	igen
AMSU-A2	nincs adat	nincs adat	nincs adat	be	igen	igen
AMSU-B	nincs adat	nincs adat	nincs adat	be	igen	igen
HIRS	be	be	be	be	igen	igen
MSU	ki	be	be	nincs adat	nincs adat	nincs adat
SSU	be	nincs adat	be	nincs adat	nincs adat	nincs adat
DCS	be	be	be	csökkentett	igen	igen
SARR	be	nincs adat	be	be	csökkentett	igen

3.3. táblázat - A NOAA 11/17 műholdak műszerei

POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

1	I	I	I	I	I	I
SARP	be	nincs adat	ki	be	igen	igen
SEM	nincs adat	be	be	be	igen	igen
SBUV	be	nincs adat	be	nincs adat	igen	igen

Az MSU (Microwave Sounding Unit) mikrohullámú szondaegység detektálja és méri a troposzféra hőmérsékletét a földfelszíntől 20 km magasságig. A mikrohullámú energia radiometrikus mérését 4 sávban végzi. A troposzférából beérkező jeleket összehasonlítja a belső referencia adatokkal. Az MSU egyidejűleg vizsgálja a hőmérsékletet a HIRS/2I-vel, így kiküszöbölhető a felhők zavaró hatása. A spektrális csatornák: 50,3, 53,74, 54,96 és 57,95 GHz. A lefedett terület szélessége 2348 km, nadírban a felbontás 105 km.

A korábbi NOAA műholdakon (9–10) üzemelt olyan egység, amely a Föld sugárzásháztartási egyenlegét vizsgálta (ERBE), és egy műszer a Napból érkező és a Föld felszínéről visszaverődő ultraibolya sugárzást mérte (SBUV/2). Különálló egység üzemelt a tengeri bójákról érkező jelek feldolgozására, és ez segíti a tengeri hajózásban a helymeghatározást, illetve a veszélybe került hajók vagy a tengerbe zuhant repülőgépek felkutatását is, a rádióadók jeleinek érzékelésével.

1.3. A NOAA 15/18 műholdak műszerei

Több olyan műszer megváltozik a NOAA sorozat K (NOAA-15) tagjától, melyek szerepeltek az E-J tagokon.⁶ Még fontosabb változásokat terveznek az N sorozatbeli elem után (2004. szept.).⁷ A NOAA-15 AVHRR/3 nevű képkészítő berendezése elsősorban a felhasznált hullámhosszak terén jelent módosítást. A 3. sáv kibővült egy másik hullámhossz-tartománnyal, ezzel érik el az éjjeli-nappali kapcsolási lehetőséget.

1.4. NOAA N

Még fontosabb változásokat terveznek az N sorozatbeli elem után (2004. szept.). A NOAA-15 AVHRR/3 nevű képkészítő berendezése elsősorban a felhasznált hullámhosszak terén jelent módosítást. A 3. sáv kibővült egy másik hullámhossz-tartománnyal, ezzel érik el az éjjeli-nappali kapcsolási lehetőséget.

csatorna	NOAA 6,8,10	NOAA 7,9,11,12,14	NOAA 15,16,17
1	0,58-0,68	0,58-0,68	0,58-0,68
2	0,725-1,10	0,725-1,10	0,725-1,10
3a	-	-	1,58-1,64
3b	3,55-3,93	3,55-3,93	3,55-3,93
4	10,5-11,5	10,3-11,3	10,3-11,3
5	10,5-11,5	11,5-12,5	11,5-12,5

3.4. táblázat - Változások a NOAA-AVHRR csatornákban a NOAA műholdakon

Az első három sávban a további képminőség javulást úgy segítik, hogy bővítik a radiometrikus felbontást. Még nagyobb hatású az új, 20 csatornás mikrohullámú szonda, az AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) bevezetése. A jelenlegi infravörös szonda, a HIRS/3 (High Resolution Infrared Sounder) megmarad a műholdsorozat K, L, és M tagjain a program folytatása érdekében, valamint azért, mert az új infravörös atmoszférikus szondák fejlesztése még folyik.

[°]NOAA KLM USER'S GUIDE - in: http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm

⁷ http://poes.gsfc.nasa.gov/history/history_home.htm - VAFB LAUNCH SCHEDULE

csatorna	frekvencia (GHz)	alkalmazás
1	23,8	vízgőz, csapadék, jég/hó
2	31,4	vízgőz, csapadék, jég/hó
3-14	50,8-58,0	hőmérséklet szondázás
15-16	89,0	vízgőz, csapadék, jég/hó
17	157,0	vízgőz, csapadék, jég/hó
18-20	183,0	vízgőz, csapadék, jég/hó

3.5. táblázat - A tervezett csatornák és alkalmazási területek az AMSU-A és az AMSU-B berendezésekkel a NOAA-K műholdon

Mind a HIRS mind az AVHRR alkalmazása megszűnik egy összetett képalkotó egység rendszerbe állításával, amely az AMRIR (Advanced Medium Resolution Imaging Radiometer) – közepes felbontású képkészítő radiométer – nevet viseli. Ez a 11-csatornás berendezés 0,5 km-es felbontásban készít képet nadír helyzetben (II.20. táblázat) és 10-ről 12 bitre növekszik a radiometrikus felbontás. A berendezés alkalmazza az egyéb, pl. a SPOT műholdakon bevezetett technikákat, pl. a többelemes sordetektorokat és a push-broom pásztázó technikát.

Az AMRIR teljesen felváltja a jelenlegi AVHRR és HIRS rendszereket. A változás tovább erősödik majd, ha az AMRIR-AMSU kombináció lép a jelenlegi AVHRR-HIRS-MSU műszeregyüttes helyébe, hiszen új csatornák lépnek be, csökken a mintavételi terület, amely jobb felbontóképességgel jár. Az MSU mikrohullámokat (felhő áthatoló képesség) alkalmazott a különböző időjárási feltételek felszíni megfigyelésben.

Jelenleg az a NOAA és a NASA közös elképzelése, hogy ezeken a műholdakon olyan infravörös szondákat üzemeltessenek, amelyek rendkívül keskeny spektrális tartományokban működnek. Ilyen berendezésből nagyon sokat (esetleg több százat, talán ezret is) egyidejűleg alkalmaznak. A NOAA által kifejlesztett berendezés, a HIS (High Resolution Interferometer) nevet azért kapta, mert egy interferométert használ a spektrális csatornák szétválasztására. A NASA fejlesztésében egy AIRS nevű infravörös szonda (Atmospheric InfraRed Sounder) szerepel, amely vagy egy interferométert vagy pedig egy rács-spektrométert használ a szűk tartományok elválasztására. A NOAA hosszú távú tervei alapján ezen műszerek közül a fejlesztési kísérletekben sikeresebb fog majd az új NOAA sorozat poláris pályán keringő műholdjain üzemelni.

csatorna	hullámhossz	alkalmazási terület
1	665 nm	látható fény, aeroszolok, ERB=Earth Radiation Budget, a földi sugárzás háztartás
2	855 nm	aeroszolok, ERB
3	1,61 µm	hó/felhők, ERB
4	650 nm	alacsony fény szintek
5	2210 cm-1=4,52 mm	szondázás
6	2240 cm-1=4,46 mm	szondázás

3.6. táblázat - Az AMRIR csatornák frekvenciái a tervezett NOAA műholdakon

POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

7	738 cm-1=13,55 mm	szondázás, SST=Sea Surface Temperature, a tenger felszín hőmérséklet
8	3,72 µm	szondázás, SST
9	4,01 μm	szondázás, SST
10	10,8 μm	szondázás, SST, infravörös képek
11	12,0 μm	szondázás, SST, infravörös képek

2. A szovjet/orosz meteorológiai műholdprogram

A METEOR-1 program

A Meteor nevet kapta az 1969 óta működő, alacsony pályamagasságú (LEO, Low Earth Orbit) szovjet/orosz műholdsorozat. Ezt megelőzően is indítottak meteorológiai célú műholdakat, 1966. június 25-én az elsőt, Kozmosz-122 néven, majd további ötöt a Kozmosz sorozatban 1969-ig, amikor a program hivatalos neve Meteor lett. A Meteor 1–3 különböző fedélzeti műszerezettségű és pályatulajdonságú műholdsorozat. A jelenleg is működő Meteor-3 sorozat tagjai hordozzák a legfejlettebb műszereket.

A Meteor-1 sorozatban, 1966 és 1977 között, 25 műholdat állítottak pályára. A műholdak feladata a gyakorlati meteorológiai észlelések, időjárási előrejelzés, valamint egyéb meteorológiai tudományos célú megfigyelés elvégzése volt. Az első 9 műhold 650 km-es, a továbbiak 900 km-es magasságban, nem-napszinkron pályán keringtek a Föld körül 81-82°-os inklinációval.

A Meteor sorozat tagjai, a NOAA–TIROS sorozathoz hasonlóan, naponta többször végigpásztázzák a teljes földfelszínt, időjárási adatokat szolgáltatnak, érzékelik a felhő- és a jégborítottságot, mérik a légköri sugárzásháztartást, de emellett biztosítják az időjárási frontok, a felső troposzférikus áramlások tanulmányozhatóságát.

név	típus, feladat	spektrális sáv (µm)	képszélesség (km)	felbontás (km)
TV	TV optikai eszköz	0,4–0,8	1000	2-3
IR	infravörös TV	8–12	1000	20
AC	sugárzásháztartás mérő, napsugárzás fluxus, földfelszín	0,3–30	1600	40x50
	hősugárzás, felhőborítottság mérése			

3.7. táblázat - A METEOR-1 műholdsorozat szenzorjainak adatai

A METEOR-2 program

A Meteor-2 nevű meteorológiai célú, szovjet/orosz műholdprogram keretében 1975 és 1990 között 21 műholdat állítottak pályára. Egyidejűleg 2-3 műhold működött közel-poláris, nem-napszinkron pályán. A pálya átlagos magassága 900 km, az inklináció 81–82° volt.

Fedélzeti szenzorai három nagyobb műszeregyüttesbe csoportosíthatók:

- 1. VIS és IR szkennerek,
- 2. 10-csatornás pásztázó radiométer,
- 3. egy sugárzás fluxus erősségmérő (RMK) berendezés.

Ezek továbbfejlesztett változatai szerepelnek a Meteor-3 sorozat elemein.

METEOR-3 program

Az első szovjet/orosz Meteor-3 műholdat 1985. október 24-én bocsátották föl a földmegfigyelési program keretében. Jelenleg is ez a generáció működik. A sorozat feladata megegyezik a korábbi Meteor programok célkitűzéseivel. A pálya nem-napszinkron, közel-poláris, az inklináció 82,5°, a pályamagasság 1230 km. A keringési idő 109 perc. A Meteor-2 műholdakénál magasabb pálya miatt szélesebb a lefedett terület és így teljes, globális lefedés lehetséges.

A Meteor 3M-N1 felbocsátása 2001. december 10-én történt.

A METEOR-3 szenzorai

A TV (Televíziós kamera) rendszerben MR-2000M és MR-900B kamerák szerepelnek. Feladatuk a látható fény és a közeli infravörös tartományban (0,5-0,8 μm) a nappali felhőborítottság vizsgálata. Az MR-2000M felbontása 1 km, az MR-900B esetében 3 km. A képszélesség 3100, illetve 2600 km. Az előállított termékek lehetnek: önálló, egyedi képek; a vevőállomás 200 km-es körzetén belül mozaikképek; fotómozaik a Föld különböző területeiről (2-3 felvétel naponta); 5 naponként mozaik az arktikus és az antarktikus óceánokról.

Az OPS (Optical Scanning System) nevű optikai pásztázó rendszer két részből áll. Az IRR (Infrared Radiometer) elektromechanikus infravörös (10,5–12,5 μm) radiométer a hőmérsékletet méri. A lefedett terület szélessége 3100 km, a térbeli felbontás 3 km (valós idejű mód) és 0,7x1,4 km (tárolt adat mód), a felszíni hőmérsékleti tartomány 223–313 °K. Az MCS (MultiChannel Spectrometer) 10-csatornás infravörös (9,65-18,7 μm) radiométer, mely a légkör hőmérsékletét méri. A térbeli felbontás 42 km, a lefedett terület szélessége 1000 km.

Az RMS (Radiation Measurement System) berendezés a sugárzást méri.

A TOMS (NASA szenzor) a légkör függőleges ózontartalmának mérésére szolgáló, 6-csatornás (0,3125–0,38 μ m) berendezés. A lefedett terület szélessége 3100 km, a felbontás 47x47 km nadír helyzetben. A műszer megfelelője a Nimbus-7 műholdon található.

A SCARAB nevű pásztázó radiométer francia-német-orosz együttműködés eredményeként jött létre. A földi sugárzásháztartással kapcsolatos adatokat gyűjti a légkör felső részében. Spektrális sávok: 0,2–50, 0,2–4, 0,5–0,7 és 10,5–12,5 μm.

3. Az európai MetOp program

Az ESA, az EUMETSAT, a CNES együttműködve a NOAA-val 2005-ben indítja útjára a MetOp programot, melyben 2014-ig 3 műholdat bocsátanak fel (MetOP-A 2006. okt. 19., MetOp-B 2012. szept. 17. MetOp-C 2014). A MetOp-1 (II.22. ábra) lesz az első poláris pályán keringő meteorológiai műhold, mely közös rendszerben működik majd a NOAA-POES műholdakkal.

A MetOp műholdakon döntően a NOAA–POES sorozaton megtalálható műszereket helyezik el, de új, európai berendezések is felkerülnek a műholdra, melyekkel mérhető a hőmérséklet, a páratartalom, a szélsebesség és a szélirány (különösen a vízfelületek felett), valamint az atmoszféra ózontartalma és annak eloszlása.

A MetOp-1 a NOAA által egyidejűleg üzemeltett 2 poláris pályán keringő műhold közül az egyiket váltja fel az IJPS (Initial Joint Polar System) együttműködés keretében. Napszinkron pályán keringve mindig 9 óra 30

perckor fog áthaladni a Egyenlítő fölött, így a másik NOAA műholddal együtt 6 óránként készülhet felvétel a Föld bármely területéről.

A gyakorlati meteorológiai és klímavizsgálatokon túl a program fő feladatai közé tartozik az űr környezeti monitoring (SEM–Space Environmantal Monitoring), és a humanitárius szolgáltatás a Cospas-Sarsat rendszerben.

A klímamegfigyelési program szorosan kapcsolódik olyan nemzetközi programokhoz, mint a Globális klíma megfigyelési rendszer (GCOS, Global Climate Observing System), a Nemzetközi geoszféra-bioszféra program (IGBP, International Geosphere-Biosphere Programme), vagy a Földi klíma kutatási programja (WCRP, World Climate Research Programme).

A MetOp műholdak 3-tengely mentén stabilizáltak, a pályamagasság 800–850 km közötti, az inklináció 98,7°. Egy körülfordulás ideje 101 perc, ami napi 14 fordulatot jelent. Az ismételt fedés 29 szoláris naponként (412 pálya) következik be.

3.1. Berendezések a MetOp műholdakon

A berendezésekkel az atmoszféra hőmérsékletének és nedvességtartalmának 3D-s eloszlását lehet pontosabban meghatározni, s ezek az adatok alapul szolgálhatnak az időjárás-előrejelző modellekhez. A képkészítő rendszerek révén többek között a felhőfedettség, a tengerek hőmérséklete, a vegetáció globális változása vizsgálható. A MetOp műholdakon 12 különböző mérőberendezést helyeznek el. Ezek szondák, képkészítő rendszerek, radar berendezések, ózonmérők, mentő eszközök, stb. A MetOP berendezéseiről részletesen az ESA honlapjáról tájékozódhat.

Szonda egységek a MetOp műholdakon

A szondákkal a földi atmoszféra, troposzféra és a sztratoszféra függőleges hőmérsékleti különbségei, a páratartalom eloszlása mérhető. Az infravörös szondák áthatoló képessége csökken a felhővel fedett területeken, ezért mikrohullámú szondákat használnak az infravörös berendezések kiegészítéseként. ⁸

Az IASI (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer) egy képkészítő rendszerrel kiegészített spektrométer, mely a Föld infravörös emisszióját méri. A műszerrel meg lehet határozni a troposzféra és az alsó-sztratoszféra hőmérsékleti profilját, a troposzféra nedvességtartalmát, valamint számos, a globális klímaváltozásban szerepet játszó kémiai anyag mennyiségét a légkörben. Az IASI mérési programot a CNES irányítja az EUMETSAT-tal együttműködésben. A berendezést szerepelni fog mindhárom MetOP műholdon.

A GRAS (GNSS Receiver for Atmospheric Sounding) egy GPS alapú atmoszférikus szonda berendezés, mely naponta minimum 500 légköri profilt készít, meghatározva a légkör hőmérsékletének és nedvességtartalmának eloszlását. A hőmérsékleti profilok adatait beépítik a numerikus időjárás-előrejelzési modellekbe (NWP-Numerical Weather Prediction). A GRAS továbbá segíti a MetOp műhold navigációját pályája mentén. A svéd SAAB cég által gyártott berendezés mindhárom MetOp műholdon helyet kapott.

Az AMSU-A1/2 (Advenced Microwave Sounding Unit) egy a NOAA által készített kiegészítő berendezés, mely a mikrohullámú sugárzást méri. A berendezés által előállított adatokat a HIRS/4 nevű infravörös szonda használja fel, mely hőmérséklet és nedvességtartalom méréseket végez a földfelszíntől a felső-sztratoszféráig (2 mbar-os légnyomásszintig, kb. 48 km-es magasságig). A mérés támogatja a csapadék mennyiségére, a hófedettségre, a tengeri jég előfordulására és a talaj nedvességtartalmának meghatározására irányuló vizsgálatokat.

Az MHS (Microwave Humidity Sounder) mikrohullámú nedvességmérő szonda segítségével a Föld légkörének, ill. a földfelszín nedvességtartalma, valamint a felszín kisugárzása (hőmérséklete) vizsgálható. Az MHS egy 5-csatornás mikrohullámú pásztázó radiométer. A szondával a légkör különböző magasságaiban lévő víz mennyisége határozható meg, beleértve a légköri jeget, a felhők víztartalmát és a csapadékot egyaránt. A MetOP műholdakon kívül az MHS berendezést elhelyezik a NOAA fejlett TIROS-N műholdjain (NOAA-N, N1).

A HIRS/4 (High Resolution Infrared Sounder) a NOAA 20-csatornás berendezése, mely a légkör függőleges hőmérsékleti profilját és a légnyomást méri a Föld felszínétől kb. 40 km-es magasságig. A berendezés alkalmas továbbá a óceánfelszín hőmérsékletének, a teljes légköri ózonszint, a felhőmagasság és felhőfedettség, valamint

 $^{^{8}\} ESA\ MetOP\ Instruments-in:\ http://www.esa.int/export/esaME/Instruments.html$

az albedó meghatározására. A berendezés szerepel a MetOp 1–2 műholdakon és a NOAA-N sorozaton, de a MetOP-3 műholdon nem.

A MetOP AVHRR/3 képkészítő rendszere

A látható fény és az infravörös tartományban történő képalkotás célja az időjárás megfigyelés és előrejelzés, különös tekintettel a felhőborítottságra. A sugárzási adatokból következtetni lehet a tengerfelszín hőmérsékletére is.

Az AVHRR/3 berendezés a NOAA poláris pályán keringő meteorológiai műholdjain található AVHRR szenzor továbbfejlesztett változata. A 6-csatornás pásztázó radiométer 20,3 cm átmérőjű teleszkópja révén gyűjti a reflektált sugárzást a látható fény, a közeli infravörös és a termális infravörös tartományban. A percenként 360 fordulatot megtevő tükör a radiométerbe irányítja a reflektált sugárzást, mely végül 10 bites radiometrikus felbontású képek formájában jeleníthető meg. Egy pásztázás során 2048 mintavétel történik. Az 1–2., és a 4–5. sávban 24 órás megfigyelés lehetséges, míg a 3a sávot nappali, a 3b sávot éjszakai mérésekkor használják (3.6.ábra.)

3.6. ábra - A METOP-B első felvétele⁹

⁹http://www.eumetsat.int/groups/ops/documents/image/img_first_metopb_pic_lrg.jpg



3.8. táblázat - A MetOp AVHRR/3 szenzorának sávjai és felhasználási idejük

	középső hullámhossz (µm)	félenergiájú pontok (µm)	felhasználási idő
1	0,630	0,580 – 0,680	24 óra

POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

2	0,862	0,725 - 1,000	24 óra
3a	1,161	1,580 – 1,640	nappal
3b	3,740	3,550 - 3,930	éjszaka
4	10,80	10,30 – 11,30	24 óra
5	12,00	11,50 – 12,50	24 óra

Légáramlás vizsgálat radar technikával

A MetOp műholdon elhelyezett ASCAT (Advanced SCATterometer) berendezés segítségével globális adatbázist lehet létrehozni az óceánok feletti szélrendszerek sebességével és irányával kapcsolatosan, mérhető a jégfelszínek kialakulása a tengereken, továbbá a hófedettség mértéke és a vegetáció sűrűsége.

Ózon monitoring a GOME-2 műszerrel

Ultraibolya és a látható fény spektrometriával (GOME-2 műszer – Global Ozone Monitoring Experiment 2) megadható a troposzférában és a sztratoszférában az ózon eloszlása és sűrűsége, továbbá információt kaphatunk a légkör egyéb összetevőinek eloszlásáról, az albedóról, az aeroszolokról, a felhőtető magasságáról.

Naptevékenység hatásainak mérése

A SEM-2 (Space Environment Monitor) nevű spektrométer segítségével a műhold alacsony pályamagasságában lévő töltött részecskék fluxusa és a Föld sugárzó öveinek sugárzásintenzitása vizsgálható. A NOAA által fejlesztett szenzoregység két részből áll: TED (Total Energy Detector) és MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector). A műszer jelezheti a napkitörések okozta változásokat, melyek veszélyeztethetik a kommunikációs rendszereket vagy a műholdak egyéb berendezéseit.

Mentési funkció

A mentőrendszer szolgáltatásait a SARP-3 (Search And Rescue Processor) és a SARR (Search And Rescue Repeater) berendezés látja el. A SARP-3 berendezéssel foghatók a földi jeladók vészjelzései a 406 MHz-es frekvencián, ezután az előfeldolgozott adatokat a SARR az L-sávban továbbítja a mentést indító központi állomásokra. A SARP-3 a CNES, a SARR berendezés a NOAA terméke és a MetOP 1–2 műholdakon szerepelnek a Cospas-Sarsat rendszer részeként.

4. A COSPAS-SARSAT RENDSZER

A Cospas-Sarsat programról egy szovjet-amerikai megállapodás keretében (1977. május 14.) döntöttek. A program célja olyan kísérleti műholdrendszer kiépítése volt, mely segíti a bajba jutott hajók felkutatását, a személyzet mentését. 1982. június 30-án indították el a Kozmosz-1383 nevű műholdat, fedélzetén elhelyezték az első Cospas berendezést. E berendezés révén sikerült megmenteni egy Cessna-172 repülőgép személyzetét Kanadában 1982. szeptember 11-én. Ezt tekintjük az első sikeres mentésnek és ettől számíthatjuk a Cospas-Sarsat rendszer operatív tevékenységét.

1987. december 8-án próbálták ki az RK-S fedélzeti rádiórendszert, majd 1989 és 1998 között az RK-C berendezést működött 5 orosz műholdon. E műholdak a hivatalos elnevezése Nagyezsda.

1988. július 1-én a Szovjetunió, az USA, Kanada és Franciaország aláírta azt az együttműködési nyilatkozatot, mely meghatározza, hogy a Szovjetunió és az USA 2-2 műholdat működtet folyamatosan a Cospas-Sarsat rendszerben. Ezek a műholdak rendelkeznek olyan berendezéssel, amely fogja a vészjelzéseket, ill. továbbítja azokat a földi állomásokra. A nyilatkozatot a Szovjetunió megszűnése után Oroszország is aláírta (1997. július 3-án) és a Cospas-Sarsat rendszert a Globális tengeri kommunikációs rendszer (GSCS – Global Sea Communications System) részeként értelmezi.

3.9. táblázat - A Cospas-Sarsat rendszer működő műholdjai^a

POLÁRIS PÁLYÁN KERINGŐ METEOROLÓGIAI MŰHOLDAK

berendezés	a hordozó műhold neve	indítás dátuma
Sarsat-3	NOAA-10	1986.09.17.
Sarsat-4	NOAA-11	1988.09.24.
Cospas-4	Nagyezsda (1)*	1989.07.04.
Cospas-6	Nagyezsda (3)	1991.03.12.
Sarsat-6	NOAA-14	1994.12.30.
Sarsat-7	NOAA-15	1998.05.13.
Cospas-8	Nagyezsda (5)**	1998.12.10.

^a I. Lisov: Modernization of Nadezhda system - in: http://www.videocosmos.com/magazine/nk0899.html#SATELLITES

* A Nagyezsda műholdak neve utáni szám a Nagyezsda műholdak sorozatszáma

** A Nagyezsda (4) műholdat 1994. július 14-én indították és 1997 júliusában befejezte működését. A Nagyezsda (5) műholdat ugyanarra a pályára állították.

1982-98 között a Szovjetunió és később Oroszország 8 műholdat bocsátott fel Cospas berendezéssel a fedélzeten, míg az USA 7 olyan NOAA meteorológiai műholdat indított, melyeket Sarsat berendezéssel láttak el (II.23. táblázat). A vészjelzést leadó berendezésből összesen 700 ezer darabot helyeztek el hajókon és repülőgépeken. A 2004. január 1-én kiadott adatok alapján, 1982 óta a Cospas-Sarsat rendszer segítségével már több mint 17000 ember életét sikerült megmenteni.¹⁰

4.1. A rendszer működése

A rendszer a következő részekből áll:

- 1. vészjeladó (ELT repülőgépeken, EPIRS hajókon, PLB egyéni használatra), mely vészhelyzet esetén jelet sugároz,
- 2. geostacionárius és a poláris pályán keringő műholdak fedélzetén elhelyezett berendezések, melyek észlelik a vészjelzést,
- földi fogadóállomások (LUT Local Users Terminal), melyek fogadják és feldolgozzák a műholdak által továbbított jelzéseket és riasztást generálnak,
- 4. vezérlő központok (MCC Mission Control Center), melyek fogadják a riasztást és továbbítják a mentési koordinációs központba (RCC Rescue Coordination Center), ahol a mentést megszervezik.

A rendszer globális működéséhez alacsony magasságú, közel-poláris pályán keringő műholdakon (LEOSAR) és geostacionárius (GEOSAR) kell elhelyezni a Cospas vagy Sarsat berendezéseket.

A Cospas-Sarsat rendszer működése LEOSAR műholdakon

A 406 és a 121,5 MHz-es rádiófrekvenciákon történhet a vészjelzések leadása és a jelzés helyének meghatározása. Az alacsony magasságú, közel-poláris pályán keringő műholdak nem biztosítanak folyamatos lefedést a Föld teljes felszínére vonatkozóan. A műholdakon elhelyeztek egy, a 406 MHz-es sávhoz rendelt memóriamodult, mely képes tárolni a jelzéseket és amint a műhold egy földi állomás hatókörébe kerül, tudja azt a állomásra továbbítani. A régebbi típusú, 121,5 MHz-es sávban üzemelő adók esetében a rendszer csak akkor működik, ha a földi állomás és a vészjelzést leadó berendezés egyidejűleg a műhold látómezőjében van. Egy LEOSAR műhold egyenként 12 óránként tudja lefedni a teljes Földet, ezért 4 műhold rendszerbe állításával (és

¹⁰ COSPAS-SARSAT Rescues - in: http://www.sarsat.noaa.gov/

a pályák közötti távolság arányos elosztásával) elérhető, hogy a közepes szélességeken a késleltetés ideje kevesebb legyen 1 óránál.

A LEOSAR rendszerek alkalmazásakor a jeladó pozícióját a segélykérő jel frekvenciájának Doppler-eltolódása alapján számítják ki. A műhold relatív sebessége hatással van a segélykérő jel frekvenciájára. A segélykérő jel és a beérkező jel frekvenciájának különbségéből, valamint a műhold pontos helyzetének ismeretéből a földi fogadóállomás ki tudja számítani a segélykérést indító rádióadó helyét.

Az orosz Cospas műholdak közel-poláris pályán keringenek 1000 km-es magasságban és mindkét sávban képesek a segélykéréseket fogadni.

A rendszer amerikai része a NOAA meteorológiai műholdjaira került. A mindkét sávban működő berendezéseket Kanada és Franciaország készítette.

Mindegyik műhold 100 perc alatt tesz meg egy fordulatot a Föld körül, a lefedett terület szélessége kb. 6000 km. Egy adott földfelszíni pontról nézve a műholdak kb. 15 perc alatt haladnak át az égen (a pálya maximális magassági szögétől függően), ennyi idő áll rendelkezésre egy körülfordulás alatt, hogy a vészjeladó jeleit észlelje a műhold.

Cospas-Sarsat rendszer működése GEOSAR műholdakon

A folyamatos, globális fedés biztosítása érdekében a Cospas-Sarsat rendszer 406 MHz-en működő berendezéseit geostacionárius műholdakra is telepítették. A műholdas rendszert földi berendezések (GEOLUT) egészítik ki, melyek feldolgozzák a műholdak jelzéseit.

A jelenlegi Cospas-Sarsat GEOSAR rendszerben 4 műhold (GOES-West, GOES-East, MSG és az INSAT műhold) biztosítja a globális fedést.

Miután a geostacionárius műholdak relatíve mozdulatlanok a Földhöz viszonyítva, így Doppler-eltolódás nem alakul ki, emiatt a segélykérő helyzete sem határozható meg. A pozíció meghatározásához az szükséges, hogy a kódolt rádióüzenet tartalmazzon egy belső vagy külső navigációs eszköz által mért pozícióadatokat.

Cospas-Sarsat rendszer GEOSAR és LEOSAR műholdakon elhelyezett berendezései kiegészítik egymást. Például egy GEOSAR rendszer azonnal észleli a riasztást, míg a LEOSAR műhold berendezése:

- 1. lefedi a poláris területeket,
- 2. biztosítja a jeladó helyének meghatározását, illetve
- 3. a műhold mozgása miatt a jeladó esetleges takarása hamarabb megszűnhet.

3.10. táblázat - A Cospas-Sarsat rendszer lehetőségei^a

sáv	LEOSAR	GEOSAR
406 MHz	 a jel azonosítása és a jeladó helyének meghatározása lehetséges globális, de nem folyamatos fedés 	 a jel azonosítása és a jeladó helyének meghatározása lehetséges, ha helyzeti adatokat is tartalmaz a jel állandó, teljes lefedés a GEOSAR műholdak fedési területén
121,5 MHz	 a jeladó helyére vonatkozó információk lehetségesek a jel azonosítása nem biztosított 	nem támogatott
	3. csak helyi fedés lehetséges	

^a System Concept- in:http://www.cospas-sarsat.org/Index_Frame_English.html

5. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben a különböző poláris, közelpoláris pályán keringő meteorológiai műholdakat, szenzoraikat és és néhány képfeldolgozási alkalmazásukat lehet megtalálni. A szürkeárnyalatos, és a színes kompozitok is jól mutatják a változatos felhasználási lehetőségeiket, de ezek mellett a web-en elérhető űrfelvételek, animációk tovább bővítik a felhasználásuk módjait.

- 1. Az infravörös tartományban a mi okozhat lokális minimumokat a növények reflektancia görbéjén?
- 2. Miben adjuk meg a reflektancia értékét?
- 3. Milyen jellegű sugárzást vizsgálunk, ha a hőtartományban mérünk?
- 4. Mely sávok szerepelnek az NDVI érték számításában?
- 5. Mi a neve az 1 km-es geometriai felbontású képalkotó rendszernek a NOAA-POES műholdjain?
- 6. Mit eredményez a kb. 110 fokos teljes látószögmező alkalmazása a NOAA AVHRR szenzorok képeinél?
- 7. Mely ország intézete a Nemzeti Óceanográfiai és Atmoszférakutató Intézet (NOAA)?
- 8. A Cospas-Sarsat rendszer célja a globális helymeghatározás, jel azonosítás és a jeladó helyének meghatározása. Igaz vagy Hamis?
- 9. A növények NDVI értéke általában pozitív, egyhez közeli értékű. Igaz vagy Hamis?

4. fejezet - LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.

A meteorológiai műholdak után az optikai sávú távérzékelési műholdakat, műholdcsaládokat ismerheti meg az érdeklődő. Az ilyen műholdak többnyira napszinkron pálán keringenek és céljuk a földi erőforrások kutatása. Ezek közül az egyik legsikeresebb a Landsat program.

korábbi ismeretek: keresztsávos pásztázás, detektor, napszinkron pálya, geometriai felbontás, színes kompozíció, multispektrális felvétel

kulcsszavak: Landsat, TM, ETM+, valós színes kompozíció

1. Bevezetés

A korai meteorológiai műholdak és az ember vezérelte űrhajókon végzett földmegfigyelési, távérzékelési kísérletek eredményeként a NASA, az amerikai Belügyminisztériummal közösen, elkezdte egy földmegfigyelési műholdsorozat (ERTS–Earth Resources Technology Satellites) tervezését és kidolgozását. 1967-ben megszülettek a tervek egy hattagú műholdsorozat indításáról. A felbocsátás előtt a műholdakat A-tól F-ig jelzéssel láttak el, majd az első sikeres pályára állítás után a készülő és a már pályán lévő egységeket átkeresztelték ERTS 1–6 nevekre.

Az ERTS-1 műholdat (4.1.ábra) 1972. július 23-án indították Thar-Delta hordozórakétával és több mint 5 évig üzemelt 1978. január 6-ig.

4.1. ábra - Az ERTS-1 (LANDSAT-1) műhold felépítése¹

¹History of the Landsat Satellite – in:http://landsat7.usgs.gov/history.html



Az ERTS-1 szenzorait egy speciálisan átalakított Nimbus műholdon helyezték el, melyet szisztematikusan ismétlődő földi megfigyelésre alkalmas, közepes felbontású, multispektrális szenzorokkal szereltek fel. Ez a még kísérletinek tekinthető műhold volt az első a rendszerszerű földmegfigyelést végző, ember nélküli műholdak sorában. A zavartalan működés feltétele volt, hogy előtte megszülessen az ún. nyitott égbolt elve (*open skies principle*), mely lehetővé teszi, hogy az adatgyűjtés bárhol a világon elvégezhető legyen mindenféle korlátozás nélkül. A Föld összes nemzetét meghívták az ERTS-1 adatainak értékeléséhez és az eredmények világméretű alkalmazásához. Kb. 300 egyedi megfigyelési programot hajtottak végre az ERTS-1 segítségével az Egyesült Államok és további 36 nemzet részvételével.

Csak röviddel az ERTS-B 1975. január 22-i felbocsátása előtt nevezte át hivatalosan a NASA az ERTS programot Landsat-programra (Land Observation Satellite), ezzel is különbséget téve a tervezett SEASAT (Sea Obsearvation Satellite) óceanográfiai műholdprogram és az ERTS program között. Az átnevezés miatt a korábbi ERTS-1 neve Landsat-1-re változott és egyúttal a program minden további műholdja a Landsat nevet kapta.

1999. április 15-ig összesen 7 műholdat készítettek és indítottak el. Az első négy már befejezte működését, a Landsat-6 pályára állítása sikertelen volt. A 4.2. táblázat tartalmazza a Landsat sorozat tagjainak legfontosabb adatait.

4.1. táblázat -	A LA	NDSAT	1-7	műholdak	általános	tulaid	onságai

műhold	felbocsátás	befejezés	RBV	MSS	ТМ	ETM+	pálya
	ideje	ideje	sáv	sáv	sáv		nap/km*

LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.

	1072 07 22	1070.01.04					10/000
Landsat-1	1972.07.23.	1978.01.06.	1-3a	4-7	-		18/900
Landsat-2	1975.01.22.	1982.02.22.	1-3a	4-7	-		18/900
Landsat-3	1978.03.05.	1983.03.31.	1-3	4-8c	-		18/900
			A-Db				
Landsat-4	1982.07.16.	2001.06.15.	-	1-4	1-7		16/705
Landsat-5	1984.03.01.	2011.11.	-	1-4	1-7		16/705
Landsat-6	1993.10.05.	1993.10.05. d	-	-		1-8	-
Landsat-7	1999.04.15.	működésbe n	-	-		1-8	16/705
		SLC hiba 2003.05.31.					

* nap/km = az ismételt fedés ideje napokban és az átlagos magasság km-ben

a, 1-3 = 1, 2, 3 RBV sávok, b, A-D = A, B, C, D képnégyes

c, 4-8 = négy sáv, mert a 8. sáv nem üzemelt,

d, A Landsat-6 a felbocsátás után megsemmisült, ezen volt az ETM szenzor

4.2. táblázat - A Landsat-1-7 műholdak érzékelő szenzorai

szenzor	műhold száma	csatorna (µm)	felbontás (m)
RBV	1,2	0,475-0,575	80
		0,580-0,680	80
		0,690-0,830	80
	3	0,505-0,750	30
MSS	1-5	0,5-0,6	79/82a
		0,6-0,7	79/82
		0,7-0,8	79/82
		0,8-1,1	79/82
		10,41-12,6b	240
TM, ETM	4-6c	0,45-0,52	30
		0,52-0,60	30

LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.

		0,63-0,69	30
		0,76-0,90	30
		1,55-1,75	30
		10,4-12,5	120
		2,08-2,35	30
ETM+	7	0,5-0,85 pan	15/30/60

a, 79 m Landsat 1-3, és 82 m Landsat 4-6 műholdakon,

b, Röviddel a felbocsátás után tönkrement (Landsat-3 8. sáv),

c, A Landsat-6 a felbocsátás után megsemmisült,

A műholdakon különböző típusú szenzorokat alkalmaztak többféle kombinációban. Ezek (1) az RBV kamera rendszer (Return Beam Vidikon camera systems), (2) az MSS rendszer (Multispectral Scanner Systems), és a (3) TM (Thematic Mapper), az ETM és az ETM+ rendszerek. Mivel a Landsat 1–3 nagyon hasonló rendszerben üzemeltek, mint ahogyan a Landsat 4–5 és a Landsat 6–7 is, ezért a Landsat műholdak három különálló csoportban kerülnek bemutatásra.

2. A Landsat 1–3 műholdak

Pályasajátosságok

A Landsat sorozat első három tagja pillangó alakú felépítésű volt. Ezek a 815 kg tömegű rendszerek kb. 3 m magasak és 1,5 m átmérőjűek, a napele-mek hossza 4 m volt. A felbocsátás után a műholdak cirkuláris pályán, névlegesen 900 km-es magasságban keringtek. A napszinkron pálya magassága 880 és 940 km között változott, az inklináció 81°, a műholdak 103 perc alatt kerülték meg a Földet, (napi 14 kör). A műholdak felszínre vonatkoztatott vetületi sebessége 6,46 km/s volt.

Két egymást követő pálya távolsága a keringési idő alatt megtett földfordulat miatt, az Egyenlítőnél 2760 km. A szenzorok csak 185 km-es sávot felvételeztek, ezért jelentős lefedési hiány alakult ki két egymást követő pálya között egy napon. A napi pályák minden nap fokozatosan nyugatra tolódtak és az új pásztázott terület, többé-kevésbé lefedte az előző napit. Az átfedés mértéke függ a műhold és a Föld keringésétől. Az átfedés maximális (85 %) a 81° északi és déli szélességeken és minimális (14 %) az Egyenlítőnél. A maximális átfedés azért a 81° szélességeken alakult ki, mert a műhold nem a pólusok fölött haladt át, hanem azoktól 9°-kal délebbre, ill. északabbra. Így a folyamatos nyugatra sodródás és az átfedések miatt a műhold csak 18 nap után került ismét ugyanazon a terület fölé. A műhold 18 naponta teljes egészében lefedte a Föld felszínét (kivéve 82° és a 90° szélességek között). Másként kifejezve, évente 20 alkalommal készült globális lefedés, biztosítva a monitoringhoz szükséges idősoros adatokat. A műhold pályáját gyakran korrigálni kellett az atmoszférikus hatások okozta pályamódosulás miatt. Ez biztosította, hogy az ismétlődő képek középpontjai 37 km-en belül voltak.

A Landsat 1–3 műholdak felszálló pályájukon helyi idő szerint pontosan délelőtt 9 óra 42 perc haladtak át az Egyenlítő felett, bár a pálya módosulásai miatt ez egy kissé változott működési idejük alatt. Ezt az időt azért választották, mert az egyenlítői zónában a kora délelőttök általában tisztábbak, kevesebb a felhő, mint délután. A rendszerek pályasebessége állandó volt, így a pálya más pontjai felett is ugyanabban a helyi időben haladt át a műhold (9 óra 42 perc után az északi félgömbön vagy ezelőtt a déli félgömbön).

Bár a napszinkron pálya biztosítja az azonos besugárzási feltételeket, ezek a feltételek helyileg és évszakonként változnak. Az, hogy a napsugarak a felvétel készítésekor mekkora beesési szöggel érkeznek a Föld felszínére, függ a földrajzi szélességtől és a felvételezés idejétől. Például a napsugarak beesési szöge december 21-én 90° a Baktérítőn és 0° az Északi Sarkkörön. Hasonlóképpen változik az azimut iránya évszakosan és a szélességgel. A napszinkron pálya nem küszöböli ki a napsugarak beesési szögének, az azimut és az intenzitás változásait. Ezek

a tényezők mindig változnak és különböző atmoszférikus feltételek okozzák a képek közötti intenzitáskülönbségeket.

A Landsat 1–3 fedélzeti szenzorai

Az első három Landsat műholdat azonos fedélzeti távérzékelési eszközökkel szerelték fel: (1) háromcsatornás RBV rendszer és (2) egy négycsatornás MSS rendszer.

A, Az RBV rendszer

Az RBV rendszer 3 db televíziós kamerából áll, melyek egyidejűleg készí-tettek felvételeket egy 185x185 km nagyságú területről. A kamerák névleges geometriai felbontása kb. 80 m volt. A spektrális felbontás: 0,475–0,575 μ m (zöld), 0,58–0,68 μ m (vörös) és 0,69–0,83 μ m között (közeli-infravörös). Ezeket a sávokat 1., 2., és 3. sávnak nevezték. Az RBV nem tartalmaz filmet, bár a képek expozíciója egy a fényképező zárszerkezetéhez hasonló eszközzel történt és a képek a kamera fotoszenzitív felületén jöttek létre.

Miután az RBV kép a teljes felületen egyidejű képet biztosít, nagyobb kartográfiai lehetőségekkel rendelkezik, mint a Landsat MSS. A RBV minden képre elhelyezett egy mérőhálót, amely lehetővé tette a geometriai korrekciót, így majdnem minden képi torzítást kompenzálni lehet a képfeldolgozási folyamatban. Az RBV rendszer a Landsat-1 műholdon sajnos csak 1690 képet készített 1972. július 23. és augusztus 5. között, amikor a mágnesszalagos tároló kapcsolási problémái miatt a rendszert leállították. A mágnesszalagos tárolóra kerültek az RBV és az MSS adatok is. Az adatáram szétosztását oldotta volna meg a kapcsoló rendszer, amely végül meghibásodott. El kellett dönteni melyik rendszer adataira van nagyobb szükség, melyiket hagyják tovább működni. Az MSS javára végül is az döntött, hogy digitális adatokat biztosított a képfeldolgozáshoz. Ez elősegítette a távérzékelési rendszerek fejlődését a digitális, számítógépes technika irányába, a számítógépes hardverek és szoftverek ettől kezdve fejlődtek látványosan a távérzékelés területén.

A Landsat-2 RBV rendszere ezért inkább a technikai problémamegoldást, a technikai fejlesztés céljait szolgálta és csak néhány kép készült kartográfiai célból. A Landsat-3 RBV rendszerében 2 fő átalakítást végeztek:

- 1. a rendszer a multispektrális érzékelés helyett egy szélesebb sávban (0,55–0,75 μm) üzemelt,
- 2. a térbeli felbontó képesség ebből következően 80 m-ről 30 m-re változott.

A felbontóképesség javulását úgy érték el, hogy a lencserendszer fókusztávolságát megduplázták, az expozíciós idő csökkentésével redukálták az expozíciós idő alatti mozgások (képvándorlás) zavaró hatásait és eltávolították a korábbi rendszerek spektrális szűrőit. A fókusztávolság növelése miatt csökkent a lefedett terület nagysága, ezt egyszerűen úgy ellensúlyozták, hogy két szinkronkamerát helyeztek el egymás mellett. A kamerák egyenként 98x98 km-es területet fedtek le és a két szomszédos kép közötti 13 km-es átfedés miatt ez együttesen egy 183x98 km-es képpárnak felelt meg. A következő pásztában újabb hasonló képek készültek, az előző pásztából az új képek 17 km-es sávot fedtek le. Egy ilyen A,B,C és D képnégyes tölt ki minden egyes RBV képet a 4.2. ábrának megfelelően.

4.2. ábra - A LANDSAT műholdak RBV képkészítési rendszere²

²Lillesand-Kiefer: Remote sensing and Image Interpretation pp. 541.



A Landsat 1–3 MSS rendszere és a képek kiértékelése

A Landsat 1–3 fedélzeti RBV rendszerei másodlagos adatforrásokká váltak az MSS rendszerekkel szemben. Ennek kettős oka: (1) az RBV működésében gyakran fellépő technikai hiba, (2) az MSS rendszer volt az első globális, multispektrális távérzékelő rendszer, amely digitális adatszolgáltatást nyújtott (4.3. ábra).

Az MSS adatok számítógépes feldolgozási lehetősége biztosította a széleskörű alkalmazást is. Az MSS szenzorokkal az ismételt lefedések miatt, több 10 milliárd km2-es terület (egyedi az időben, ismétlődő a térben) képi feldolgozása vált lehetővé.





A Landsat 1–3 fedélzeti MSS berendezése a földfelszín 185 km-es szeletét vizsgálta négy hullámhossztartományban. Kettő a látható fény tartományában (a) 0,5–0,6 µm között (zöld), (b) 0,6–0,7 µm között (vörös), valamint két infravörös sávban (c) 0,7–0,8 µm és (d) a 0,8–1,1 µm között (mindkettő közeli-infravörös). Ezeket a sávokat 4–7 számokkal jelölték. A Landsat-3 MSS rendszere kiegészült egy termális sávval (8. sáv), amely a 10,4–12,6 µm-es termális-infravörös sávban a földfelszín kisugárzását érzékelte. A pályára állítás után fellépő működési zavarok miatt, ez a sáv gyakorlatilag nem üzemelt. A másik négy sáv viszont mind a három műholdon végig üzemképes maradt. Ezt a 4-sávos berendezést teljes egészében megőrizték az újabb Landsat műholdakon. Az előbb említett sávokat 1, 2, 3 és 4 sávnak nevezték át és továbbiakat illesztettek hozzájuk.

A szenzor pillanatnyi képmezője négyzet alakú, a felbontás kb. 79 m. A teljes képmező 11,56° alatt látszik. A rendszer alapja egy oszcilláló tükörrendszer, mely minden 33 msec alatt egy oszcillálást végzett. Hat pásztát érzékel egyidejűleg minden tükör és ez a négy sáv alapján 4x6 detektor alkalmazását tette szükségessé.

³Lillesand-Kiefer: Remote sensing and Image Interpretation pp. 543.





A detektorokból érkező analóg jeleket digitálissá alakítja egy fedélzeti AD (analóg-digitális) konverter. A digitális számskála 0-tól 63-ig terjedt (6 bit) és ezeket a következő átalakító átskálázta 0-tól 127-ig a 4–6. sávban, míg a 7. sávban maradt a 6 bites felbontás. Az AD konverter 100 ezer detektoradatot alakított át 1 mp alatt.

Az MSS déli irányú mozgása során nyugatról keletre pásztázza a területet. Minden Landsat MSS kép egy 185x185 km-es területet fed le, mintegy 10 %-os átfedésben a következő képpel. A kép névlegesen 2340 sort, soronként 3240 pixelt tartalmaz. A 4 spektrális tartományban történő megfigyeléssel minden kép 30 millió vizsgálat eredménye. Ha figyelembe vesszük, hogy egy kép 25 mp alatt készül el, látható, hogy milyen gyorsan növekszik az adathalmaz.

Egy fényképszerűen megjelenített MSS kép paralelogramma alakú, mert a 25 mp-es képalkotás közben a Föld elfordul. A teljes képi megjelenítés leíró adatformátuma tartalmazza: a dátumot, a képközéppont szélességi és hosszúsági koordinátáit, a műhold alatti pont (nadírpont) helyzetét, a két pont közötti távolságot. Megtalálható még a szenzor neve és a sáv, a felvétel módja, a Nap magassága és iránya, a különböző pálya és feldolgozási paraméterek, a műhold neve és a kép azonosító száma.

Az egyedi sávok fekete-fehér felvételei mellett, ún. színes kompozíciók (colour composite) is készíthetők bármely három MSS sáv felhasználásával.

⁴ http://edcwww.cr.usgs.gov/guides/images/landsat/scan.gif

A Landsat MSS képeket számos területen alkalmazzák, így a mezőgazdaságban, térképészetben, a területi tervezésben, a környezetvédelmi monitoringban, az erdőgazdaságban, a földrajzban, a geológiában, a geofizikában, a földi erőforrások elemzésében, a területhasznosítás tervezésben, az óceanográfiában, a vízkészletek kutatásában, stb.

A Landsat MSS képek geometriai felbontása kb. 79 m. Bizonyos vonalszerű, keskeny, néhány méter szélesek formák (pl. két vagy többsávos utak, betonhíd a víz felett), amelyek eltérő reflektanciájúak környezetükhöz képest, gyakran láthatók a Landsat képeken. Másrészről, sokszor az olyan, 79 m-nél nagyobb tárgyak sem ismerhetők fel, amelyek reflektancia-tulajdonsága alig különbözik a környezetük reflektanciájától.

Az olyan rendszereknél, mint a Landsat MSS, kevés a lehetőség sztereoképek kialakítására. A lehetőséget az átlapolás, a szomszédos pályákon készített felvételek átfedése jelenti. Ez az oldalátlapolás 85 %-os sarkvidéken és 14 %-os az Egyenlítőnél, így elég korlátozott a sztereografikusan is kiértékelhető terület. A nagy magasság és a szűk érzékelt sáv miatt a sík felszíneken viszont ezek a képek szinte módosítás nélkül, térképekként használhatók kb. 1:250000-es méretarányban. A Világ Bank pl. Landsat MSS képeket használt gazdaságpolitikai tanulmányaihoz, különös tekintettel ott, ahol ilyen témájú térképek még nem készültek. A DMA (Defence Mapping Agency) (később NIMA, majd NGA) Landsat MSS adatokkal frissítette fel repülési térképeit, valamint az alacsony mélységű tengerek hidrogeográfiai térképeit. A multinacionális olajtársaságok szintén hasznosították a digitális képeket a kőolajkutatásban.

A legtöbb sáv és sávkombináció speciális alkalmazásokra használható fel. A 4. és az 5. (zöld és vörös) sáv a leginkább alkalmas az emberi tevékenység hatásainak, a mesterséges felszínek (városi területek, utak, kavics és kőbányák) kimutatására. A vörös sávba eső sugárzás atmoszférikus áthatoló képessége jobb, ezért a kép általában élesebb, kontrasztosabb, mint a többi sávban készült képek. Mély, tiszta vizek vizsgálatakor a 4. sáv választása hasznosabb. A vörös sáv kiválóan alkalmas a tiszta vízbe áramló, agyagos-iszapos hordalék terjedésének kimutatására. A 6. és 7. (közeli-infravörös) sávokban készült felvételeken lehet a legjobban elhatárolni a vízfelületeket a szárazföldektől. Az infravörös energia csak kis mélységig hatol a víztestbe, ahol a víz felmelegedését okozza. A vízfelszínek infravörös reflektanciája alacsony, így a vízfelületek sötét tónusúak az 5., és a 7. sávokban.

A wetlandek (nedves, vízborította területek) vagy a nedves, szervesanyagot tartalmazó talajok kevés vegetációborítással szintén sötétek ezekben a sávokban, éppúgy, mint az aszfaltborítású utak. Mind az 5., mind a 7. sáv megbízhatóan tükrözi a geológiai formákat, ezért belőlük különböző indexek képezhetők, pl. az agyagásvány-tartalom, vagy a vastartalmú kőzetek kimutatására.

A Landsat 1–3 WRS katalógus rendszere

A Landsat 1–3 képeit a WRS (Worldwide Reference System) nevű katalógusba rendezték elhelyezkedésük (pálya, sor) szerint. Minden képet azonosít a keringési pálya (path) sorszáma, illetve ezeken a pályákon minden egyedi képet egy sor (row) száma határoz meg. Ezért a képek egyértelműen definiálhatók a pálya, a sor és a felvételezési idő megadásával. A WRS-ben 251 pályát különítenek el, hiszen éppen ennyit tesz meg a műhold, míg 18 nap után újra ugyanazon a terület fölé nem ér. A pályákat 001-től 251-ig sorszámozták keletről nyugatra. A sorokat úgy számozták, hogy az Egyenlítő menti sor a 60. a leszálló észak-déli irányú pályán. Az amerikai archívum 567627 képet tárol (Landsat 1–3 MSS és RBV képek), míg 1986-ban a teljes MSS és RBV adatbázis 1,3 millió képet foglalt magában. Ezek az adatok a hosszú távú globális monitoring egyszeri, megismételhetetlen, nagy értékű forrásai.

3. A Landsat 4–5 műholdak

A Landsat 4–5 pályasajátosságai

A Landsat 4–5 műholdak, elődjeikhez hasonlóan, ismétlődő, cirkuláris, napszinkron, közel-poláris pályán keringenek. A pálya magassága alacsonyabb a korábbinál (900 km), kb. 705 km. A pálya tényleges magassága 696–741 km közötti. A változás a Föld nem szabályos gömb alakjából következik (4.5.ábra).

4.5. ábra - A Landsat 4–5 műholdak pályasajátosságai⁵

⁵ Lillesand-Kiefer: Remote sensing and Image Interpretation pp. 562.



A műhold legmagasabban a sarkok fölött, legalacsonyabban az Egyenlítő fölött halad át. Ezt a magasságot azért választották, hogy az esetleg fellépő hibákat az űrsikló (Space Shuttle) segítségével kijavíthassák. Az ilyen befogás rendkívül bonyolult és veszélyes művelet, gondoljunk csak az óriási sebességre, de hasonló esetre volt már példa, pl. 1993. december 3-án, amikor az űrsikló legénysége megközelítette és a siklóba emelte a meghibásodott Hubble-teleszkópot.

A Landsat 4–5 pályasajátosságai közül a legfontosabbak: (1) az inklináció 98,22°, (2) a műhold észak-déli irányú keringése során mindig helyi idő szerint 9 óra 45 perckor keresztezi az Egyenlítőt, (3) egy teljes fordulat kb. 99 percig tart, amely egy nap alatt 14,54 fordulatot jelent. A Föld tengely körüli forgása következtében az Egyenlítő mentén két egymást követő pálya közötti távolság 2752 km (4.6. ábra).

4.6. ábra - A LANDSAT 4–5 egymást követő napi pályáinak helyzete

LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.



A Landsat 4–5 fedélzeti rendszerei

A rendszer tartalmazza az MSS és a TM berendezést is (4.7. ábra). A műhold súlya kb. 2000 kg, az energiaellátást 4 db 1,5x2,3 m-es, aszimmetrikusan elhelyezett napelem biztosítja. Az adattovábbító antenna (high gain antenna) az adatokat a geoszinkron pályájú műholdakra továbbítja. Ezeket a kommunikációs műholdakat TDRS (Tracking and Data Relay Satellite System) néven ismerik. Az első TDRS-1 műhold a 41° Ny-i hosszúsági fölött helyezkedik el és így szinte teljes lefedést biztosít a nyugati félgömbön.

4.7. ábra - A LANDSAT 4–5 műholdak modellje 6

⁶ Lillesand-Kiefer: Remote sensing and Image Interpretation pp. 565.



Az MSS és a TM adatok közvetlen Földre sugárzását a műhold fedélzeti antennáival lehet elérni. Az adatátvételi sebesség az MSS adatoknál 15, a TM adatoknál 85 Mbps.

A Landsat 4–5 MSS rendszere

A műholdak fedélzeti MSS rendszerei teljes egészében megegyeznek az előző 3 műholdon használt MSS rendszerekkel, ezáltal biztosítva a folytonosságot. A csökkentett pályamagasság miatt, a változatlan (185 km) szélesség megtartása érdekében a látószög 11,56°-ról 14,92°-ra növekedett. A szkenner pillanatnyi képmezőjének (IFOV) megfelelő legkisebb lefedett területegység mérete a korábbi 79x79 m-ről 82x82 m-re növekedett. Ugyanazt a 4 hullámsávot használták, mint az előzőek, de újraszámozták őket. A korábbi műholdak 4–7 számú hullámsávja az újabb (Landsat 4–5) műholdak MSS rendszerében az első négy hullámsáv lett.

A Landsat 4–5 TM rendszere

A TM az MSS-nél lényegesen fejlettebb multispektrális szkenner, amely számos spektrális, radiometrikus és geometriai különbséget mutat elődjéhez képest. A spektrális érzékelő rendszer négy helyett már hét sávban gyűjti az adatokat. Új a látható fény tartományba eső kék (0,45–0,52 μ m), a közepes-infravörös (1,55–1,75 μ m) és a hőtartományú (10,4–12,5 μ m) sáv. A hullámsávok kiválasztásában az játszotta a döntő szerepet, hogy minél jobban érzékelhetők legyenek a legfontosabb felszíni jelenségek spektrális különbségei és összehasonlítható adatbázist biztosítsanak az MSS adatokkal, valamint a kiterjedt földi radiometrikus mérésekkel.

A TM fedélzeti analóg-digitális jelátalakítója 8 bites felbontású, az analóg jeleket egy 0-tól 255-ig terjedő intervallumba eső egész számmá alakítja át. Ez négyszeres növekedést jelent a szürkeségi skálán az MSS 64 fokozatú skálájához képest. A finomabb radiometrikus felbontás, az adott sávban jelentkező kisebb radiometrikus változások érzékelését teszi lehetővé.

A geometriai különbségek is szembetűnők. A TM adatok 30 m-es legkisebb lefedett területegységre vonatkoznak minden sávban, kivéve a termális infravörös TM 6 sávot, amelyben a térbeli felbontás 120 m-es.

Ugyanakkor számos tervezési változtatás révén az adatok geometriai pozícionálhatóságának pontosságát is növelték. A TM képeket egyebek mellett a magyar EOV (Egységes Országos Vetület) rendszerbe lehet korrigálni, hasonlóan az MSS felvételekhez.

A TM sávok sokkal finomabban adják vissza a tónus alapján a különböző évszakokban kialakuló vegetációs különbségeket mint az MSS sávok. A zöld és a vörös sávok (2–3. sávok) a TM rendszerben szűkebbek, mint az MSS-beli megfelelőjük (5–6. sáv). A közeli-infravörös (4.) TM sáv is keskenyebb, mint az összetettebb MSS sáv ebben a tartományban és a növényzet megfigyelését szolgálja. A növény víztartalma egyaránt vizsgálható a két közepes-infravörös sávban (5. és 7. sáv). A növényi élet változásai, betegségek kimutathatók a TM kék sáv (1. sáv) segítségével.

A vegetációs különbségek megfigyelése mellett a TM sávok egyéb területeken is felhasználhatók. Többek között a kis vízmélységű tavak, tengerpartok megfigyelésében (különösen az 1. sáv), a kőzettípusok megkülönböztetésére (5. és 7. közepes-infravörös sávok), a hó és a felhőborítás elhatárolására az 5. sáv az ideális, a 6. sáv pedig a hőmérsékleti eloszlás térképezést szolgálja.

Amíg az MSS csak nyugat-keleti irányban gyűjti az adatokat, addig a TM visszafelé is képes adatgyűjtésre. Az oda-vissza irányú pásztázás közbeni mozgásokból származó hatásokat az SLC (Scan Line Corrector, lásd Landsat-7) kompenzálja. Ez a kétirányú érzékelő folyamat növeli az adott terület érzékeléséhez szükséges időtartamot. A technikai különbség előnye a geometriai pontosság növekedésében és a jel/zaj arány csökkenésében nyilvánul meg.

A másik fontos különbség a TM és az MSS között a detektorok számában rejlik. Amíg az MSS minden sávban 6 detektort, így összesen 24 (4x6), használt, addig a TM minden nem termális sávjában 16–16 (480 m széles pászta), a termális sávban 4, összesen tehát 100 detektorral végzi az egyidejű érzékelést.

sáv	hullámhossz (µm)	a sáv névleges spektrális helye	felbontás (m)	alkalmazási lehetőség
1	0,45–0,52	kék	30	víztest áthatolás, parti vizek térképezése, talaj- vegetáció megkülönböztetés, erdőtípus térképezés, építmények azonosítása
2	0,52–0,60	zöld	30	a növényzet zöld visszaverődési csúcsának mérése, vegetáció típusok elkülönítése, termésbecslés (egyéb sávokkal együtt), építmények azonosítása
3	0,63–0,69	vörös	30	klorofil abszorpció mérése, növényfajták elkülönítése, építmények azonosítása

4.3. táblázat - A Landsat TM szenzor spektrális sávjai

LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.

4	0,76–0,90	közeli-infravörös	30	vegetáció típusok, biomassza tartalom meghatározása, vízfelületek elhatárolása, talajnedvesség kimutatása
5	1,55–1,75	közép-infravörös	30	vegetáció és talajnedvesség kimutatása, a hó és a felhős területek elkülönítése
ба	10,4–12,5	termális-infravörös	120	vegetáció betegségeinek elemzése, talajnedvesség kimutatása, hőtérképezés
7a	2,08–2,35	közép-infravörös	30	ásványok, kőzetek kimutatása, vegetáció nedvesség tartalmának érzékelése

a A 6. és a 7. sáv nem követik a növekvő hullámhossz sorrendet, mert a 7. sávot csak az eredeti rendszer megtervezése után kapcsolták a TM sávokhoz.

4.8. ábra - Magyarország területét lefedő Landsat felvételek azonosítói



A Landsat TM sávok analóg kompozíciói és alkalmazásaik

A Landsat TM szenzorával készített felvételek megjelenítése történhet sávonként (fekete-fehér, szürke árnyalatos kép) vagy 3 sáv egyidejű alkalmazásával ún. sávkombinációkban. A digitális adatok megjelenítésekor a színes kép egy képeleme 3 színkomponens (vörös, zöld, kék) keverésével áll elő. A TM szenzor 7 sávjából számos 3 elemű ismétléses, vagy ismétlés nélküli kombinációt képezhetünk, de ezek közül néhány alkalmazása gyakoribb a többinél.

TM sáv-szín megfeleltetés a kompozitban		
R - (vörös)	G - (zöld)	B -(kék)
3	2	1
4	3	2
4	5	3
7	4	2
7	5	3

4.4. táblázat - A leggyakrabban használt TM színes (RGB) sávkombinációk

TM 321 (RGB) sávkombináció

Ez a TM valós színű sávkombinációja természethű színes képet hoz létre. Ez azért lehetséges, mert a pixelek színe ugyanazon színek (vörös, zöld, kék) keveréséből áll össze nyomtatáskor vagy a digitális kijelzőn, mint amilyen színek reflektanciáját méri a TM az első 3 sávjában. Vagyis a vörös reflektancia értékek vörös árnyalataival, a zöld reflektancia a zöld árnyalataival, a kék szín reflektanciája a kék szín árnyalataival jeleníthető meg.

A látható fény tartományába eső sávok (vörös, zöld, kék - red, green, blue RGB) áthatolnak a vékony vízrétegen és láthatóvá teszik az apróbb részleteket, pl. a víz örvénymozgását, az áramlásokat, valamint az üledék-felhalmozódásokat.

Ilyen képeken jól vizsgálhatók a selfterületek, kismélységű tavak morfológiai sajátosságai. Általában a sötétkék szín a mélyebb, a világoskék a sekélyebb vízborította területeket jelöli. A füst kibocsátása is ebben a sávkombinációban figyelhető meg a legjobban.

Az egészséges vegetáció a zöld szín különböző árnyalataiban tűnik elő, míg a talajokat barnás vagy barnássárga szín jelöli. Ez a sávkombináció alkalmas a partvonalak tanulmányozására. A szárazföld és a vízfelületek elhatárolása akkor lesz igazán pontos, ha olyan sávkombinációt alkalmazunk, amely tartalmaz infravörös tartományba eső sávot vagy sávokat is.

4.9. ábra - TM 321 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban Makó a Maros mentén látható, 1986.08.22)



1 A Landsat TM 321 sávkombinációja videofelvételen (kattints a hivatkozásra!) - 1:53 p

TM 453 (RGB) sávkombináció

Ez a kombináció a közeli-infravörös, a közepes infravörös és a látható fény vörös sávok segítségével állítható elő, ezért a 321 (RGB) valós színű kompozícióval ellentétben ez a kompozíció ún. hamis színes kompozíció (false colour composite). Pontosan meghatározható a szárazföld és a vízfelületek határa, valamint élesebbé válnak azok a finom részletek, amelyek a látható fény tartományába eső sávok alkal-mazásával nem tűnnek elő.

A tavak és a folyók nagyobb pontossággal térképezhetők, ha egy vagy két infravörös sávot alkalmazunk. Ezzel a sávkombinációval a vegetációtípusok és ezek állapota is vizsgálható a színárnyalatok (barna, zöld és narancs), valamint a tónusok változásai alapján. A 453 (RGB) kombináció megmutatja a nedvességkülönbségeket is, így használható a talaj és a vegetáció állapotának vizsgálatára. Minél nedvesebb a talaj annál sötétebb színben jelenik meg a képen.

4.10. ábra - TM 453 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban Makó a Maros mentén látható, 1986.08.22)



1 A Landsat TM 453 sávkombinációja videofelvételen - 2:05 p

TM 432 (RGB) sávkombináció

Ez a kép a közeli-infravörös, a vörös és a zöld látható fény sávok kombinációjaként jön létre. A TM 4 sáv használata biztosabb vízfelület elhatárolást tesz lehetővé. A két látható fény sáv használata újabb részleteket tár fel a vízfelszín alatti képződményekről, adatokat gyűjthetünk a partmenti száraz területekről, valamint az elöntött partszakaszokról.

A növényzet vörös színben jelenik meg a képen, a sötétvörös foltok nagy valószínűséggel erdőket jelölnek. Az emberi szem könnyebben elkülöníti a finomabb részleteket ebben a kombinációban, és így több információt kaphatunk a vegetáció változatosságáról és állapotáról. Általában a mélyebb, sötétebb vörös színárnyalatok dús levélborítottságot jelentenek, míg a világosabb vörös színárnyalatok a füves területeket vagy a ritkás vegetációjú felszíneket jelölik. A sűrű beépítettségű területek világos kék színben tűnnek elő. Ez a TM sávkombináció hasonló eredményeket ad, mint a hagyományos infravörös légifényképezés. Ennek a kombinációnak felel meg a SPOT XS 321 sávkombinációja is.

4.11. ábra - TM 432 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban Makó a Maros mentén látható, 1986.08.22)



1 A Landsat TM 432 sávkombinációja videofelvételen - 1:46 p

TM 743 (RGB) sávkombináció

Ez a kép két infravörös sáv (7,4) és a vörös (3) sáv kombinációjaként jön létre. A TM 742 (RGB) kombináció alkalmazásakor a vegetáció zöld színben jelenik meg. A 7. sáv a talaj és a vegetáció nedvességtartalmáról nyújt információt. A sűrűn lakott területek (városok) a lila különböző árnyalataiban jelennek meg, míg a mezőgazdasági területek inkább világosabb színűek. A világos zöld foltok a városban parkok, temetők lehetnek. Az olíva zöldtől a fényes zöldig a színárnyalatok az erdősült területeket jelölik. Általában a tűlevelű erdők sötétebb színűek, mint a lombhullató erdők.

4.12. ábra - TM 743 (RGB) sávkombináció (A Tisza és a Maros torkolata Szegednél, jobb alsó sarokban Makó a Maros mentén látható, 1986.08.22)



1 A Landsat TM 743 sávkombinációja videofelvételen - 2:30 p

A Landsat 4–5 WRS katalógus rendszere

A pályatulajdonságok következménye, hogy a műhold 16 naponként (4.13. ábra) kerül ugyanabba a pozícióba. A Landsat 4–5 műholdakat úgy állították pályára, hogy 8 napos késés legyen közöttük, vagyis, amikor mindkettő rendszerben volt, működésük 8 naponkénti lefedést biztosított.





A szomszédos pásztázási sávok között 7 napos időkülönbség van, ellentétben az előző 3 műholdtól, amelyek 18 napos ismétlődési ciklusában a szomszédos pásztázási sávok között csak 1 nap különbség volt. Következésképpen, a Landsat 4–5 esetében a képek katalogizálása a WRS rendszerben különbözik a Landsat 1– 3 képek katalógus rendszerétől. A Landsat 4–5 WRS-ben a 233 utat 001-től 233-ig sorszámozták, keletről nyugatra és az első út a 64°36' nyugati hosszúságnál metszi az Egyenlítőt. A sorok számozása hasonló a korábbi WRS-hez, vagyis, a 60. számú sor illeszkedik az Egyenlítőre a műhold észak-déli (leszálló) irányú keringésekor. Minden pálya első sora a 80° 47' északi szélességnél kezdődik.

A Landsat-5 2011. novemberében (27 évvel a felbocsátás után) fejezte be működését.

4. A Landsat 6–7 műhold

A kutatók nagy érdeklődéssel várták a Landsat-6 műhold felbocsátását és rendszerbe állását. A műhold a már lassan 10 éve működő Landsat-5 műholdat tehermentesítette volna. Az indítást a kaliforniai Vandenberg Légibázison végezték 1993. október 5-én 10 óra 56 perckor.

Az akkori árakon 220 millió USD értékű berendezés az indítás után eltűnt az irányítók elől, valószínűleg az óceánba zuhanhatott. Általában a költséges előállítású műholdakról készül másolat, a Landsat-6 műholdról sajnos nem, így pótlása rendkívül sokba került.

⁷http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/images/orbit_coverage/swath_pattern.jpg

A Landsat-7 indítására 1999. április 15-én került sor, mely jelenleg párhuzamosan működik a Landsat-5 műholddal.

Landsat-7 műhold felépítése, pályatulajdonságai

A Landsat-7 műhold kb. 4,3 m hosszú és 2,8 m átmérőjű, indításkor kb. 2200 kg tömegű volt (4.14. ábra).

A napszinkron pálya magassága 705 km, az inklináció 98,2°. A műhold leszálló pályáján 10 órakor halad át az Egyenlítő felett. Az ismételt lefedések között 16 nap telik el (233 pálya/ciklus), a keringési idő 98,8 perc. A 3-tengely mentén stabilizált műhold mindig a Föld felé tekint, a függőlegestől való eltérés sohasem nagyobb, mint 0,05°.

4.14. ábra - A LANDSAT-7 műhold modellje⁸



A napelemek 1550 W energiát biztosítanak. A földi irányítás parancsait és a telemetrikus adatokat a kommunikációs alrendszeren keresztül az S-sávban továbbítják, míg a tudományos adatok az X-sávban érkeznek a Földre. A fedélzeti adattároló 380 Gbit adatot (100 kép) tud rögzíteni és később továbbítani a földi állomásokra. Az amerikai és a nemzetközi állomásokra a képkészítő rendszer (ETM+) képei valós időben is érkezhetnek.

A Landsat-7 fedélzetén találjuk a Landsat 4–5 műholdakon kipróbált TM szenzor és a megsemmisült Landsat-6 műhold ETM szenzorának továbbfejlesztett változatát, az ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) multispektrális képalkotó berendezést.

Landsat-7 ETM+ szenzora

Az ETM+ rögzített helyű, nadír irányú, "légycsapó" (whisk-broom) rendszerű multispektrális pásztázó radiométer, mellyel nagyfelbontású képi információkat gyűjthetünk a Föld felszínéről. A spektrum látható fény és infravörös tartományába eső sugárzást 8 sávban érzékeli a berendezés.

A TM sávokat az ETM+ rendszerben kiegészítették egy 15 m felbontású, pankromatikus sávval (0,52–0,9 μm), a termális infravörös sáv felbontása 60 m-re javult.

4.5. táblázat - Az ETM+ spektrális sávjai és felbontásuk

sáv	hullámhossz (µm)	térbeli felbontás (m)
kék (1)	0,45–0,515	30
zöld (2)	0,525–0,605	30

* NASA Landsat 7 Science Data Users Handbook - in: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/satellite/prog_sect2_2.html

LANDSAT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK I.

I	1	l
vörös (3)	0,63–0,69	30
közeli IR (4)	0,75–0,9	30
közepes IR (5)	1.55–1.75	30
termális IR (6)	10,4–12.5	30
közepes IR (7)	2.09–2.35	60
pan (8)	0,52–0,9	15

copyright (2002) ESA, (2003) EURIMAGE, (2004) SZTE TFGT

4.15. ábra - Részlet a Landsat 7 ETM+ hőtartományú infravörös felvételből



WRS koordináta: 187-027, felvételezés ideje: 2002.06.23. Sötét tónusúak a hideg vízfelületek, az ártéri erdők, világosabbak a meleg felszínek (homok, a városi épületek, betonfelszínek) A Landsat-7 felbocsátása után folyamatosan készített felvételeket mind a 8 sávban. 2003. május 31-én azonban az SLC (Scan Line Corrector) nevű berendezés elromlott. Ez volt hivatott a műhold előrehaladó mozgását kiegyenlíteni, így azóta csak ún. SLC-off módban készít felvételeket a Landsat-7 (4.16. ábra).





Landsat-7 ETM+ termékek

A Landsat 7 ETM+ szenzorával készített standard kép 185x170 km-es nagyságú területet fed le. A képek, a Landsat 4–5 műholdak WRS katalógusával megegyező rendszerben (233 pálya, 248 sor), katalogizáltak. A teljes kép elcsúsztatható a pálya mentén, negyedelhető. 2003. július 14-től csak SLC-off módban készülnek felvételek.

⁹ NASA Landsat 7 Science Data Users Handbook Chapter 3 - Landsat 7 Payload http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook_handbook_htmls/chapter3/htmls/slc.html
Az Landsat ETM+ adataiból 0R, 1R és 1G feldolgozottsági szintű termékeket állítanak elő. A 0R szintű adatok semmilyen feldolgozást nem tartalmaznak, leginkább azok használhatják, akik maguk végzik a radiometrikus és a geometriai korrekciót. Az 1R adatok a 0R adatok radiometrikus korrekciójával állíthatók elő. A kép geometriája azonos a 0R szintű kép geometriájával. Az 1G termékek rendszer- és radiometrikus korrekció révén jönnek létre. A rendszerkorrekcióhoz a fedélzeti számítógép a képkészítés során rögzíti a szükséges adatokat (műhold helyzete, szenzor geometria, stb.). A transzformálás során hétféle vetületi rendszert, pl. UTM alkalmaznak. A síktranszformáció után az átmintázás módszere lehet: legközelebbi szomszéd elve, bilineáris interpoláció, vagy köbös konvolúció. A termékek formátuma HDF, Fast (EOSAT), vagy GeoTIFF. Az SLC meghibásodása után a Landsat-5 műholdat aktiválták.

5. Landsat-8 műhold

A Landsat 8 műholdat a Landsat program folyttásaként 2013. február 11-én indították útjára. A sikeres pályára állítás után a műhold 705 km-es magasságban kering a Föld körül, napszinkron pályán. A korábbi műholdakhoz hasonlóan 185 km-es területről készít felvételeket, és 16 nap alatt történik meg a globális lefedés.

A felvételek ingyenesen hozzáférhetők a következő portálokon: GloVis, EarthExplorer, LandsatLook Viewer

Landsat 8 két push-broom berendezést hordoz: (1) Operational Land Imager (OLI), és a Thermal Infrared Sensor (TIRS) szernzort. Az OLI szensor spektrális sávji nagyjából megegyeznek az ETM+ sávjaival, a különbség két új sáv: a mly kék látható sáv (1. sáv), mely a vízfelület és a partvidéki terület vizsgálatára szolgál,; és egy új infravörös sáv (9. sáv) a cirrus felhők elemzésére. A radiommetrikus felbontás 12-bit (0-4095). A TIRS berendezés 2 spektrális sávban dolgozik (10.6-11.2 és 11.5-12.5 mikrométer).

sáv szám (OLI)	sáv szélesség	felbontás	sáv szám (ETM+)	sáv szélesség	felbontás
1	0.433–0.453	30			
2	0.450-0.515	30	1	0.450-0.515	30
3	0.525-0.600	30	2	0.525–0.605	30
4	0.630-0.680	30	3	0.630-0.690	30
5	0.845-0.885	30	4	0.775–0.900	30
6	1.560-1.660	30	5	1.550-1.750	30
7	2.100-2.300	30	7	2.090-2.350	30
8	0.500-0.680	15	8	0.520-0.900	15
9	1.360-1.390	30			

4.6. táblázat - Spektrális sávok és felbontás a Lansat 8 OLI és a Landsat 7 ETM+ szenzorokon)

6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

A Landsat műholdak multispektrális, közepes felbontású képalkotó rendszereik révén sok hasznos információval szolgálnak a földi erőforrások kutatásához. A napszinkron pályán keringő műholdak 16 naponként ismételt fedést biztosítanak a látható fény és a közeli-, közepes és a hőtartománú infravörös sávokban. A valósi és hamis színes kompozíciók jellegzetes színekben mutatják a vízfelületek a növényzet nélküli vagy növényzettel fedett szárazföldi területeket.

- 1. Milyen pályán keringenek a Landsat műholdak?
- 2. Mekkora terület fed le egy Landsat TM felvétel?
- 3. Melyek a Landsat 4, 5 műholdak szenzorai?
- 4. A Landsat TM mely sávjaiból állítható elő valódi színes kompozíció?
- 5. Melyek hamis színes kompozíciók az alábbi TM sávhármasok közül?

- 6. A Landsat TM szenzorának van hőtartományú infravörös sávja (igaz/hamis)?
- 7. Magyarország területét felhőmentes időszak esetén 16 napon belül készült képekkel le lehet fedni (igaz/hamis)
- 8. A Landsat felvételek folyamatosan készülnek és a fogadóállomás környezetében foghatók a műhold jelei (igaz/hamis).
- 9. A Landsat TM hőtartományú infravörös sávjának jobb a geometriai felbontása mint a közepes infravörös sávban (igaz/hamis)

5. fejezet - SPOT - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK II.

Ebben a fejezetben a napszinkron pályán keringő SPOT műholdak és az azokon elhelezett különböző képalkotó rendszerek kerülnek bemutatásra. Részletesen megismerkedhet az olvasó a sávmenti pásztázás technológiájával a nagyfelbontású multispektrális és pankromatikus képkészítő rendszerekkel, valamint a sztereo űrfelvételek készítésére alakmas berendezésekkel. Ezek mellett az újabb műholdakon elhelezett kiegészítő eszközöket is megismerhetik.

korábbi ismeretek: sávmenti pásztázás, dombrzatmodell, szetereofelvétel, , keresőháló, napszinkron pálya

kulcsszavak: multispektrális és pankromatikus sáv, HRV berendezés, vonalsoros detektor, sávmenti és oldalirányú sztereofelvételezés

1. Bevezetés

1978-ban határozott úgy a francia kormány, hogy elkezdik az önálló francia műholdas földmegfigyelési program kidolgozását. A programhoz, mely a SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre) nevet kapta, rövidesen csatlakozott Svédország és Belgium is.

A feladat elméleti és gyakorlati irányítását a Francia Nemzeti Űrkutatási Központ, a CNES (French Centre National d'Etudes Spatiales) végezte, de végül a program nemzetközivé szélesedett. A földi eszközök és fogadóállomások, valamint a műhold technikai berendezéseinek kidolgozásában több mint 30 ország vett részt.

2. SPOT 1-2 műholdak

Az első, SPOT-1 nevű műholdat (5.1. ábra¹), 1986. február 22-én a francia guyanai Kourou Rakétaközpontból indították útjára. A műhold új fejezetet nyitott a műholdas távérzékelés történetében, hiszen ez volt az első nem kísérleti jellegű műhold (lásd pl. a MOMS szenzor), melyen vonalsoros (linear array) szenzort és az ún. pushbroom felvételező technikát alkalmaztak. Szintén első volt abban a tekintetben, hogy optikai rendszere változtatható, irányítható volt. Ez lehetővé tette, hogy a függőleges, nadír helyzetű képek mellett oldalirányú (off nadír) felvételeket is készítsen. Lehetőség nyílt a teljes képű sztereografikus felvételek készítésére oly módon, hogy két különböző pályán is teljes képi fedést lehetett elérni ugyanarról a területről.

5.1. ábra - A SPOT műhold vázlatos felépítése

Lillesand-Kiefer: Remote sensing and Image Interpretation pp.584.



A Landsat sorozathoz hasonlóan a SPOT-1 is cirkuláris, közel-poláris, napszinkron pályán keringett. A periódus idő 101,4 perc, pályamagasság 832 km, az inklináció szöge 98,7° volt. A SPOT-1 leszálló pályáján helyi idő szerint mindig délelőtt 10 óra 30 perckor haladt át a földrajzi Egyenlítő fölött. Így az északi szélességek fölött mindig valamivel 10 óra 30 perc előtt, a déli szélességek felett ezen idő után haladt át. Pl. a 40° északi szélességet 11 óra előtt néhány perccel keresztezte.

A SPOT-1 pályája 26 naponként ismétlődött, vagyis a földfelszín egy adott pontját ilyen gyakorisággal lehetett ugyanabból a látószögből vizsgálni. A rendszer már említett változtatható tükörállása miatt, a pályán oldalirányban is vizsgálható egy terület 1 és 4 (esetenként 5) naponként újra, függően a terület szélességi pozíciójától. Ha tekintünk egy olyan 26 napos periódust, melynek első és utolsó napja adott alkalmat a közvetlen nadír helyzetű képkészítésre, akkor a 45° szélességen 11 képkészítési alkalom adódott (D = kezdő vagy nadír nap): a D, D+1, +5, +6, +10, +11, +15, +16, +20, +21, és a D+25 nap (5.2a.ábra). Az Egyenlítő egy adott pontján összesen 7 (D, D+5, +10, +11, +15, +16, +21 nap) lehetőség volt a felvételezésre (5.2b. ábra)².

5.2. ábra - A SPOT többszörös területfedése a 45° szélességen (a) és az Egyenlítőn (b)

²Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 583.



Az oldalratekintés megnöveli a lehetséges fedési gyakoriságok számát olyan területek fölött, melyek gyakran felhővel fedettek, másrészt lehetőséget biztosít egy terület rövid idő alatti többszörös felvételezésére (pl. egymást követő napokon, több napon vagy héten keresztül) nagy sűrűséggel. Igaz, az időkülönbség miatt a sztereofelvételek változó körülmények (pl. felhőborítottság) között készülhetnek.

A SPOT 1-2 fedélzeti szenzorai

A rendszer tömege kb. 1750 kg, a műhold központi teste 2x2x3,5 m-es. A napelemek oldalirányú kiterjedése 15,6 m. A SPOT modulszerű, amely biztosítja a különböző műszerek cserélhetőségét a fedélzeten. Ezért az elkövetkező SPOT műholdak esetében jelentősebb módosítások nélkül megoldható a szenzorok cseréje.

A SPOT-1 fedélzeti szenzora két független nagyfelbontású képkészítő, ún. HRV (High-Resolution-Visible imaging system) rendszert és segéd mágnesszalag egységet tartalmazott. Mindkét HRV két különböző módban készített képeket.

- 1. egy 10 m felbontású ún. pankromatikus módban (0,51-0,73 μm),
- 2. egy 20 m felbontású multispektrális (színes infravörös) módban a 0,50–0,59, a 0,61–0,68 és a 0,79–0,89 μmes sávokban.

A HRV ún. push-broom érzékelési technikát alkalmazott. E felvételezési technika alapja a detektor sor (CCD - Charge Couple Device). A CCD egy 13x13 μm-es nagyságú szilícium chip (fotódióda), 5.3. ábra)³, vagyis egy szilárd állapotú szenzor, mely érzékeli a sugárzást.

5.3. ábra - A SPOT-4 műhold vonalsoros detektora



Amikor a fény vagy az infravörös sugárzás eléri a CCD felületét, elektromos töltés keletkezik. A töltés erőssége arányos a fény intenzitásával és az expozíciós idővel. A CCD sokkal nagyobb fényintenzitási tartományt képes érzékelni, mint a fényképezéskor használt filmek vagy a vidikon (televíziós) kamerák. Egy soros, 1-dimenziós CCD nagyon sok elemet tartalmazhat, pl. 10240, 6000 vagy 3000 detektor kerül egy sorba. Kis méretük, súlyuk, nagy fényérzékenységük miatt számos távérzékelési rendszerben alkalmazzák már.

A soros érzékelő merőlegesen helyezkedik el a műhold mozgási irányára. A detektorban rögzül és azonnal továbbadódik az érzékelt fény intenzitása, így létrejön a kép egy sora. Az újabb sor előállításához a szenzor elmozdul a vizsgált terület felett, s mintegy újra végigsöpri a felszínt. Ezért nevezik a rendszert push-broom, toló-pásztázó érzékelésnek.

A CCD előállítja a kép egy sorát a módnak megfelelő pixelszámmal. Ennek a rendszernek többek között az az előnye a forgótükrös-pásztázó rendszerrel szemben, hogy itt nincs szükség mozgó alkatrészekre. Ezzel nemcsak megnő a rendszer élettartama, de kiküszöbölődnek a tükör sebességváltozásaiból származó geometriai hibák. Ugyanakkor a vonalsoros detektorok alkalmazásával a felvételezési idő megnő és hosszabb lesz mint más technikát alkalmazó rendszerekben. Ez megnöveli a vonal-soros berendezések jel/zaj arányát, ezáltal tovább javul a kép minősége.

Ahhoz, hogy a soros detektor 2-dimenziós képet állítson elő, az érzékelő mozgására van szükség. Ez történhet úgy is, hogy a kamerát rögzítjük és a kamera optikai rendszerét mozgatjuk. A HRV szenzor úgy állított elő a képet, hogy a műhold folyamatos mozgása közben soronként készítette el a képet (5.4. ábra).

³http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/index.htm





Mindegyik HRV négy db CCD alrendszert tartalmazott. A 6000-elemes soros érzékelő a pankromatikus módban az adatokat 10 m-es felbontásban rögzíti. A 3 db 3000-elemes érzékelő a multispektrális mód 3 sávját rögzíti 20 m-es felbontásban. Az analóg-digitális konverter az adatokat 0–255 közötti egész számokká alakítja át, az adatátviteli sebesség 25 Mbps. Mindegyik berendezés látószöge (AFOV) 4,13° és nadír helyzetben minden HRV kép szélessége 60 km. A HRV optikai rendszerének első eleme egy síktükör, amely földi parancsra elforgatható $\pm 27^{\circ}$ -kal (5.5. ábra)⁴.

5.5. ábra - A SPOT nadír és off-nadír tükörállásai

⁴SPOT 4 Satellite, The Payload – in:http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/index.htm



Az elforgatás 45 lépésben 0,6°-os lépésközzel végezhető el. Ez megengedi azt, hogy az eszköz bármelyik olyan pontról képet tud készíteni, amelyik a nadír helyzethez képest, 475 km-es sávon belül fekszik a műhold földi pályától jobbra vagy balra (5.6. ábra). A rálátás szögének változása miatt természetesen nő az érzékelt terület nagysága is. A 27°-os maximális oldalirányú tükörállásnál a lefedett terület szélessége már 80 km (romlik a geometriai felbontás). A tükör a Földről programozható a megrendelő igénye vagy a bekövetkezett esemény elhelyezkedésének megfelelően.

Amikor a két szomszédos HRV nadírhelyzetben szomszédos területeket fed le, a teljes képszélesség, a két kép közötti 3 km-es átfedés miatt 117 km (5.7. ábra). Bár mindkét HRV képes egyidejűleg pankromatikus és multispektrális kép készítésére 4 adatáramban, de csak 2 adatáram átvitele lehetséges egyidejűleg. Így a 117 km széles területről vagy csak pankromatikus vagy csak multispektrális adat továbbítható, egyszerre mindkettő nem.

5.6. ábra - A SPOT műhold oldalra (off-nadír) tekintési lehetősége



5.7. ábra - A HRV-1,-2 felszíni területfedése egyidejű működéskor



A HRV oldalirányú (nem nadír helyzetű) képkészítési lehetősége biztosítja a sztereografikus képkészítést is. A műhold különböző pályákon haladva ugyanarról a területről készít képet (5.8. ábra)^s, s így érhető el a sztereohatás.

5.8. ábra - A SPOT műhold sztereokép készítési lehetősége

^sLillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp.587.



A sztereografikus fedés gyakorisága az adott hely földrajzi helyzetétől, szélességi koordinátájának értékétől függ. A 45° szélességen (5.2a ábra), a 26 napos pályaciklus alatt 6 lehetőség van, hogy egymást követő napokon készüljön sztereofedés: D és D+1, D+5 és D+6, D+10 és D+11, D+15 és D+16, D+20 és D+21, valamint a D+25 és a következő ciklus D napján. Az Egyenlítőn (5.2b ábra) csak 2 lehetőség nyílik a sztereokép készítésre két egymást követő napon (D+10 és D+11, D+15 és D+16 napokon). A képközéppontok horizontális távolságának és a vertikális magasságnak az aránya (bázisviszony) változik a szélességgel. A 45° szélességen kb. 0,5 és ez fokozatosan nő az Egyenlítő felé haladva, ahol kb. 0,75.

Ha a sztereografikus fedéskor nem szükséges, hogy a felvételek két egymást követő napon készüljenek, akkor a lehetséges sztereopárok száma tovább nőhet.

A megfigyelési eredmények folyamatosan a SPOT-1 fedélzeti számítógépe segítségével Toulouseba, Franciaországba és egyéb földi vevőállomáshoz továbbítódtak, miközben a műhold folytatta az útját.

A két HRV-t egymástól függetlenül kezeték. A Földről módosítható volt a két berendezés látószöge, a spektrális üzemmód, a képkészítés ideje és az adattovábbítás módja. Ha a műhold az állomás kb. 2600 km-es sugarú környezetében volt, az adatok általában közvetlenül a fogadóállomáshoz juttottak. Ebben a körzetben a műhold mindig legalább 5°-kal a horizont felett volt. A fedélzeti mágnesszalag egység tárolt adatait akkor továbbították a Földre, ha olyan terület képi feldolgozása folyt, amely kívül esett a vevőállomás adott körzetén. Ilyen esetekben a felvett képek folytatólagosan továbbítódtak Toulouseba vagy Kirunába (Svédország). Toulouseban pl. naponta 700 db 60x60 km-es SPOT-3 képet rögzítettek.

5.1. táblázat - A SPOT HRV 1-2 adattovábbítási lehetőségek

	HRV 1	HRV 2
1.	XS+P	-
2.	-	XS+P
3.	XS	Р
4.	Р	XS
5.	XS	XS
6.	Р	Р

XS = multispektrális adatátvitel, P = pankromatikus adatátvitel

Az első SPOT műhold 1986-os felbocsátása után, a sorozat további négy tagját indították el. A SPOT-2 műholdat 1990. január 22-én, SPOT-3-at 1993. szeptember 22-én, a SPOT-4-et 1998. március 24-én és legutoljára a SPOT-5-öt 2002. május 4-én bocsátották fel.

A SPOT-1 műhold tervezői a műhold élettartamát két és fél évre becsülték. Az 1986. február 22-én felbocsátott műhold majdnem 4 évet üzemelt és csak 1990. december 31-én végén helyezték üzemen kívül. Ekkor sem technikai hiba miatt vonult nyugalomba, továbbra is működőképes maradt, de felváltotta a SPOT-2 műhold. A SPOT-2 műhold 2004 elején még működött.

Az 1990-es évek elején az erőteljes felhasználói igény jelentkezése miatt a SPOT Image kérte a CNES-t, a műhold kezelőjét, hogy újra kapcsolja be a SPOT-1 műholdat. Ez a művelet 1992. március 20-án sikerült. Először ellenőrizték a fedélzeti képkészítő műszereket és újrakalibrálták a detektorokat. A műhold 1992. október végéig működött ismét, ekkor újra készenléti állapotba helyezték. Ezzel a SPOT-2 műholddal együtt, jelentősen hozzájárult a nyári vegetációs időszak, a tenyészidőszak monitoringjához.

3. A SPOT-3 műhold

1993. szeptember 26-án 2 óra 45 perckor sikeresen elindították a SPOT-3 műholdat az Ariane 40 hordozórakétával. Az indítás helye a francia űrkísérleteknél megszokott Kourou (Francia Guyana) volt. Az első két hónapban a kezdeti pálya és műszer ellenőrzés zajlott le, de az adatok eközben is sikeresen eljutottak a föbb fogadóállomásokra: Kiruna (Svédország), Issus-Aussaguel (Toulouse). A SPOT-3 mintegy 3 évnyi működés után 1997. november 14-én egy véletlen hiba miatt leállt.

A SPOT-3 majdnem teljesen azonos volt az 1990. január 22-én felbocsátott SPOT-2 műholddal. A SPOT-3 fedélzetén elhelyezett mágnesszalagos tároló hosszabb élettartamot biztosított. A keményebb, kevésbé gyűrő írófej, az új típusú mágnesszalag és az aktív szalagvezető megakadályozta a szalagvégek nyúlását.

adatok	paraméter	érték	
műhold adatok	teljes tömeg (kg)	1900	
	napelemek teljesítménye (KW)	1	
	műhold mérete (m)	2x2x4,5	

5.2. táblázat - Összefoglaló táblázat a SPOT 1-3 műholdakról

	1	1.	
	napelem panel mérete (m)	8,14	
	pályamagasság (km)	822	
HRV adatok		multispektrális	pankromatikus
	spektrális sávok (µm)	0,50-0,59	0,51-0,73
		0,61-0,68	
		0,79-0,89	
	teljes látószög (°)	4,13	
	pixel méret (m)	20x20	10x10
	pixelszám/sor	3000	6000
	vizsgált terület (km)	60	
	adatkapacitás (perc)	22	
kapcsolattartás adatai	frekvencia (MHz)	8523	
	adatátviteli sebesség (Mbps)	2x25	
	irányítási frekvencia (MHz)	8307	

4. A SPOT 4-5 műholdak

A SPOT-4 műholdat (5.9. ábra) 1998. március 24-én, a SPOT-5 műholdat 2002. május 4-én indították útjára. Mindkét műhold két azonos optikai képkészítő berendezést, két szalagos adattárolót és egy az adatok továbbítására alkalmas telemetriai rendszert tartalmaz.

5.9. ábra - A SPOT-4 műhold felépítése⁶

[°]http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/images/satelite/ecorch01.jpg



A HRV szenzor helyett, annak továbbfejlesztett változata, a HRVIR nevű berendezés kapott helyet a SPOT-4 műholdon. A meglévő három spektrális sáv mellett még egy új, közepes-infravörös sávban (1,58–1,75 μm) méri a szenzor a visszavert energiát. A pankromatikus sávot (0,51–0,73 μm) kicserélték a 2. multispektrális sávra (0,61–0,68 μm). A fedélzeti tárolóegységek kapacitását megnövelték 40 percre és egy másik 10 Gbit-es tárolót is rendszerbe állítottak.

Magyar szempontból a rendszer külön érdekessége, hogy a HRVIR-2 berendezéssel az első képet 1998. március 27-én 9 óra 38 perc 26 mp-kor (UTC) a 113. pályán, 18,9°-os oldalra tekintés mellett Mohács középponttal készítették.⁷

A képkészítő rendszeren kívül egyéb műszerek is helyet kaptak a SPOT-4 műholdon, ezek a VEGETATION, a DORIS és a PASTEL.

A VEGETATION szenzor

A VEGETATION programban a Francia Űrügynökség (CNES) irányításával számos Európai Uniós ország vesz részt. A program célja a termesztett mezőgazdasági növények és a szárazföldek növényvilágának monitoringja. A SPOT-4 műholdon helyezték el a VEGETATION-1 nevű berendezést (5.10. ábra) és segítségével naponta majdnem teljes, globális lefedés érhető el 1 km-es térbeli felbontás mellett. A VEGETATION-1 a SPOT-4 képkészítő rendszerétől (HRVIR) függetlenül működik, spektrális tartományai azonban megegyeznek a HRVIR spektrális sávjaival. A VEGETATION berendezés hasonló felbontású mint az AVHRR szenzor, de azzal szemben nem meteorológiai alkalmazásokra, hanem kifejezetten a növényzet vizsgálatára tervezték, ezért a spektrális sávok is jobban megfelelnek az ilyen jellegű feladatok megoldására. A vörös, a közeli- és a közepes infravörös sávok a növényzet elemezését szolgálják, míg a kék sáv adatai az atmoszférikus korrekciót teszik lehetővé.

5.10. ábra - A VEGETATION szenzor felépítése⁸

⁷ CNES SPOT 4 Imagery, Discover SPOT 4 imagery – in: http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/index.htm ⁸CNES SPOT 4 Satellite, Vegetation – in:http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/index.htm



A VEGETATION és a HRVIR ugyanazt a geometriai referencia rendszert használja, így a nagy térbeli felbontású HRVIR képek támogatják a részletes modellek készítését, valamint a VEGETATION adatok minősége is javítható a vonal-soros szenzor segítségével.

A berendezés által lefedett terület szélessége 2250 km, s miután a műhold 14 fordulatot tesz meg naponta, a 35° szélességi körnél magasabb szélességeken fekvő területek esetében biztosított a naponkénti felvételezés.

5.3. táblázat - A VEGETATION 1-2 berendezések adatai

	SPOT 5	SPOT 4
berendezés	VEGETATION 2	VEGETATION 1
spektrális sávok száma	4	4
spektrális felbontás (µm)	B0: 0,45 -0,52	B0: 0,45 -0,52
	B2: 0,61 – 0,68	B2: 0,61 – 0,68
	B3: 0,78 – 0,89	B3: 0,78 – 0,89
	B4: 1,58 – 1,75	B4: 1,58 – 1,75
geometriai felbontás (m)	1000	1000

kép szélessége (km)	2250	2250
radiometrikus felbontás (bit)	10	10
abszolút pontosság kontrolpon-tok nélkül, sík felszín esetén (m)	< 50	< 350
időfelbontás (nap)	1	1

A VEGETATION berendezés adatait archiválják és on-line katalógus^o alapján kereshetjük meg a szükséges felvételeket az Interneten keresztül. A 3 hónapnál korábban készült felvételek ingyenesen hozzáférhetők és megrendelhetők elektronikusan vagy valamilyen digitális adathordozón. A VEGETATION-2 berendezés megegyezik a VEGETATION-1 felépítésével. Az adattároló kapacitását tovább növelték (90 Gbit), mely 200 kép tárolására elegendő.

DORIS rendszer

A DORIS berendezés egy műholdas, nagy pontosságú pályameghatározó rendszer. A SPOT 2-3 műholdakon elhelyezett berendezéssel azonos, segítségével a műhold pozíciója az utófeldolgozás után 10 cm pontossággal meghatározható. A szoftverfejlesztés révén a SPOT-4 DORIS berendezése a műhold pozícióját valós időben néhány 10 méteres pontossággal adja meg. Ezt az információt a képek telemetriai adataival együtt továbbítja a műhold a Földre. A SPOT-5 műholdon a DORIS berendezés, egy másik műszerrel együtt dolgozva, már 15 m-es abszolút helymeghatározást tesz lehetővé felszíni kontrolpontok nélkül.

PASTEL berendezés

A PASTEL, egy lézer alapú, műholdak közötti kommunikációs berendezés, mely az ESA Silex kísérleti programjának része. 2001 decemberében a PASTEL nagy átviteli sebességű lézer kapcsolaton keresztül továbbította az első képeket az ARTEMIS geostacionárius átjátszó műholdra.

A HRS és HRG – a SPOT-5 képalkotó rendszerei

A SPOT-5 műholdon (5.12c.ábra) a korábbi képkészítő rendszert tovább módosították.

A két HRG (High Resolution Geometric) berendezés 4-féle térbeli felbontással készít képet egy 60 km széles területről:

- 1. 20 m-es az SWIR sávban,
- 2. 10 m-es a multispektrális sávokban (zöld, vörös és közeli infravörös),
- 3. 5 m-es pankromatikus kép,
- 4. 2,5 m-es felbontású szupermódú pankromatikus kép.

A HRS (High Resolution Stereoscopic) nevű berendezés lehetővé teszi, hogy sztereoképek készüljenek a SPOT műholdon. A műhold pályáján haladva az előre tekintő szenzorával készít képet a földfelszínről a helyi függőlegestől eltérően előre, 20°-os szögben. 90 mp múlva a műhold a pályáján haladva a hátra tekintő szenzorával, ugyanúgy 20°-os szög alatt, látja ugyanazt a felszíni terület. A sztereoképek pankromatikus sávban, 10 m-es felbontással, 120 km széles területről, maximálisan 600 km-es hosszúságban készülhetnek (5.11. ábra).

5.11. ábra - Sztereoképek felvételezése HRS berendezéssel¹⁰

⁹ VITO – Free VEGETATION Products – in: http://free.vgt.vito.be/

¹⁰http://spot5.cnes.fr/gb/systeme/systeme.htm



A korábban részletesen bemutatott oldalra tekintő képkészítési lehetőség megmaradt a HRG szenzoroknál is, így különböző pályákról készülhetnek sztereofelvételek adott területről. Három működő műhold esetében, elméletileg lehetőség van arra, hogy a sztereoképek ugyanazon a napon készüljenek.

5.12. ábra - A SPOT műholdak méretarányos összehasonlítása 11



5.4. táblázat - A SPOT műholdak sztereokép-készítési lehetőségei

	SPOT 5		SPOT 4	SPOT 1, 2 és 3
berendezés	HRS sávmenti	HRG oldalirányban	HRVIR oldalirányban	HRV oldalirányban
spektrális sávok és felbontás	 1 pankromatikus 10 m – egyesítve 5 m felbontású (repülési irányban) termék 2. 10 m repülési irányban 3. 5 m oldalirányban 	 2 pankromatikus 5 m – egyesítve 2.5 m felbontású termék 3 multispektrális 10 m 1 közeli infravörös 20 m 	 1 pankromatikus 10 m 3 multispektrális 20 m 1 közeli infravörös 20 m 	 1 pankromatikus 10 m 3 multispektrális 20 m
spektrális felbontás (µm)	P: 0,49 – 0,69	P: 0,48 – 0,71 B1: 0,50 – 0,59 B2: 0,61 – 0,68	M: 0,61 – 0,68 B1: 0,50 – 0,59 B2: 0,61 – 0,68	P: 0,50 – 0,73 B1: 0,50 – 0,59 B2: 0,61 – 0,68

¹¹ CNES SPOT 5 News, Programme – in:http://spot5.cnes.fr/gb/programme/filiere.htm

		11,		
		B3: 0,78 – 0,89 B4: 1,58 – 1,75	B3: 0,78 – 0,89 B4: 1,58 – 1,75	B3: 0,78 – 0,89
kép szélessége (km)	600 x 120	60 x 60-80	60 x 60-80	60 x 60-80
radiometrikus felbontás (bit)	8	8t	8	8
abszolút pontosság (m) (kontrolpontok nélkül sík felszín esetén)	< 15	< 50	< 350	< 350
időkülönbség két kép között	90 mp	változtatható	változtatható	változtatható

5. A SPOT 6-7 műholdak

A SPOT-6 műholdat 2012. szept. 9-én bocsátották fel, míg a SPOT-7 műhold indítását 2014-re tervezik. Mindkét műhold várhatóan 2023-ig tud felvételeket készíteni. A pankromatikus sávban a geometriai felbontás 1,5 m, a 4 multispektrális sávban 8 m.

A multispektális képkészítő szenzor sávjai: kék (0.455 μ m – 0.525 μ m), zöld (0.530 μ m – 0.590 μ m), vrös (0.625 μ m – 0.695 μ m) és közeli infravörös (0.760 μ m – 0.890 μ m).) Panchromatic - 1.5m Multispectral - 8.0m (B,G,R,NIR)

A SPOT műholdak felvételeiből készült képgaléria a következő címen érhető el: http://www.spot.com/web/SICORP/443-sicorp-gallery.php

6. A SPOT felvételek keresőháló rendszere (GRS)

A GRS (Grid Reference System) egy földrajzi kereső rendszer. Minden SPOT képet a képközéppont földrajzi helyzetének meghatározásával választhatunk ki. A képekhez egy számpár (K,J koordináták) tartozik. A hálóban a vonal és az oszlop sorszámát adják meg oly módon, hogy az oszlopok párhuzamosan futnak a műhold mozgási irányával, míg a sorok a szélességi körökkel párhuzamosak. Az oszlop és a sor közös pontja a metszéspont. Minden egyes képhez egy és csak egy ilyen metszéspont tartozik. Ha a kép nadír helyzetű, akkor könnyű a képközéppont GRS koordinátáit megadni, ha viszont oldalirányban (off-nadír) készült, akkor a középponthoz legközelebb eső koordinátapár fogja megadni a kép pontos helyét a katalógusban. A képi adatok mellett egyéb, a technikai-fizikai körülményeket megadó, rögzítő paramétereket is tárol a rendszer és ezeket szintén megtaláljuk a katalógusban.

A GRS rendszer felépítése

A GRS a Föld felszínét 5 zónára osztja fel szimmetrikusan az Egyenlítő mindkét oldalán. A felosztás a műhold pályatulajdonságait tükrözi. A zónák:

- 1. Középső zóna az 51,5° északi és déli szélességek közötti terület,
- 2. Északi és Déli zóna az 51,5-71,7° szélességek közötti területek az északi és a déli félgömbön egyaránt,
- 3. Északi és Déli sarki zóna a 71,7° szélességtől a sarkok felé terjedő területek az északi és a déli félgömbön. Ezek a zónák egymástól eltérően épülnek fel a háló rendszerben az oszlopok (K) és a sorok (J) segítségével.

Az Északi, a Középső és a Déli zónában a K oszlop párhuzamos a műhold földi képsávjával és a J sor párhuzamos a szélességi körökkel.

II.

A Középső zónában 738 oszlop helyezkedik el (1-től 738-ig) nyugatról keletre számozva, valamint 209 sor (246-tól 455-ig) északról délre sorszámozva. A háló ezen zónájában 154242 metszéspont található (Magyarország területét lefedő SPOT képek középpontjainak oszlop (K) koordinátái a 69–82, sorkoordinátái a 251–258 intervallumba esnek (5.13. ábra).

A képeket a SPOTCatalog nevű online katalógusában kereshetjük.

5.13. ábra - A SPOTCatalog keresőfelülete



7. A SPOT adatok feldolgozása, adatszintek

A SPOT műholdakról érkező adatokat különböző feldolgozottsági szinten adják át a felhasználóknak. Ezeket a műveleteket az Űrfelvétel Feldolgozó Központokban (CRIS), a két legfontosabb vevőállomáson, Kirunában és Toulouseban végzik (5.14. ábra).

5.14. ábra - SPOT földi fogadóállomások és hatókörzetük 12

¹² http://spot5.cnes.fr/gb/images/321_3.jpg



A közvetlen adatok nem használhatók csak bizonyos átalakítás, korrekció után. A radiometrikus és a geometriai korrekciók szintje alapján különböző feldolgozottsági szintű termékeket használhatunk. Ezek a SPOTScene (1A, 1B, 2A feldolgozottsági szintű), és a SPOTView (2B-Precision és a 3-Ortho) nevű csoportokba tartozó képek.

SPOTScene – 1A szintű képek

Ezen a szinten semmiféle geometriai korrekciót nem alkalmaznak, csak a CCD detektorok érzékenység különbségét egyenlítik ki, ez az ún. detektor normalizáció. Ezt az alapkorrekciót minden SPOT terméknél elvégzik. Az 1A szint adatai mellé számos kiegészítő információt nyújtanak, pl. geometriai és radiometrikus adatokat. A felvételi információk közé tartozik: a műhold száma, a berendezés neve, a spektrális sáv(ok), a GRS koordináták, a képkészítés ideje. További információ: a rálátás szöge, a négy sarok földrajzi koordinátája, a kép középpont és a legközelebbi GRS metszéspont távolsága, a Nap helyzete (azimut és magasság). A geometriai adatok: a GRS oszlop és sor száma, földrajzi azonosító jelek. A kép radiometrikus adatai: a CCD normalizációs koefficiensei, abszolút kalibrációs koefficiens, radiometrikus értékek hisztogramja, stb. Ezt a feldolgozottsági szintet elsősorban a részletes radiometrikus vizsgálatok esetében alkalmazzák.

Az 1B szint

Ebben a szintben, mint minden SPOT terméknél, megtalálható az 1A szint radiometrikus korrekciója.

A geomeriai korrekció a rendszer működéséből eredő torzítások kiküszöbölésére törekszik. A torzítás oka a panoráma hatás, a Föld forgása, a pályamagasság változása az ellipszis alakú pályán. Ez a legáltalánosabb SPOT termék. Alkalmazható fotointerpretációra és tematikus vizsgálatokban. Az elemzés történhet vizuálisan vagy digitálisan. Sztereoképpárok kialakítása lehetséges.

A 2A szint

A radiometrikus korrekció ugyanaz mint az 1A szinten. A geometriai kétdimenziós korrekció a felvétel technikai-fizikai paraméterein alapuló modell alapján történik. Ehhez nincs szükség digitális domborzat modellre és az űrfelvételek korrekciója nem kapcsolódik felszíni illesztőpontokhoz. A korrigálás standard kimenete UTM WGS84 vetületi rendszerű.

Ez a geometriai korrekció módosítja a vonal és az oszlopszámot az x,y tengely mentén. A kép valódi észak-déli irányban áll.

A 2 szint képei pontosságuk miatt geometriai mérésékre és helymeghatározásra is alkalmasak. A 2A és 2B szint képeit ellátják egy 2 km-es hálózattal vagy az illesztési pontokat jelző kis keresztekkel. A pályán egymást követő képek pixelenként tökéletesen egymáshoz illeszthetők. 60x60 km-nél nagyobb területek lefedésére mozaik készíthető azonos korrekcióval.

SPOTView – 2B (Precision) szint

A radiometrikus korrekció ugyanaz mint az 1A szinten. A geometriai korrekció térképekről levett illesztőpontok, illetve GPS pontok alapján történik. A képet egy adott vetületi rendszerbe és egy adott magasságra korrigálják. A termék akkor használható, ha a domborzat okozta torzítások elhanyagolhatók.

A 3 (Ortho) szint

A vetületi rendszerbe történő transzformálás alapja a felszíni illesztőpontok és a terület digitális domborzatmodelljének használata.

A SPOT termékek képmérete

- 1. Teljes képek: 60x60-80 km2-es területi lefedéssel (a rálátás szögétől függően)
- 2. Kivágatok (2,5 m és 5 m felbontású fekete-fehér és színes és 10 m-es színes képek)

A megrendelő igénye szerinti fél-, negyed- (QS), vagy nyolcadkép nem szükségszerűen egyezik meg az automatikus felosztással, hanem eltolható a teljes képen (5.15. ábra). Lehetőség van a teljes képek pálya menti eltolására (képközéppont elcsúsztatására) is.

A SPOT-5 sztereoképei 120 x 600 km2-es összefüggő területet fedhetnek le, melyet a pálya mentén felvételezhet az előre- és a hátratekintő képalkotó rendszer.



5.15. ábra - SPOT standard (Q1-4) és speciális negyedképek (QS)

8. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben a SPOT francia földi erőforráskutató műholdak felépítése, képalkotó rendszerei szerepelnek. A napszinkron pályán keringő műholdak a sávmenti pásztázó technika révén jobb térbeli felbontású képeket tudnak készíteni mint a Landsat műholdak TM szenzorai, de kisebb a lefedett terület szélessége. A

multispektrális és pankromatikus felvételekből felszínborítási, területhasználati térképek készíthetők. Lehetőség van különböző képkészítési módszerek révén sztereofelvételek készítésére is, melyekből jó felbontású domborzatmodellek készíthetők. A nagy felbontású rendszerek mellett az újabb műholdakon egyéb kiegészítő szenzorok is helyet kaptak, mint pl. a Vegetation, a Doris vagy a Pastel berendezés.

Ellenőrző kérdések:

- 1. A SPOT műhold HRV szenzorának jobb a geometriai felbontása mint a Landsat műhold TM szenzorának, mert a HRV sávmenti, míg a TM keresztsávos pásztázású (relációanalízis).
- 2. A SPOT műhold HRV szenzora több sávban működik mint a Landsat TM szenzora (igz/hamis)
- 3. Mi biztosítja a SPOT műholdak esetében a sztereofelvételezést?
- 4. Milyen spektrális sávokban működnek a SPOT műholdak HRV szenzorai?
- 5. A SPOT HRV pankromatikus sávjában több detektor működik, mint a multispektrális sávokban. Igaz/hamis
- 6. Az Egyenlítő mentén több alkalom van sztereoképek készítésre, mint a magasabb szélességek mentén a SPOT műhold egy 27 napos ciklusában (igaz/hamis).
- 7. Melyik SPOT műholdon van az a sztereo képkészítő rendszer, mely 90 mp alatt készíti el a sztereofelvételeket egy 600 km*120 km-es területről?
- 8. Melyik tanult szenzorhoz hasonlít legjobban a SPOT Vegetation szenzora?
- 9. Mely pásztázási módszerek jellemzik a SPOT és a Landsat műholdakat?

6. fejezet - OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK III.

Optikai sávú földi erőforráskutató műholdakat több nemzet is fejleszt. Ezek egyre jobb geometriai és spektrális felbontásúak. Egyes rendszerek inkább az egyre jobb geometria felbontásúak, míg mások speciális vizsgálatokra alakalmasak. Ebben a fejezetben az orosz, az indiai, a japáni és amerikai földi erőforráskuató műholdak, műholdprogramok kerülnek bemutatásra.

korábbi ismeretek: napszinkron, multispektrális, infravörös kisugárzás, radiométer

kulcsszavak: Meteor, NASA, szonda, lidar, AQUA, TERRA, kereskedelmi jellegű műhold, IRS, SeaWiFS

1. SZOVJET/OROSZ FÖLDKUTATÓ MŰHOLDPROGRAMOK

1.1. A METEOR-PRIRODA program

Ez a műholdprogram a Resurs-O1 sorozat elődjének tekinthető. Az első műholdat 1974. július 9-én állították pályára, feladata a folyamatos képkészítés volt elsősorban a Szovjetunió mezőgazdasági területeiről. A pálya napszinkron, közel-poláris, az inklináció 98°, a pályamagasság 630 km, a keringési idő 97,3 perc, az ismételt fedés ideje 16 nap.

név	típus, alkalmazás
FRAGMENT-2	megfelel a Landsat MSS szenzorának
MSU-S	többcsatornás szkennerek
MSU-SK	
MSU-E	
MSU-VE	
MSU-SE	
SHF	passzív mikrohullámú radiométer
SI-GDR	spektrométer/interferométer (német műszer)

6.1. táblázat - Szenzorok a Meteor-Priroda műholdakon

1.2. A RESURS-O orosz földkutató távérzékelési program

A földi erőforrások távérzékeléses technológián alapuló kutatása a METEOR–Priroda meteorológiai műhold mintáján indult el a Szovjetunióban az 1970-es években. A műholdakat az Okean műholdakhoz hasonlóan az orosz Védelmi Minisztériumban tervezték, bár ezeknek sem volt közvetlen katonai alkalmazásuk. A műholdakat Resurs-O-nak nevezték el. Az O index arra utal, hogy a távérzékeléses adatok egy nagysebességű (operatív) rádiócsatornán keresztül érkeznek a műholdról valós vagy közel valós időben a Földre. Az orosz műholdak tervezésében, kivitelezésében és az adatforgalmazásban 3 nagy orosz szervezet vesz részt:

1. RSRIE – Orosz Elektronmechanikai Tudományos Kutató Intézet (Russian Scientific and Research Institute of Electromechanics) elsősorban a tervezésben és a műhold felépítésében vett részt,

- RSRISDE Orosz Űreszköz Mérnöki Tudományos Kutató Intézet (Russian Scientific and Research Institute of Space Device Engineering) a fedélzeti érzékelő rendszerek, az adattovábbító rádiókapcsolat és a földi fogadó eszközök kiépítésében működött közre,
- 3. RPAP Planéta Kutató és Forgalmazó Társaság (Research and Production Association Planeta) az adatok feldolgozását és forgalmazását végzi.

Egy vagy két Resurs-O műhold működik egyidejűleg. A Resurs-O1 műholdsorozat feladata, a Landsat sorozathoz hasonlóan, a természeti erőforrások kutatása, a légkör gáz- és aeroszol-koncentrációjának mérése, a felhőfedettség vizsgálata, a légkör és az óceánok közötti hőcsere elemzése, árvízmonitoring, hófedettség térképezése, erdősült területek vizsgálata, termésbecslés, topográfiai térképezés, városi területek növekedésének mérése, stb.

A sorozatot 1985-ben indították és 5 műhold rendszerbe állításával 2000-ig folytatódott a program. A természeti erőforrások megfigyelése mellett vizsgálható a mezőgazdasági termények állapota, a hidrológiai feltételek, az erdő- és tundratüzek kiterjedése, a szennyeződések terjedése és hatásaik.

Az első műholdat (Resurs-O1 No1, 6.1. ábra) 1985-ben állították pályára és 3 évig tevékenykedett. A sorozat második tagját (No2) 1988. április 20-án indították és 7 évig működött. A harmadik, ma is működő tagot (No3) 1994. október 4-én, a negyedik műholdat (No4) 1998. július 10-én indították.

6.1. ábra - A RESURS-O1 műhold modellje



A Resurs-O műholdak a Meteor-3 műholdak platformjára épülnek, jellemzően 3–5 éves élettartamúak. A Resurs-O1 műholdak teljes tömege 1950 kg, ebből kb. 550 kg a tudományos célú eszközé (a Resurs-O No4 műhold tömege már 3200 kg, 1000 kg hasznos teherrel). A műholdak magassága 5 m, a napelem 10 m hosszú.

A napszinkron pálya átlagos magassága 678 km (a Resurs-O No4 műhold pályamagassága 835 km), az inklináció 98,04°. A keringési idő 98 perc, az időfelbontás 21 napos. Az adatokat 7,68 Mbps (a Resurs-O No4 műholdon már 61,44 Mbps) sebességgel továbbítják a 8192 MHz-es frekvencián.

A Resurs-O1 fedélzetén a legfontosabb szenzorok a nagy és közepes felbontású többsávos szkennerek (MSU-E, MSU-SK) voltak, melyek mellett egyéb berendezéseket is elhelyeztek.

Az MSU-E (High-Resolution Multispectral Scanner with Electronic Scanning) berendezés egy pásztázó, nagyfelbontású, 3-csatornás elektronikus szkenner. A spektrális felbontás 0,5–0,6, 0,6–0,7 és 0,8–0,9 μm. A Resurs-O1 No3 műholdon elhelyezett MSU-E térbeli felbontása a repülési irányra merőlegesen 45 m, a repülési irányban 33 m, míg a Resurs-O No4 műhold hasonló berendezéséé 33x30 m.

A lefedett terület szélessége nadírban 45 km (Resurs-O No3), ill. 60 km (Resurs-O No4). A rálátás szöge 2°onként változtatható és a függőlegestől ±30°-kal térhet el. 30°-os rálátás esetén a lefedett terület szélessége 800 km. A műholdak fedélzetén két MSU-E berendezést helyeztek el, ezért vagy az egyik kamerával készíthető a legjobb felbontású kép, vagy a két kamerát egyszerre használva (fele olyan jó felbontással) 80 km széles területről készülhet felvétel (a két kép 10 km-es átfedésével). A műszerek tömege 2x29 kg.

Az MSU–SK berendezés egy alacsonyabb felbontású többcsatornás szkenner. A berendezéssel mérhető a földfelszín hőtartományú infravörös kisugárzása. Az állítható 600 km-es lefedésével a 21 napos időfelbontás, az Egyenlítő mentén 4 napra, magasabb szélességeken 2 napra csökkenthető.

paraméter	Resurs-O1 No3	Resurs-O1 No4
hullámsávok (µm)	0,54 - 0,59	0,5 - 0,6
	0,60 - 0,72	0,6-0,7
	0,72-0,82	0,7-0,8
	0,81 - 1,01	0,8 - 1,0
	10,35 - 11,75	10,4 - 12,6
		3,5-4,1
térbeli felbontás (m)	137 (VIS, IR)	137 (VIS, IR)
	548 (TIR)	548 (TIR)
radiometrikus felbontás (bit)	8	8
lefedett terület szélessége (km)	600	714

6.2. táblázat - A Resurs-O (No3-4) műholdak MSU-SK berendezéseinek paraméterei

A Resurs-O No4 fedélzetén megtalálható még egy-egy:

1. MR-9000M televíziós berendezés látható fény és infravörös sávokban 1,6x1,8 km-es felbontással,

2. RMK-M radiométer,

3. ISP-2 berendezés a napállandó mérésére.

A második generációs Resurs-O2 műholdakon már a módosított MSU-E1, MSU-SK és a mikrohullámú MIVZA-M berendezéseket helyezik el. Az MSU-E1 térbeli felbontása 25 m, egyéb paraméterei nem változnak. A MIVZA-M beren-dezéssel a légkör nedvességtartalma mérhető. A mikrohullámú sávok 20, 33 és 94 GHz, a térbeli felbontás 80, 55, és 20 km. A lefedett terület szélessége 1500 km. Egyéb források alapján, a következő generáción lesz egy 7-10 m-es felbontású szkenner és egy 50 m felbontású L-sávú (1.28 GHz=23 cm) SAR berendezés is.

A Resurs-O2-n helyezik el azt a speciális eszközt, amely segíti a sarkvidéki területek tengerhajózását (Resurs-Arctic Project).

A Resurs-O2 is napszinkron pályán kering, pályamagasság szintén 670 km. Az adatátvitel a mozgatható vagy rögzített kisméretű vevőállomások felé az 1,7 GHz-es frekvencián történik. A vevőállomások hajókra vagy sarki kutatóállomásokra is telepíthetők.

1.3. A RESURS-F sorozat

A Resurs-F műholdsorozat egy rövid működési idejű (18–21 nap) fényképes adatokat biztosító kémműhold sorozat, melynek bizonyos adatai hozzáférhetőek. Az elkészült fényképek (filmkazettákban) egy háromszor újra felhasználható visszatérő egységben érkeznek vissza a Földre. A repülési magasság 170 és 400 km között változik a repülés során. A program 1977-ben kezdődött és azóta több száz repülés történt. A kéthetes repülési idejű F1 sorozat műholdjain a KATE-200 és a KFA-1000 jelű kamerákat helyezték el. Az adatokat az orosz Sojuzkarta-nál, valamint német és amerikai cégeknél lehet megrendelni. A pálya nem-napszinkron, az inklináció 62,2° és 82,6° között változik.

Fedélzeti szenzorok a következők:

- KATE-200 három sávban (0,5–0,6, 0,6–0,7, 0,7–0,9 μm) készít fekete-fehér vagy spektrozonális felvételeket. A fókusztávolság 200 mm. A kép mérete 180x180 mm, a méretarány kb. 1:1000000 (változik a magasság függvényében). A térbeli felbontás 20 és 30 m közötti. A képek alkalmasak tematikus térképek készí-tésére, illetve fotogrammetriai kiértékelésre is.
- KFA-1000 kamera 300x300 mm-es spektrozonális és pankromatikus képeket készít. A méretarány 1:200000tól 1:270.000-ig változik a repülési magasságtól függően. A fókusztávolság 1000 mm, a térbeli felbontás 5– 10 m közötti. Egy filmkazettára 1800 képet lehet felvenni. A spektrális tartományok: 0,57–0,68 μm és 0,68– 0,81 μm (spektrozonális), valamint 0,5–0,7 μm (pankromatikus).
- 3. MSK-4 egy négy kamerából álló kamerarendszer. A hat lehetséges csatornából bármely négyben egyidejű képkészítés lehetséges. A spektrális sávok: 0,635–0,69, 0,81–0,90, 0,515–0,565, 0,46–0,505, 0,58–0,80 és 0,4–0,7 μm. A lefedett terület szélessége 180–270 km között változik a pályamagasságtól függően. A fókusztávolság 300 mm. A film mérete 6x8 cm. A térbeli felbontás kb. 20 m, függ a magasságtól és a film típusától. Hasonló felépítésű az MKF-6 kamera-rendszer (6.2. ábra), melynek hullámhossz-tartományai: 0,48, 0,54, 0,6, 0,66, 0,72 és 0,84 μm.

6.2. ábra - Az MKF-6 multispektrális kamerarendszer¹



2. NASA ESE (EOS) PROGRAM

Az emberiség okozta környezeti változások hatásainak megértése létfontosságú a jövőbeni folyamatok előrejelzésében. Az, hogy a földfelszín emberi átalakítása, a széndioxid-kibocsátás és egyéb folyamatok hogyan alakítják át a száraz-földeket, az óceánokat és az atmoszférát, valamint a gyors változások miként hatnak a jövő klímájának állapotára, kiemelt fontosságú minden kutató és az emberiség számára egyaránt. Az előrejelzéshez

^{&#}x27;Interkosmos: Bild der Kamera-Interkosmos: in:http://www.schulmodell.de/astronomie/raumfahrt/Interkosmos.htm

hosszútávú mérések adataira, az összegyűjtött adatokra alapozott pontos számítógépes modellekre van szükség. A NASA EOS (Earth Observing System)² nevű nemzetközi kutatási programja 3 fő komponensből áll:

- 1. globális változások vizsgálatára szánt műholdsorozatok tervezése,
- 2. az adatok feldolgozását, tárolását és terjesztését ellátó fejlett számítógépes hálózat (EOSDIS) kialakítása,
- 3. az adatok elemzését végző kutatócsoportok létrehozása szerte a világban.

Később az EOS program neve ESE (Earth Science Enterprise) lett és az EOS rövidítést ma csak a műholdprogramokra használják.

2.1. EOS TERRA program

Az EOS program keretében számos műhold felbocsátását tervezik, s külön-böző eszközrendszerek révén tanulmányozhatjuk a földi folyamatokat. A program első műholdját, a TERRA nevűt (korábbi neve AM-1), 1999. december 18-án indították el és 2000. február 24-től gyűjt adatokat.³

A program zászlóshajójának is nevezett műhold 2000. február 24-én kezdte gyűjteni az adatokat, melyek révén elkezdődött egy 15 éves globális adatgyűjtési folyamat. Jelenleg további 3 EOS műhold (AQUA, ICESat, SORCE) van pályán és még 15 újabb (többek között az AURA 2004. július 15-én) fogja követni ezeket az elkövetkezendő években.

A TERRA főbb fedélzeti rendszerei

Az **ASTER** (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) a földfelszín hőtartományú infravörös kisugárzását, továbbá a látható fény, a közeli-, és a közepes-infravörös tartományú sugárzás visszaverődését méri több sávban. A képek jó térbeli felbontásúak (15, 30, 90 m). Az amerikai és a japáni közös tervezésű multispektrális, 14-sávú berendezés által lefedett terület szélessége 60 km. A TERRA egyéb műszereivel ellentétben az ASTER nem folyamatos működésű, egy keringés alatt mindössze 8 percig gyűjthet adatokat. A berendezés teleszkópjai oldalirányban mozgathatók, ezért sztereoképek is előállíthatók, illetve lehetőség van kiválasztott területek többszöri fedésére is.⁴

alrendszer	sáv sorszám	spektrális tartomány (µm)	abszolút pontosság	térbeli felbontás (m)
VNIR	1	0,52-0,60	< ± 4%	15
	2	0,63-0,69		
	3N	0,78-0,86		
	3B	0,78-0,86		
SWIR	4	1,60-1,70	<±4%	30
	5	2,145-2,185		
	6	2,185-2,225		
	7	2,235-2,285		

6.3. táblázat - Az ASTER spektrális sávjai, pontosság és térbeli felbontás

² NASA GODDARD Space Flight Center – The Earth Observation System - in:http://eospso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/index.php

³ NASA GSFC: TERRA The EOS Flagship – in:http://terra.nasa.gov/

⁴ NASA GSFC, EOS Instruments - in: http://eospso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/instruments/

		111.		
	8	2,295-2,365		
	9	2,360-2,430		
TIR	10	8,125-8,475	≤ 3K (200-240K)	90
			≤ 2K (240-270K)	
			≤ 1K (270-340K)	
			≤ 2K (340-370K)	
	11	8,475-8,825		
	12	8,925-9,275		
	13	10,25-10,95		
	14	10,95-11,65		

A **CERES** (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) az EOS program egyik kulcsfontosságú berendezése. A berendezés a légkör radiometrikus sajátosságait méri három széles sávban. A CERES a NASA 1984-90 között működött ERBS (Earth Radiation Budget Satellite,) nevű és a NOAA poláris pályán keringő meteorológiai műholdjain (a NOAA-9-en és a NOAA-10-en) elhelyezett ERBE (Earth Radiation Budget Experiment) nevű berendezés továbbfejlesztett változata.

Az első CERES berendezést Japánból (1997. november 28-án) indították el a trópusi csapadék mérését végző program (TRMM - Tropical Rainfall Measurement Mission) keretében).

Két CERES berendezés van a TERRA-n, további két CERES-t helyeztek el a 2002. május 4-én indított AQUA műholdon, szintén az EOS program keretében.

A CERES berendezésekkel a Föld teljes sugárzásháztartását mérik, valamint azt vizsgálják, hogy a felhők milyen szerepet játszanak a felszín és az atmoszféra felső része között végbemenő radiatív fluxusban. Az egyik CERES berendezés a repülési irányra merőlegesen pásztáz (cross-track scanning), a másik berendezés kétirányú pásztázó módban üzemel (biaxial scan mode). Az előbbi folytatja az ERBE és a TRMM programokban megkezdett méréseket, míg a kétirányú pásztázási módtól olyan eredményeket várnak, melyek növelik a földi sugárzási egyenleg leírására szolgáló modellek pontosságát.

A földi klíma folyamatait, az éghajlat változásának okait szeretnénk jobban megérteni. Ehhez fontos adalékul szolgálhat, ha megvizsgáljuk, hogy természetes körülmények között a napsugárzás miként szóródik különböző irányokban és mekkora a szóródó energia nagysága. A legtöbb műhold berendezése merőlegesen irányul a Föld felé, az MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer) viszont kameráival 9 különböző irányba tekint. Egy kamera nadír irányban áll, a többi előre, ill. hátra mutatva 26,1°, 45,6°, 60° és 70,5°-os szögben. Az áthaladás során bármely területről ilyen irányokból készül kép mind a négy hullámsávban (kék, zöld, vörös, közeli infravörös). A szóródás mérése mellett a felvételek lehetőséget adnak még a különböző felhőtípusok megkülönböztetésére, az aeroszol vizsgálatára. Havi, évszakos és hosszabb időtartamú változásfolyamatok megfigyelése lehetséges, pl.:

1. a természetes és az antropogén eredetű légköri aeroszol mennyiségének és típusának változása,

- 2. a felhők magasságának, típusainak és mennyiségének változása,
- 3. a felszínborítás változása, vegetáció változása.

A **MODIS** (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) a NOAA poláris pályán keringő meteorológiai műholdjain működő AVHRR szenzor utódjának tekinthető. A lefedett terület szélessége 2330 km. A Föld felszínéről 1–2 naponta teljes lefedést lehet készíteni mind a 36 spektrális sávban. 21 sáv található a 0,4–3,0 µm-es, 15 sáv a 3–14,5 µm-es spektrális tartományban. A térbeli felbontás 250 m (2 sávban), 500 m (5 sávban) és

1000 m (29 sávban). Naponta mérhető a földfelszín felhőfedettsége (%-ban kifejezve). A MODIS széles térbeli fedése, valamint a MISR és a CERES berendezések már bemutatott tulajdonságai révén, megérthetjük milyen szerepet játszanak a felhők és a légköri aeroszolok a Föld energiaháztartásában. Egy másik MODIS berendezést helyeztek el az AQUA műholdon.

A **MOPITT** (Measurements of Pollution in the Troposphere) az első olyan műholdon elhelyezett szenzor, mely a gázkorrelációs spektroszkópia elvén működik. A szenzor a Föld által kisugárzott és reflektált energiát méri 3 spektrális sávban. A MOPITT a troposzféra szénmonoxid és metán koncentrációját méri. A CO esetében a vízszintes felbontás 22 km, a függőleges 4 km, a pontosság 10 %. A metán esetében hasonló térbeli felbontás mellett a mérés pontossága 1 %. A metán mérése csak a Föld napsütötte oldalán lehetséges. A berendezést a Kanadai Űrügynökség (Canadian Space Agency) készítette.

2.2. EOS AQUA program (EOS-PM)

Az EOS AQUA program második tagja az AQUA műhold, melyet 2002. május 4-én indítottak útjára a kaliforniai Vandenberg Légibázisról. Az alacsony magasságú, közel-poláris pályán keringő műholdon 6 műszert helyeztek el. A műhold kézikönyve elérhető a NASA honlapjáról.

Az AQUA fedélzeti berendezései

Az AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) fejlett infravörös szonda, egy összetett berendezés, mellyel az atmoszféra hőmérsékleti profilja állítható elő, valamint további, a Földre és az atmoszférára vonatkozó termékek készíthetők. Az AIRS az AIRS/AMSA-A/HSB műszeregyüttes legfontosabb eleme, a hőmérséklet-mérés mellett alkalmas az atmoszféra nedvességtartalmának meghatározására is. Az infravörös szonda vízszintes felbontása nadírban 13,5 km, függőlegesen 1 km. A műszer a felszín reflektanciáját a 0,4–1,0 μ m-es, valamint annak kisugárzását méri a 3,7–15,4 μ m-es tartományban. A spektrális sávok száma az infravörös tartományban 2378, míg a láthatófény és a közeli infravörös tartományban 4 sávban folyik mérés. A vizsgált terület szélessége 1650 km (AFOV ± 49,5°).⁵

Az AQUA AIRS szenzor által mért légköri CO₂ változást mutatja be a csatolt video.

1 Az AQUA AIRS szenzor által mért légköri CO₂ változás videofelvételen

Az AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) az EOS program részére fejlesztett 12csatornás, 6-frekvenciás passzív mikrohullámú ra-diométer. A műszer a földfelszín mikrohullámú kisugárzását méri. A frekven-ciasávok a következők: 6,925, 10,65, 18,7, 23,8, 36,5, és 89,0 GHz, minden sávban függőleges és vízszintes polarizáltságú mérések végezhetők. A térbeli felbontás sávonként változik: 6x4 km (89,0 GHz), 14x8 km (36,5 GHz), 32x18 km (23,8 GHz), 27x16 km (18,7 GHz), 51x29 km (10,65 GHz), 75x43 km (6,925 GHz). A vizsgált terület szélessége 1445 km.

Az AMSU-A A (Advanced Microwave Sounding Unit) egy fejlett 15-csatornás mikrohullámú szonda, mellyel az atmoszféra hőmérsékleti profilja vizs-gálható a földfelszíntől a troposzféra felső részéig, esetleg a sztratoszféra alsó részéig, kb. 40 km-es magasságig. Az első AMSU berendezést a NOAA-15 műholdon helyezték el. A 15 csatorna a 15-90 GHz-es tartományban található, a térbeli felbontás nadírban 40 km vízszintesen. A vizsgált terület szélessége 1650 km (AFOV \pm 49,5°).

A HSB (Humidity Sounder for Brazil) egy 4-csatornás mikrohullámú szonda, mellyel az atmoszféra nedvességtartalma mérhető. A csatornák közül egy frekvenciája 150, háromé 183 GHz-es. A vizsgált terület szélessége 1650 km, a térbeli felbontás nadírban 13,5 km.

A MODIS és a CERES berendezések megegyeznek a TERRA műholdon elhelyezett, azonos nevű berendezésekkel.

2.3. EOS ICESat műholdprogram

A 2003. január 12-én elindított ICESat műhold 2010-ig több (15) periódusban mérte a sarki jégtakarók tömegét. 2010. februárjában a fő mérőberendezés meghibásodása miatt a műhold befejezte tevékenységét, és darabja

⁵ http://aqua.nasa.gov/instruments.html

2010. augusztus végén a Barents-tengerbe zuhantak. A NASA elkezdte az ICESat-2 fejlesztését, a felbocsátás 2015-ben várható. ⁶ A műhold inklinációja 94°, a pályamagasság 590 km.

Ezen a műholdon helyeztek el először lidar berendezést. A GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) nevű lidar folyamatos megfigyelést végzett, mellyel nemcsak a földi jégsapkák topográfiáját mérte, hanem a felhők magasságát és vastagságát is.⁷

A GLAS a távolság mérésére szolgáló lidarból, egy GPS-ből és egy pályamagasságot meghatározó rendszerből áll. A lézer 4 nsec-onként impulzusokat bocsát a Föld felé az infravörös (λ =1,064 µm) és a látható fény zöld (λ = 0,532 µm) tartományában. A visszaverődő fotonokat egy 1 m átmérőjű teleszkóp gyűjti.

2.4. EOS SORCE műholdprogram

Az 2003. január 25-én elindított SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment) műhold berendezései a beérkező röntgen-, ultraibolya, látható fény, közeli-infravörös és a teljes napsugárzást mérik.⁸ A teljes napsugárzás (TSI – Total Solar Irradiance) és a Napból érkező különböző hullámhosszú sugárzás mérésére 4 berendezés szolgál:

- 1. TIM (Total Irradiance Monitor),
- 2. SOLSTICE (Solar Stellar Irradiance Comparison Experiment),
- 3. SIM (Spectral Irradiance Monitor),
- 4. XPS (XUV Photometer System).

2.5. EOS AURA műholdprogram (EOS-CHEM)

Az EOS program harmadik nagyobb tagja (a TERRA és az AQUA után) az AURA nevű műhold.⁹ A műhold feladata, hogy vizsgálja a Föld alsó- és felsőlégkörének összetételét, kémiai tulajdonságait és dinamikáját. A program követi a NASA azon kutatási programját, mely az UARS (Upper Atmospheric Research Satellite) műholdprogrammal kezdődött és a Nimbus műholdakon elhelyezett TOMS – légköri ózonmérő – berendezésekkel folytatódott. A műhold főbb berendezései a HIRDLS (High Resolution Dynamics Limb Sounder), az MLS (Microwave Limb Sounder), az OMI (Ozone Monitoring Instrument) és a TES (Tropospheric Emission Spectrometer).

A műhold indítása 2004. július 15-én volt.¹⁰ A napszinkron pálya magassága 705 km, a műhold felszálló pályán 13 óra 45 perckor halad át az Egyenlítő fölött. Várható élettartama 5 év.

3. AZ IRS (INDIAI) TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDSOROZAT

Az indiai földi erőforráskutató műholdak 1988 óta folyamatosan, megbízhatóan működnek és az egyre javuló térbeli felbontás révén nagy szerepük lehet az akadozó Landsat program helyettesítésében. Az adatok a kiépített SPOT és LANDSAT vevőállomásokon is rögzíthetők, ezért nincs akadálya a világméretű terjesztésnek.

3.1. IRS-1A műhold

Az IRS-1A (Indian Remote Sensing Satellite) indiai távérzékelési műholdat 1988. március 17-én bocsátották fel nemzetközi együttműködés keretében. A 3-tengely mentén stabilizált műhold napszinkron pályán kering átlagosan 904 km-es magasságban. A pálya hajlásszöge 99,5°, periódus ideje 103,2 perc, a pálya-ismétlődés 22 nap, az egyenlítői metszés ideje 9 óra 40 perc.

Az IRS-1A műhold szenzorai

8 LASP Univ of Colorado, Boulder - in:http://lasp.colorado.edu/sorce/

⁶ http://icesat.gsfc.nasa.gov/

⁷ http://eospso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/instruments/GLAS.php

⁹ http://eos-chem.gsfc.nasa.gov/project/index.html

¹⁰ http://poes.gsfc.nasa.gov/history/history_home.htm - VAFB LAUNCH SCHEDULE

Az IRS-1A fedélzetén helyezték el a LISS (Linear Imaging Self-Scanning Sensor) – lineáris pásztázó képalkotó szenzort, amely két, LISS-I és LISS-II nevű, multispektrális kamerából (CCD sordetektoros) áll. Az első rendszer felbontása 73 m, míg a másodiké 36,25 m. Mindkét kamera ugyanazt a területet pásztázza. A lefedett terület szélessége a LISS-I rendszernél 148 km, a LISS-II esetében 2 x 74 km. A négy sávos berendezés radiometrikus felbontása 7 bit.

Az IRS-1A adatait Indiában és a nemzetközi piacon az ISRO NRSA (Indian Space Research Organization National Remote Sensing Agency) adatközpontja (Hyderabad) terjeszti. Ezek az adatok együtt alkalmazhatók a Landsat és SPOT adatokkal.

hullámhossz	térbeli felbontás (m)	radiometrikus	
(µm)		felbontás (bit)	
LISS-I	LISS-II		
0,45 – 0,52 (kék)	73	36,25	7
0,52 – 0,59 (zöld)	73	36,25	7
0,62 – 0,68 (vörös)	73	36,25	7
0,77 – 0,86 (NIR)	73	36,25	7

6.4. táblázat - Az IRS-1A LISS szenzorának jellemző adatai^a

^a NRSA Satellites – in:http://www.nrsa.gov.in/engnrsa/satellites/liss1.html

3.2. Az IRS-1B műhold

Az IRS-1B műhold 1991. augusztus 29-én követte elődjét az IRS-1A műholdat, amely felbocsátása óta folyamatosan működik. Az IRS-1B műszerei teljesen hasonlóak az IRS-1A műszereihez. A műhold össztömege 975 kg. A pálya közel poláris, az átlagos pályamagasság 900 km, a hajlásszög 99,5°, a periódusidő 103 perc, a pályaismétlődés 22 nap, az egyenlítői metszés ideje leszálló pályán 9 óra 40 perc. Fedélzeti rendszere, a LISS (LISS-I, II) megegyezik az IRS-1A műhold hasonló berendezésével.

3.3. Az IRS-1C/1D második generációs műholdak

Az IRS program folytatásában megépültek a második generáció tagjai, az IRS-1C/1D műholdak. A pálya közelpoláris és napszinkron, az egyenlítői metszés ideje leszálló pályán 10 óra 30 perc mindkét műhold esetében.

6.5. táblázat - Az IRS-1C és 1D műholdak pályasajátosságai

	IRS-1C	IRS-1D
felbocsátás ideje	1995.12.24.	1997.09.29.
műhold tömege (kg)	1250	1200
pályamagasság (km)	817	780
inklináció (°)	98,69	90,53
sebesség (km/s)	6,65	6,72
keringési idő (perc)	101	101

egyenlítői metszés	10 óra 30 perc	10 óra 30 perc
leszálló pályán		

A fedélzetükre finomabb térbeli és spektrális felbontású szenzorok, pásztázó üzemmódú kamerarendszerek kerültek egy fedélzeti adatrögzítővel együtt:

- a PAN (pankromatikus) kamera a 0,5–0,75 μm sávban készít nagyfelbontású, 6 bites radiometrikus felbontású, fekete-fehér képeket. A térbeli felbontás kisebb mint 10 m, esetleg 5 m is lehet. Az állítható tükörállás miatt, a 24 napos pályaismétlődés mellett, 5 naponként újrapásztázható a vizsgált terület,
- 2. a LISS-III pásztázó multispektrális kamera folyamatosan készít képeket, elsősorban a földi erőforrások (talaj és vízfelszínek) kutatását segíti (6.3. ábra),
- 3. a WiFS (Wide Field Sensor), széles területi lefedésű kamera a vegetációs index gyors számítását teszi lehetővé.

6.6. táblázat - Az IRS-1C/1D műhold szenzorainak jellemző adatai ^a

	PAN	LISS-III	WiFS
spektrális sávok (µm)	0,5 - 0,75	0,52 - 0,59	0,62 - 0,68
		0,62 - 0,68	0,77 - 0,86
		0,77 - 0,86	
		1,55 – 1,75	
térbeli felbontás (m)	5,8	23,5	188
átmintázás után (m)	5	20	180
lefedett terület (km)	70,5	127-142	728-812
radiometrikus felbontás (bit)	6	7	7
pályaismétlődés (nap)	24 /5	24	5
oldalra tekintés szöge (°)	26	-	-
adatgyűjtés sebessége (Mbps)	84,9	42,45	2

6.3. ábra - A LISS-III és a PAN kamera képeinek kapcsolata 11

¹¹ Eurimage Producst and Services – in:http://www.eurimage.com/products/docs/irs.pdf



3.4. Az IRS-1E műhold

A technikai kísérlet keretében felbocsátott IRS-1E műhold poláris pályán kering 904 km-es magasságban, a periódusidő 103 perc, az időfelbontás 22 nap. Az IRS-1E LISS-I szenzora teljesen megeyezik az IRS-1A műholdon lévő LISS berendezéssel. Másik műszere a MEOSS nevű pásztázó sztereoszkenner, mely a 0,57–0,7 µm-es sávban készít sztereoképeket 50x158 m-es térbeli felbontással. A lefedett terület szélessége 510 km, a radiometrikus felbontás 8 bit. A képek jól alkalmazhatók a domborzat térképezésében, a geológiai formációk elemzésében, hó/jég vizsgálatban, a meteorológiában, stb.

3.5. Az IRS-P3 műhold

Az IRS-P3 műholdat az indiai Sriharikota-ból indították, fedélzetén egy röntgen sugárzásmérő csillagászati berendezéssel, valamint egy WiFS és egy MOS (Modular Optoelectronics Scanner) szenzorral. A küldetés elsőd-leges célja az óceánok megfigyelése volt.¹²

A WiFS szenzor hasonlít az IRS-1C WiFS szenzorához, de kiegészítették egy közepes-infravörös sávval (1,55– 1,69 μm). A WiFS által lefedett terület szélessége 770 km, a térbeli felbontás 188x188 m (vörös és közeliinfravörös sávban), valamint 188x246 m a közepes-infravörös sávban.

	MOS - A	MOS - B	MOS - C
felbontás (m)	1569x1395	523x523	523x644
lefedett terület (km)	195	200	192

6.7.	táblázat -	Az IRS-P3	műhold MOS	szenzorának	tulaidonságai
0.7.	<i>uninzat</i>		munora mos	Show and the state of the state	unujuonsugui

¹² NRSA Satellites – in:http://www.nrsa.gov.in/engnrsa/satellites/irsp3.html

111.			
időfelbontás (nap)	24	24	24
spektrális sávok (μm)	0,755–0,768	0,408–1,01	1,5–1,7

3.6. Az IRS-P4 (Oceansat)

Az IRS-P4 (Oceansat) az első indiai óceánkutató műhold. Az 1050 kg induló tömegű műhold közel-poláris, napszinkron pályán kering, fedélzetén két különböző szenzorral. Felbocsátása 1999. május 26-án történt.¹³

6.8. táblázat - Az IRS-P4 műszaki adatai

pálya	napszinkron, közel poláris
pálya magassága (km)	720
inklináció (°)	98,28
keringés ideje (perc)	99,31
egyenlítői áthaladás ideje (óra)	12
időfelbontás (nap)	2
fizikai méret (m)	2,8 x 1,98 x 2,57
induló tömeg (kg)	1050
stabilizálás	3-tengely mentén
tervezett időtartam (év)	5

Az OCM (Ocean Colour Monitor) berendezéssel a tengervíz klorofil-tartalmát, a phytoplankton mennyiségét, a légköri aeroszolokat és a vízben leülepedő hordalékot kívánják vizsgálni. Az OCM által lefedett terület szélessége1420 km, a geometriai felbontás 360x236 m, a radiometrikus felbontás12 bit. A spektrális sávok a 0,402–0,422, 0,433–0,453, 0,48–0,50, 0,50–0,52, 0,545–0,565, 0,66–0,68, 0,745–0,785, 0,845–0,885 μm-es tartományba esnek.

Az MSMR (Multifrequency Scanning Microwave Radiometer) 4-frekvenciás radiométer, mellyel a tengerfelszín hőmérsékletét, az óceánok felett a szélsebességet, a szél irányát, a felhők víz- és vízgőztartalmát lehet mérni.

6.9. táblázat - Az IRS-P4 MSMR szenzorának adatai

frekvencia(GHz)	6,6, 10,65, 18 és 21
polarizáció	minden frekvencián H és V
lefedett terület szélessége (km)	1360
felbontás (km)	120, 80, 40 és 40

3.7. Az IRS-P5 (Cartosat-1) műhold

¹³ NRSA Satellites – in:http://www.nrsa.gov.in/engnrsa/satellites/irsp4.html

Az IRS-1C és 1D műholdakon található pankromatikus szenzor 5,8 m-es geometria felbontása, sztereoképkészítési lehetősége, valamint rövid időfelbontása számos térképészeti alkalmazást tett már eddig is lehetővé. Az ennél jobb geometriai felbontást igénylő alkalmazások tették szükségessé egy 2,5 m-es felbontású rendszer megépítését. Ilyen pankromatikus kamerákkal szerelik fel az IRS-P5 műholdat (másnéven Cartosat-1).¹⁴

A két pankromatikus kamera közül az előre tekintő iránya 26°-kal, a hátra tekintőé 5°-kal tér el a nadírtól. A felhasználó igényétől függően készítenek mono- vagy sztereoképeket a pálya mentén. A kamerák oldalirányban is képesek felvételezni, így az ismételt fedések közötti idő mindössze 5 nap. Az adatokat nagy tárolókapacitású berendezésen rögzíthetik, így a képi információk később is a földi fogadóállomásokra sugározhatók.

3.8. Az IRS-P6 (RESOURCESAT-1) műhold

Az IRS-P6 az ISRO által épített IRS sorozat 10., legfejlettebb tagja. A 3-tengely mentén stabilizált műhold tömege 1360 kg, a pálya napszinkron, magassága 817 km, az inklináció 98,7°, egyenlítői metszés ideje 10 óra 30 perc. Indítása 2003. október 10-én volt, tervezett élettartama 5 év.¹⁵

Az IRS-P6 3 kamerát hordoz, hasonlóan az IRS-1C/1D műholdakhoz. A LISS-4 térbeli felbontása 5,8 m a látható fény és a közeli-infravörös tartományban (VNIR). A szenzor a műholdpályára merőlegesen, oldalirányban ±26°-os szög alatt tud sztereofelvételeket készíteni, ezáltal az időfelbontás 5 nap is lehet. A közepes felbontású LISS-3 továbbra is 4 spektrális tartományban üzemel, 3 közülük a VNIR tartományban, 1 az SWIR tartományban van, a térbeli felbontás 23,5 m. A továbbfejlesztett WiFS szenzor neve AWiFS (Advanced Wide Field Sensor) szintén 4 spektrális sávval rendelkezik (3 sáv VNIR, 1 sáv SWIR) és 56 m-es felbontású képeket készít. Az adattároló kapacitása 120 Gbit. ¹⁶

	LISS-4	LISS-3	AWiFS
térbeli felbontás (m)	5,8	23,5	56
lefedett terület (km)	23,9 (multispektrális)	141	740
	70,3 (pankromatikus)		
spektrális sávok (µm)	0,52 - 0,59	0,52 - 0,59	0,52 - 0,59
	0,62 - 0,68	0,62 - 0,68	0,62 - 0,68
	0,77 – 0,86	0,77 – 0,86	0,77 – 0,86
		1,55 – 1,70	1,55 – 1,70
radiometrikus felbontás (bit)	7	7	10

6.10. táblázat - Az IRS-P6 műhold képkészítő szenzorainak tulajdonságai

3.9. Indiai erőforráskutató műholdak 2005 után

Az indiai űrprogram nagyon sikeres volt a XXI. sz. első évtizedében. A műholdak neveit, pályára állításuk dátumát és a névre kattintva az ISRO honlapjára juthatunk a további részletekért.

6.11. táblázat - Az ISRO működésben lévő műholdjai 2013 júniusában

műhold neve	felbocsátás ideje
SARAL	2013. Feb. 25.

¹⁴ FAS, World Space Guide – in: http://www.fas.org/spp/guide/india/earth/cartosat.htm

¹⁵ http://www.isro.org/pslvc5/index.html

¹⁶ NRSA IRS-P6 Data User Manual -in:http://www.nrsa.gov.in/engnrsa/p6book/index.htm

111.			
műhold neve	felbocsátás ideje		
RISAT-1	2012. Ápr. 26.		
Megha-Tropiques	2011. Okt. 12.		
RESOURCESAT-2	2011. Ápr. 20.		
CARTOSAT-2B	2010. Júl. 12.		
OCEANSAT-2	2009. Szept. 23.		
RISAT-2	2009. Ápr. 20.		
CARTOSAT-2A	2008. Ápr. 28.		
CARTOSAT - 2	2007. Jan. 10.		
CARTOSAT-1	2005. Máj. 05.		
RESOURCESAT-1	2003. Okt. 17.		

4. AZ ADEOS MŰHOLDAK

4.1. Az ADEOS-II (Midori-II) műhold

Az ADEOS-II program célja, hogy a rövid életű ADEOS-I program után Japán jobban bekapcsolódjon a globális klímaváltozás hatásait vizsgáló nemzet-közi kutatóprogramokba (pl. IGBP – International Geosphere and Biosphere Research Programme), s ezekhez adatokat gyűjtsön, valamint meteorológiai és halászati alkalmazásokhoz nyújtson segítséget.

A műholdon elhelyezett két legfontosabb műszer, az AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) és a GLI (Global Imager) mellett megtalálható még a SeaWinds, a POLDER és az ILAS-II nevű berendezés is.

Az ADEOS-II a legnagyobb méretű japáni műhold (4x4x5 m) induló tömege 3680 kg, napelemszárnyai 11x29 m-esek, melyek 5000 W energiát biztosítanak.

A műhold indítása 2002. december 14-én sikeresen megtörtént, de mindössze 10 hónapos működés után (2003. október 25-én) az elektromos teljesítmény lecsökkent és a kommunikáció megszakadt. A Japán Űrügynökség (új nevén JAXA) szakemberei keresik a hiba okát, mely egyike lehet a 2003. októberében megerősödő napfolttevékenység is.¹⁷

Az ADEOS-II berendezései

Az AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) feladata a vízgőz, a csapadék, a tengerfelszín hőmérsékletének, a tengerfelszín közeli szelek, a tengerjég, stb. mérése, vizsgálata.¹⁸ A mikrohullámú radiométer 8 frekvencia-tartományban (6,9–89 GHz között) végez méréseket, mindegyik sávban (kivéve 50 GHz-en) 2-féle polarizáltságú hullámokkal. Az antenna átmérője 2 m, mely az eddigi legnagyobb ilyen típusú antenna, a térbeli felbontás 89 GHz-en 5 km, 6,9 GHz-en 60 km, a lefedett terület szélessége 1600 km.

A műszer által mérhető paraméterek a következők:

- 1. az óceán fölötti légrétegek és felhők összes víztartalma,
- 2. a csapadék, és hómennyiség, talajnedvesség,
- 3. tengerfelszín hőmérséklete és a felszínközeli szél sebessége,
- 4. tengeri jég eloszlása.

A GLI (Global Imager) egy optikai szenzor, mely a földfelszínről visszavert napsugárzást érzékeli 36 spektrális sávban (23 sáv a látható fény és a közeli infravörös, 6 sáv a közepes infravörös és 7 sáv a termális infravörös tartományban). A térbeli felbontás nadírban 1 km (néhány sávban 250 m), a lefedett terület szélessége 1600 km. Számos olyan sávtartományban is érzékel, melyben korábban nem folyt mérés, pl. 0,38 μm (UV), 0,76 μm

¹⁷ forrás: http://www.urvilag.hu/article.php?id=518

¹⁸ NASDA ADEOS-II sensors – in:http://adeos2.hq.nasda.go.jp/sensor_e.htm
(oxigén elnyelési sáv), 1,4 μm (vízgőzelnyelési sáv). A GLI az ADEOS-I-en elhelyezett OCTS (Ocean Colour and Temperature Scanner) berendezés utódja. Feladatai közé tartozik: a szárazföldek, óceánok, felhők vizsgálata, valamint az infravörös sugárzás, felszíni hőmérséklet, vegetációborítás, jégeloszlás mérése, meghatározása.

Az ILAS-II (Improved Limb Atmospheric Spectrometer–II) nevű szenzor a magasabb szélességek fölötti sztratoszférikus ózonréteget vizsgálja, méri a CFC anyagok emisszióját. A spektrométer a Napot használja fényforrásként. A napsugarak a troposzféra felső részében és a sztratoszférában lévő ózon mennyiségétől függően elnyelődnek. A napsugarak légkörön kívül és a légkörön történő áthaladás utáni spektrumát összehasonlítva lehet az ózon mennyiségére következtetni. A spektrométer spektrális tartományai: 0,753–0,784 és 3–13 μm közé esnek.

A SeaWinds szkatterométer a NASA fejlesztése, a tengerfelszínről visszavert mikrohullámú sugárzást érzékeli, ebből következően a tengerfelszín felett fújó szelek sebessége és iránya mérhető.

A POLDER berendezés (Polarization and Directionality of the Earth Reflectance) a légköri aeroszolokról, a felhőkről, az óceán és a földfelszín által visszavert napsugárzást méri. A 2-dimenziós CCD-s berendezés (a CNES terméke) látószögmezeje 86°x102°, a felbontás 7x6 km. A szenzor spektrális tartományai: 0,443, 0,49, 0,564, 0,67, 0,763, 0,765, 0,865 és 0,91 µm.

5. ORBVIEW PROGRAM MŰHOLDJAI

5.1. Az Orbview-1 műhold

Az Orbview az első kereskedelmi jellegű képkészítő műhold. A sorozat első műholdját 1995. áprilisában indították útjára. A 740 km-es magas-ságban keringő műhold fedélzetén 2 atmoszférakutató berendezést helyeztek el, melyek a meteorológiai előrejelzések készítéséhez szolgáltattak képi informá-ciókat. Az 1-csatornás (0,777 µm) képkészítő rendszer térbeli felbontása 10 km-es volt. Az 1300 km széles lefedett terület és a 70°-os inklináció révén kétnaponta globális lefedést lehetett elérni. A műhold már befejezte tevékenységét.

5.2. Az Orbview-2 (SeaStar) műhold

Az OSC (Orbital Sciences Corporation) által épített SeaStar műhold (a SeaWiFS szenzort a Hughes Santa Barbara Research Center fejlesztette ki) nevét a pályára állítás után OrbView-2-re módosították és az irányítás az OSC-ből kiváló ORBIMAGE nevű társasághoz került. Az OrbView-2 pályája napszinkron, a pályamagasság 705 km, a műhold helyi idő szerint 12 óra 20 perckor halad át az Egyenlítő fölött leszálló pályáján. A műholdat 1997. augusztus 1-én állították pályára a tervezett élettartam 7,5 év. A műholdon csak a SeaWiFS berendezés végez tudományos méréseket. A SeaWiFS projekt a NASA ESE (Earth Science Enterprise) program része.

SeaWiFS berendezés

A multispektrális képkészítő rendszer (SeaWiFS) naponta teljes lefedést biztosított a Föld teljes felületére. A berendezés 8-csatornás, 6 sáv a látható fény, 2 sáv a közeli-infravörös tartományba esik.¹⁹

A képeket valós időben lehetett rögzíteni a HRTP típusú földi állomásokon, pl. a Goddard Űrközpontban (GSFC – Goddard Space Flight Center, USA), globális (GAC) és lokális (LAC) jellegű, rögzített adatokat a GSFC-n kívül, pl. az ORBIMAGE központjába is továbbítani lehet.

6.12. táblázat - A SeaWiFS szenzor spektrális tartományai

sáv	hullámhossz (µm)
1	0,402-0,422
2	0,433-0,453

¹⁹ NASA GSFC SeaWIFS Project – in:http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html

11	1.
3	0,480-0,500
4	0,500-0,520
5	0,545-0,565
6	0,660-0,680
7	0,745-0,785
8	0,845-0,885

A műholdas adatokból az óceánra vonatkozó standard globális színtérképet állítanak elő. A standard terméket a GSFC EOS adat és információs rendszerének (EOSDIS) szolgáltató központjába (DAAC) továbbítják, mely a SeaWiFS adatok archiválását végzi, valamint terjeszti azokat a tudományos kutatók részére.

A SeaWiFS működtetése során szerzett tapasztalatokat felhasználták a MODIS berendezés fejlesztésekor, másrészt segítik a jövőbeni NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System) programban szereplő VIIRS (Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite) fejlesztését.

A SeaWiFS egy optikai szkennerből és egy elektronikai modulból áll (6.4. ábra). A térbeli felbontás 1,1 km (LAC módban) vagy 4,5 km (GAC módban), a lefedett terület szélessége 2801 km (LAC/HRPT módban) vagy 1502 km (GAC módban). Az ismételt lefedések közötti idő 1 nap, a radiometrikus felbontás 10 bit.

6.4. ábra - A SeaWiFS berendezés²⁰



A tengerek színe (biooptikai tulajdonsága) a SeaWiFS berendezéssel nagy pontossággal mérhető. A szín változásai összefüggésben vannak a tengeri fitoplankton mennyiségével és típusával, melyek pigmentjei klorofilt tartalmaznak. A fitoplankton mennyisége nagymértékben befolyásolja a globális biogeokémiai folyamatokat. Az elsődleges termelők, mint az algák és bizonyos baktériumok, melyek a tápláléklánc alsó szintjén helyezkednek el, a napsugárzásból vagy kémiai folyamatokból származó energiát használják fel. A tengeri

²⁰ http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/SEASTAR/seawifs_bench.gif

növények hasonló mennyiségben kötik meg a légköri széndioxidot, mint a szárazföldi növények. A SeaWiFS szenzor a CZCS szenzor utódaként kétnaponta képes globális fedést biztosítani, ezáltal megérthető lesz, hogy óceánok milyen szerepet töltenek be a szén globális körforgásában és vizsgálható, hogy hogyan zajlik az óceánok és a légkör között bizonyos kritikus elemek és gázok kicserélődése.

6. RAPIDEYE PROGRAM

6.1. Műholdak, berendezések

A RapidEye űzleti koncepciója 1996-ban született meg a Kayser-Threde GmbH cégen belül Müchenben a DLR (German Aerospace Center) felhívása alapján. A koncepció lényege, hogy miként lehet kialakítani egy keredkedelmi jellegű műholdas földmegfigyelő rendszert. Az 5 db RapidEye műholdat 2008-ra sikerült felépíteni és 2008. august 29-én indították el őket az oroszországi Bajkonúrból. 2013 januárjától a RapidEye központja Berlinben található.

Mindegyik műhold kisebb mint 1 m³ és súlyuk nem éri el a 150 kg-ot. A képalkotó rendszer adatait a fedélzeti digitális rögzítőn tárolják, majd a Földra sugározzák, amikor a műhold a földi fogadóállomás (Svalbard, Norvégia) vételi körzetében halad át. A képalkotó berendezés egy Jena-Optronik nevű Jena Spaceborne Scanner JSS 56 típusú multispektrális szenzor. Minden műholdon ilyen berendezés van, mely 5 sávban gyűjt adatokat, ezek a látható fény 3 sávja (kék, zöld, vörös- 440 – 510, 520 – 590, 630 – 685 nm), a látható fény és a közeli infravörös közötti (690 – 730 nm) átmeneti sáv (Red Edge) és a közeli infravörös sáv (760 – 850 nm). A RapidEye műholdak az első olyan kereskedelmi műholdak, melyek a Red Edge sávbn is érzkelnek. Ez a sáv különösen fontos a földmegfigyyelésben, hiszen ebben mérhető elsősorban a növényzet klorofiltartalma, s ezáltal vizsgálható a növények egészségi állpota, elkülöníthetők egyes fajok, és mérhető a biomassza protein és a nitrogénttartalma.

A műholdak napszinkron pályán keringenek 630 km-es magasságban. Az Egyenlítő felett helyi idő szerint 11 órakor haladnak át a leszálló pályájukon. Az inklináció 97,8 fok, a keringési idő 96,7 perc/fordulat.

A sávbenti pásztázó rendszer radiometrikus felbontása 12 bit, a névleges térbeli felbontás 6,5 m nadírban, melyet az ortokorrigált termék esetén 5 m-es felbontásra javítanak. A lefedett terület szélessége 77 km, és a fedélzeti rendszer 1500 km hosszú terület adatait tudja tárolni. Az ismételt fedés ideje 20 foknál kisebb off-nadír pozíció mellett 1 nap, nadír pozíció esetén 5,5 nap. A rendszer naponta kb. 5 millió km²-es területről tud képet készíteni.

A 2009. februárja óta rögzített képeket az EyeFind[™] nevű keresőrendszeren keresztül találhatjuk meg web-es felületen. 3 fő termék közül válaszhat a felhasználó: alaptermék (Level 1B), az ortokorrigált űrfelvétel (Level 3A) és a mozaik (Level 3M).

6.5. ábra - A RapidEye felvételk keresése az EyeFind™ felületén

EyeFind	Radieve Notes and the second
Session Querry Resultant Laver Help About/Import Basic Parameters Sessional search Start Date: End Date: 2013-07-26 2013-08-25 3 Coud Cover: Black fit: 20 20 Plevel 3A Products Clevel 1B Products	Notice Michalove Preventza Slovensko Preventza Slovensko Preventza Slovensko Preventza Slovensko Notice Michalove Derecki W Britslova Ban Biodapisto x leruet -Jauzbreny Makolo Biodapisto x leruet -Jauzbreny Margania
Area of Interest Political Boundaries Coordinates Political Boundaries Select Country: Select Region: Advanced Parameter	Szön samey Szön s
Advanced Search Options	Provide CAD Constant - C

6.6. ábra - A MISSISSIPPI-delta egy RapidEye felvételen (Copyright © RapidEye)



7. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben a további otikai sávú földi erőforráskutót műholdakat, műholdprogramokat lehetett megismerni. A hangsúly alapvetően a különböző adatforrások és képalkotó technikák bemutatásán van, érdemes ezeről is tudni, hiszen lehet, hogy éppen ezek révén juthatunk a vizsgált területről hasznos képi információt

nyújtó adatokhoz. A tananyag későbbi fejlesztésévéel ezt a fejezetet tovább lehet bővíteni az újabb műholdas rendszerek fejlesztése és pályára állítása révén.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Mely ország műholdjai a Meteor műholdak?
- 2. Milyen céllal építették meg a Resurs-O műholdakat?
- 3. Készíthető-e valódi színes kompozíció a Resurs-O MSU műszerével?
- 4. Mely szervezet üzemelteti a Terra, Aqua, ICESat műholdakat?
- 5. Hány sávban működik a Terra műhold ASTER szenzora?
- 6. Mely korábbi szenzor utódjának tekinthető a MODIS berendezés?
- 7. Hány sávban működik a Terra műhold MODIS szenzora?
- 8. Mely ország üzemelteti az IRS műholdakat?
- 9. Mekkora geometriai felbontású a Cartosat műhold szenzora pankromatikus sávban?
- 10. Az OrbView műhold mely szenzora alkalmas az óceánok vizsgálatára?

7. fejezet - NAGY FELBONTÁSÚ **OPTIKAI SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK**

Ebben a fejezetben a nagyfelbontású, általában 1 m-nél jobb felbontású optikai sávú műholdak kerülnek bemutatásra. A műholdak szenzorai mutispektrális és/vagy pankromatikus sávban felvételeznek, sávmenti pásztázó tecnikával. Ezért a fejezet technikai részleteinek megismerése előtt érdemes visszatekinteni az 1.5.2. fejezetre. A nagyfelbontású műholdak általában kereskelemi jellegűek. A megrendelő igényeinek megfelelően programozhatóak, így bár viszonylag kis földfelszini sávot fednek le, és emiatt a nadír pozíciójú ismételt fedések között általában több hét is eltelhet, az oldalirányú ismételt felvételek akár néhán napon belül elkészülhetnek.

A nagyfelbontású műholdak közül az IKONOS, a QuickBird, Orbview, GeoEye és a WorldView műholdak technikai részletei, szenzora és alkalmazási lehetőségek kerülnek ismertetésre.

korábbi ismeretek: mutispektrális, pankromatikus, sávmenti pásztázás, UTM, GeoTiff,

kulcsszavak: IKONOS, QuickBird, Orbview, GeoEye, WorldView, valós színes kompozíció, hamis színes kompozíció, pan-sharpening

1. Az IKONOS műholdak

A Space Imaging nevű társaság 1999. szeptember 24-én sikeresen útjára indította az IKONOS nevű kereskedelmi jellegű műholdját, melynek térbeli felbontása először érte el az 1 m-t. Mind az IKONOS, mind a később szereplő Quickbird műholdon egymáshoz nagyon hasonlító Kodak Space Remote Sensing Camera nevű berendezés található. Az eredeti pixelméret mindkét műhold esetében 0,82 m. Az IKONOS fellövése idején még az amerikai kormányzat nem engedélyezte az 1 m-nél jobb felbontású felvételek piaci kereskedelmét, ezért a Space Imaging 1 m-es felbontású pankromatikus és 4 m-es multispektrális felvételeket forgalmaz.

7.1. táblázat - Az IKONOS m	nuhold legfontosabb adatai "
felbocsátás ideje	1999.09.24.
tervezett élettartam (év)	7
inklináció (°)	98,1
sebesség a pályán (km/s)	7,5
sebesség a földfelszínre vonatkoztatva (km/s)	6,8
teljes fordulat naponta	14,7
keringési idő (perc)	98
névleges magasság (km)	681
lefedett terület szélessége (km)	11,3 (nadír)
	13,8 (26°-os rálátás)
egyenlítői áthaladás	10 óra 30 perc

TRONOG //

időfelbontás (nap)	kb. 3	
	(1 m-es felbontás, 40° szélesség)	
radiometrikus felbontás (bit)	11	
	pankromatikus	multispektrális
térbeli felbontás (m)	0,82 (nadír)	3,2 (nadír)
	1 (26° alatt)	4 (26° alatt)
spektrális felbontás (µm)	0,45 – 0,90	0,45 - 0,52
		0,51 - 0,60
		0,63 – 0,70
		0.76 – 0. 85

^aSpace Imaging: IKONOS Imagery Produts and Product Guide, 2003

7.1. ábra - Az IKONOS műhold modellje



A Space Imaging az IKONOS termékeket pontosságuk alapján kategorizálta aszerint, hogy a képen látható objektum milyen meghatározott pontossággal illeszkedik az objektum felszíni valós helyzetéhez. A helyzeti hibát több módon is meg lehet adni, az IKONOS termékeknél többek között a CE90, és az RMS értéket használják. Ezek alapján 6-fajta IKONOS terméket különböztetnek meg:

1. Geo,

2. Standard Ortho,

3. Referencia (Reference),

4. Pro,

- 5. Pontos (Precision) és a
- 6. Pontos Plusz (Precision Plus).

	pozícionál	ás pontossága (m)	orto-korrekció	rálátás szöge(°)	mozaik	sztereo lehetőség
CE90	RMS					
Geo	15*	N/A	nem	60-90	nem	nem
Standard Ortho	50**	25	igen	60-90	nem	nem
Referencia	25,4	11,8	igen	60-90	igen	igen
Pro	10,2	4,8	igen	66-90	igen	nem
Pontos	4,1	1,9	igen	72-90	igen	igen
Pontos Plusz	2	0,9	igen	75-90	igen	nem

7.2. táblázat - Az IKONOS termékek a pozícionálás pontossága szerint ^a

^aSpace Imaging: IKONOS Imagery Produts and Product Guide, 2003

*domborzati hatások nélkül,

** 75 m-es is lehet változatos kevésbé ismert domborzat esetén (pl. Andok, Himalája)

Minden forgalomba kerülő IKONOS képen a felhőfedettség 20%-nál kisebb, de a felhasználó ennél kisebb felhőfedettséget is előírhat a felvétel megrendelésekor. A Nap magassága minimum 15°, a napszinkron pálya miatt adott területről a képek helyi idő szerint ugyanakkor, 10 óra 30 perc körül készülnek. Percenként kb. 2000 km²-es területről készül felvétel. A műhold naponta kb. 15-ször kerüli meg a Földet (98 perc/fordulat).

A pankromatikus IKONOS kép egy sávot tartalmaz, míg a multispektrális kép tartalmazhatja egy fileban a három valós színt (vörös, zöld, kék) vagy lehet hamis színes (közeli infravörös, vörös, zöld), vagy 4 önálló fileban tárolják a négy sávot. Illesztett színes képet is forgalmaz a Space Imaging, a multispektrális sávok térbeli felbontását a pankromatikus képpel javítják (pan-sharpening). A termék felbontása 1 m, és a multispektrális felvételhez hasonlóan 3 különböző (valós, hamis színes, 4 sávos) formában szolgáltatják. Lehetőség van az egyidejűleg készített pankromatikus és multispektrális felvétel megrendelésére is.

A korrigált képek vetületi rendszere lehet UTM (WGS84 ellipszoid). A file-formátum GeoTIFF vagy NITF. A képek 8 vagy 11 bites radiometrikus felbontással rendelhetők.

7.2. ábra - 1 m felbontású illesztett, korrigált IKONOS kép Gyula városáról (2003.aug. 11.)



©2002 Space Imaging LLC., SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék (2003)

Új megrendelés esetén a minimálisan megrendelhető terület nagysága 100 km², az archívumban lévő képek esetén 49 km². Minden megrendelésnél a terület bármely irányban nem lehet 5 km-nél kisebb kiterjedésű.

A Space Imaging CARTERRA® Online internetes¹ felületén a regisztrált tagok betekinthetnek az IKONOS archívumba és ezen keresztül is megrendelhetik a felvételeket.

műhold	működtető társaság	működés kezdete	mód	felbontás (m)	lefedett terület (km)	irány	magasság (km)
IKONOS-2	Space Imaging	1999	P 4ms	0,82 3,28	11,3		680
EROS-A	ImageSat Int.	2000	Р	1,8	12,6		600
Quickbird-2	DigitalGlobe	2001	Р	0,61	16,4		450
			4ms	2,44			
TES	ISRO	2001	Р	1,0	12		565
SPOT-5	SPOT Image	2002	Р	5 (2,5)	60	□27°	830

7.3. táblázat	- Nagyfelbontású	képalkotó	rendszerrel	felszerelt	műholdak adatai
---------------	------------------	-----------	-------------	------------	-----------------

¹ Space Imaging CARTERRA Online – in:http://carterraonline.spaceimaging.com

	SÁVÚ TÁVÉRZÉKELÉSI MŰHOLDAK							
			4ms	10				
Orbview-3	OrbImage	2003	P 4ms	1,0	8		470	
			41115	4,0				
IRS-P6 (Cartosat-1)	ISRO	2004	Р	2,5	30	+26°	617	
ALOS	NASDA	2004	Р	2,5	35/70	-24°, 0°, 24°	691	
Cartosat-2	ISRO	2005	р	1	10		630	

NAGY FELBONTÁSÚ OPTIKAL

2. A QUICKBIRD műhold

A DigitalGlobe[™] által irányított Quickbird jelenleg az egyik legjobb felbontású kereskedelmi jellegű műhold. A 2001. október 18-án elindított műhold pankromatikus és multispektrális üzemmódban képes egyidejűleg képet készíteni. A pankromatikus képpel élesített (illesztett - pansharpened) valós és hamis színes termékek is előállíthatók. Egy Föld körüli keringés során, a tárolókapacitás korlát-jai miatt, csak 165 km-es hosszúságú területről készülhet kép.

7.3. ábra - A QuickBird műhold modellje



A műhold pályamagassága 450 km, a keringési idő 93,5 perc, a 97,2°-os inklinációjú pálya napszinkron, a műhold leszálló pályáján 10 óra 30 perckor halad át helyi idő szerint az Egyenlítő felett. A névleges sávszélesség nadírban 16,5 km. A fedélzeti tárolókapacitás 128 Gbit (kb. 57 kép). A radiometrikus felbontás 11 bit.

A szenzor megegyezik az IKONOS műhold szenzorával, de a NOAA engedélye alapján a DigitalGlobe alacsonyabb pályára állíthatta a műholdat, melynek pankromatikus felbontása nadírban 61 cm, a multispektrális felvételek felbontása 244 cm lett. 25°-os oldalirányú látószög alatt a felbontás pankromatikus képeknél 72 cm, multispektrális képek esetében 288 cm.

- 4	47117 4		A • 11• 1	/ 1	1 / /1•	,	
1.4.	fablazaf -	A	Omekbird	szenzoranak	spektralis	Sav	181
	CHEN IMPLICE		Zuitinoiiu	SECHEOI WHIMI	spence and		J ••• •

spektrális sávok	pankromatikus (µm)	multispektrális (µm)
1	0,450-0,900	0,45-0,52
2	0,52-0,60	
3	0,63-0,69	
4	0,76-0,91	

A Quickbird képek európai forgalmazója az Eurimage (Olaszország). A képfeldolgozás szempontjából a legjobb, ha mind a 4 sávot tartalmazza az adott termék. Vizuális kiértékeléshez, térképezéshez sok esetben elegendő a pankromatikus vagy az illesztett termék alkalmazása. A legjobb felbontású űrfelvételek iránt egyre növekvő felhasználói igény miatt érdemes a Quickbird termékeit részletesen is bemutatni.

A Quickbird által előállított képtermékek 3 szinten állnak rendelkezésre:

- 1. báziskép,
- 2. standard képek,
- 3. ortokorrigált képek.²

A 11 bit-es radiometrikus felbontású képeket 16 vagy 8 bites felbontásban forgalmazzák (az illesztett képeknél csak 8 bit/pixel felbontású kép rendelhető). A képek minőségét 3 paraméter (felhőfedettség %-ban, képminőség, képminőségi metaadatok – NIRS pontozás) írja le.

Báziskép termék

A legkevésbé feldolgozott Quickbird terméket nevezzük bázisképnek, mely radiometrikusan korrigált, valamint szenzorkorrekciót igen, de geometriai korrekciót nem tartalmaz. Ilyen képeket elsősorban fejlett képfeldolgozó vagy fotogram-metriai eszközökkel rendelkező felhasználók számára ajánlják. A termékekhez pálya-, és kameraadatokat biztosítanak. A bázisképek felbontása 0,61 és 0,72 cm, a multispektrális képeké 244 cm-től 288 cm-ig terjedhet a rálátás szögétől függően.

Rendelhető pankromatikus, multispektrális kép külön-külön, illetve egy területről mindkét felvétel. A bázisképek esetén nem rendelhető illesztett kép, ill. minden képet egyedileg állítanak elő, így több báziskép egyidejű rendelésekor a képeket nem mozaikolják sem térben, sem spektrálisan. A pankromatikus kép mérete 27552x27424 pixel, a multispektrálisé 6888x6856 pixel (16,5x16,5 km).

A bázisképnél kisebb területről nem készülhet kép, minimálisan 1 kép ren-delhető. A képek formátuma lehet: NITF 2.0, NITF 2.1, GeoTIFF 1.0, az adathordozó lehet, pl. mágnesszalag, CD-ROM, vagy letölthető egy ftp szerverről. A képekhez mellékelnek különböző adatokat egy ISD (Image Support Data) nevű metaadat filehalmazban (pl. pályaadatok, kép metaadatok, licence szöveg, stb.).

Standard kép termék

A kép termékek elsősorban olyan felhasználók számára hasznosak, akik egy bizonyos abszolút pontosságot megkívánnak és/vagy kis területi fedésre van szükségük. A standard termékek radiometrikusan korrigáltak, valamint tartalmaznak szenzor- és geometriai korrekciót egyaránt (pl. UTM vetület, WGS84 ellip-szoid). Rendelhető pankromatikus, multispektrális kép külön-külön, illetve egy területről mindkét felvétel. A standard képek esetén rendelhető illesztett kép is, de csak a 2002. április 9. után készített képek esetében.

A minimálisan megrendelhető terület nagysága 64 km² (az archivált adatok esetében 25 km²), a maximálisan megrendelhető terület mérete 10 ezer km² (6x7 kép). A térbeli felbontás megegyezik a bázisképek felbontásával. Mozaikolt felvételek esetében a szállított termék összes képére vonatkozóan ugyanaz a felbontás. Teljes képnél kisebb vagy nagyobb terület megrendelésekor a felhasználó által megadott poligon mentén kifedik a képe(ke)t és a képeket a poligonmetszetek szerint külön állományokban forgalmazzák a felhasználó felé.

Ortokorrigált kép termék

Az ortokorrigált képek esetében a domborzat okozta torzításokat kiküszöbölik, így sokkal nagyobb pontosság érhető el. Az ortokorrekcióhoz digitális domborzatmodellt és felszíni kontrolpontokat használnak. Számos esetben ezeket a felhasználónak kell előállítania. Az ortokorrekcióhoz csak olyan képeket használ-nak, melyeknél a rálátás szöge kisebb mint 15° és a képek nem régebbiek mint 2002. április 9. A minimum 150 km²- es, maximum 2000 km²-es területről készült felvétel rendelhető. A 1:25000 méretarányú ortoképek pontossága 7,7 m négyzetes középhibájú (RMSE).

Új kép rendelése

² FÖMI, Űrfelvételek, Quickbird műhold (szerk:Csató É.) – in:http://fish.fomi.hu/

Normál üzemmódban készült felvételek rendelése mellett lehetőség van egyedi igények kielégítésére a műhold programozásával. Az új képek készítésekor 3 különböző szintű igény szerint rendelhetünk képeket. Ha a képkészítési kísérletek sikertelenek, akkor a felhasználó eldöntheti, hogy megismé-teljék-e a folyamatot vagy töröljék a megrendelést. A képek neve standard módon áll elő, mely például a 08SEP01123645-P2AS-00000000978_01_P001 filenévben tartalmazza a felvételezés idejét, a termék információt, a termékazonosítót és a ki-terjesztésben a formátumot. A fenti fileban tárolt kép készítési ideje 2001. szeptem-ber 08., 12 óra 36 perc 45 mp (UTC időben). A kép pankromatikus (P), standard (2A), önálló kép (S – single). A multispektrális kép kódja M, az illesztetté S. A feldolgozottsági szintek jelölése: báziskép 1B, standard 2A. Képtípus jelzése S-önálló vagy M-mozaik.

	standard	elsődleges	sürgős
minimális terület (km²)	64		
maximális felhőfedettség (%)	20		
off-nadír szög (°)	0–15; 0–25		
Nap magasság (°)	≥ 15		
Nap azimut (°)	0–360		
maximális terület (km ²)	10000	10000	2500
felvétel megkezdése a rendeléstől (nap)	≥5	≥4	≥ 48 óra
adatgyűjtési ablak (nap)	14 - 365	7 – 365	1 – 14
képkészítési kísérletek maximális száma	3 – 5	2-3	1

7.5. táblázat - A Quickbird termékek megrendelési prioritásai

3. Az ORBVIEW-3 műhold

Az Orbview-3 műholdat 2003. június 26-án bocsátották fel. Képkészítő berendezése pankromatikus módban 1 m-es, multispektrális módban 4 m-es térbeli felbontású képeket készít. A lefedett terület szélessége mindkét képkészítési módban 8 km.

7.6. táblázat - Az Orbview-3 képkészítő rendszerének sajátosságai

	pankromatikus	multispektrális
térbeli felbontás (m)	1	4
csatornák száma	1	4
spektrális felbontás (µm)	0,450-0,900	0,450-0,520
		0,520-0,600
		0,625-0,695

		0,760-0,900
lefedett terület szélessége (km)	8	
kép mérete	felhasználó határozza meg	
időfelbontás (nap)	kevesebb mint 3	
pálya magassága (km)	470	
egyenlítői metszés	de. 10 óra 30 perc	
tervezett élettartam (év)	min. 5	

A programozható kamera iránya a nadír pozíciótól jobbra és balra 45°-kal térhet el, ezáltal lehetőség van a 3 napnál rövidebb időn belüli ismételt fedésre. A képeket valós időben továbbítják a földi állomásokra, vagy tárolhatók a fedélzeten és később továbbíthatók az amerikai főállomásokra.

4. GeoEye műholdak

2008 szeptemberi felbocsátásakor a GeoEye-1 műhold volt a legjobb felbontású polgári, kereskedelmi célú műhold. A Föld bármely területéről képes 0,41 méteres (0,5 méter a kereskedelmi felhasználóknak) felbontású képeket készíteni. Sztereoképeket is tud készíteni, melyekből domborzatmodellek állíthatók elő.

7.4. ábra - A GeoEye műhold modellje



A GeoEye-1 szenzora a multispektrális sávokban 1,65 m felbontású.Napont 700000 km²-ről tud adatot gyűjteni a pankromatikus sávban és 350000 km²-ig képes a pankromatikus sávval élesített multispektrális képeket rögzíteni.

5. WorldView műholdak

WorldView-1 műholdat 2007 szeptemberében állították pályára. Pankromatikus sávban a szenzor felbontása 0,5 m. A pályamagasság 496 km, és az ismételt fedések között átlagosan 1,7 nap telik el. A rendszer napont 1000000 km²-es területről tud pankromatikus képeket készíteni. A műhold fejlett nagigációs rendszerrel van felszerelve így gyorsan a vizsgálat céljára kijelölt területre tudja műszereit irányítani, melyekkel sztereofelvételekt is tud készíteni.

A WorldView-2 műhold multispektrális szenzora 8 sávban képes képeket készíteni. A pályamagasság 770 km, a pankromatikus felbontás 0,5 m, a multispektrális sávokban 1,8 m. A WorldView-2 átlagos visszatérési ideje 1 nap és 975000 km²-es területről tud naponta képet készíteni.

7.5. ábra - A WorldView-2 műhold modellje



A WorldView-3 az első szuperspektrális, nagyfelbontású szenzorral felszerelt kereskedelmi műhold, melynek felbocsátása 2014-ben várható. A pályamagasság 617 km lesz, pankromatikus sávban a geometria felbontás 31 cm, a multispektrális sávokban 124 cm, és a rövid-hullámhosszú infravörös sávban 3,7 m lesz. WorldView-3 átlagos visszatérési ideje kevesebb mint 1 nap és 680,000 km²-es területről tud majd adatokat gyűjteni naponta.

6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

A nagyfelbontású szenzorok révén nagy méretarányú térképezés lehetséges. A programozható rendszerek segítségével jól ki lehet szolgálni a megrendelő igényeit. A szenzorok többnire pankromatikus és multispektrális üzemmódban is tudnak képet készíteni, és lehetséges sztereo felvételek készítése is. A geometriai felbontás

pankromatikus módban már 40 cm, ill. az alatti, multispektrális módban 1,5 cm körüli. A jövőben a fejlesztés iránya az egyre több sávú, kb 1-1,5 m felbontású multispektrális képek és 20-30 cm-es pankromatikus felvételek készítése lesz.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Milyen felbontású szenzorokat nevezünk nagy (szupernagy) felbontásúaknak?
- 2. Melyik sávban jobb a geometriai felbontás a multispektrális vagy a pankromatikus sávban és miért?
- 3. Hogyan viszonyul egymáshoz a közepes felbontású műholdak által lefedett terület szélessége a nagyfelbontású moldakéhoz?
- 4. Melyik műhold szenzora volt képes először 1 m-es felbontással képet készíteni?
- 5. Hogyan nevezzük a multispektrális felvétel felbontásának pankromatikus sávval történő javítását?
- 6. Előállítható-e valódi színes kompozíció az IKONOS műhold multispektrális sávjaiból?
- 7. Miért jobb felbontású a QuickBird műhold az IKONOS műholdnál?
- 8. Hogyan aránylik a pankromatikus és a multispektrális sáv geometriai felbontása a QuickBird műhold estében?
- 9. Miért előnyös a 11 bites radoimetrikus felvétel a 8-biteshez képest?
- 10. Melyik kereskedelmi célú műhold szenzora volt képes először 0,5 m-es felbontású képek készítésére?
- 11. Lehetséges-e sztereofelvételeket készíteni a GeoEye műhold szenzorával?
- 12. Hány sávos a WorldView-2 műhold multispektrális szenzora?
- 13. A WorldView-3 műhold a szenzor programozása révén hány naponta tud ismételt fedést készíteni ugyanarról a területről?

8. fejezet - HIPERSPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS, MŰHOLDAK

A földelszíni tárgyak reflektancia tulajdonsága olyan mérhető, az anyagra sajátos módon jellemző adat, melynek megismerése és mérése után az földfelszínt borató anyagokat azonosítani lehet, sőt a változást, a nagyobb területen belüli reflektancia különbségeket is fel lehet ismerni. Ehhez olyan szenzorokra van szükség, melyek a vizsgált spektrális tartományon belül több száz szűk sávban is mérni képesek a reflektált vagy kisugárzott energia mennyiségét. A szűkebb, 1-10 nm-es széles sávokban ugyan sokkal kisebb energiamennyiség mérhető, de a szenzorok, detektorok érzékenysége már most is alkalmas ilyen kisi eneregimennyiség mérésére. A fejezetben alapvetően repülőgépes hiperspektrális szenzorokat kerülnek bemutatásra, melyek lényegesen nem térnek el azonban a műholdra telepített rendszerektől.

korábbi ismeretek: spektrális felbontás, spektrum, reflektancia, szenzor, radiométer,

kulcsszavak: hiperspektrális, reflektancia görbe, spektrális tér, spektrális tulajdonság

1. Bevezetés

A hiperspektrális távérzékelés kifejezés akkor terjedt el, amikor a korábbi, legalább 3 spektrális sávban érzékelő multispektrális szenzorok után megjelentek a nagyon nagy spektrális felbontású, akár több száz sávban felvételező érzékelők.

A reflektált vagy a kisugárzott energia mennyisége arányos a vizsgált spekt-rum szélességével, ezért az 1 m alatti térbeli felbontású űrfelvételek rendszerint pankromatikus módban készülnek (IKONOS, QuickBird). A pankromatikus sáv, ahogy az a nevében is benne van, átfedi a látható fény tartományát és rendszerint a közeliinfravörös sávtartományban ér véget. A pankromatikus sáv szélessége kb. 500 nm (0,5 μ m). A multispektrális üzemmódban a látható fény tartományában 2–3 sávban történik képalkotás, a sávok szélessége ~100 nm (0,1 μ m) vagy az alatti. A multispektrális szenzorok, ha a hőtartományú-infravörösben is érzékelnek, már rosszabb spektrális felbontásúak, hiszen a kisugárzott energia mennyisége a sugárzás hullámhosszával fordítottan arányos. Ezért a spektrális tartomány viszonylagos szélessége mellett is még szükség van a vizsgált terület növelésére. Jó példa erre a Landsat-7 ETM+ szenzora, melynek térbeli felbontása a pankromatikus sávban 15, a látható fény, a közeli- és a közepes-infravörös sávokban 30, míg a termális-infravörösben 60 m.

A spektrális tartomány további szűkítésével (2-20 nm), több száz csatorna alkalmazása esetén, a vizsgált objektumok egyes fizikai, kémiai tulajdonságait, a kőzetek ásványi összetételét, a növényzet állapotát, stb. nagyon pontosan lehet vizsgálni. Így a kapott reflektancia értékekből szinte folytonos reflektancia görbét szerkeszthetünk, melyet aztán összehasonlíthatunk a spektrumkönyvtárakban tárolt standard görbékkel, melyek meghatározott anyagokra vonatkoznak.

A műholdas távérzékelésben a földi erőforrások kutatásában használnak hiperspektrális rendszereket, de a műholdak átlagos magassága (700-1000 km), a reflektált energia csak nehezen érzékelhető, ezért a legtöbb sokcsatornás rendszer még elég rossz térbeli felbontású képet eredményez. Ezek a szenzorok többnyire nem egyedül foglalnak helyet a műholdak fedélzetén, hanem több más szenzor társaságában működnek. A műholdakon jelenleg működő sokcsatornás rendszerek közül a legismertebbek:

- 1. az ASTER (14 sáv, 15-30-90 m-es felbontással) a Terra,
- 2. a MODIS (36 sáv, 250-500-1000 m-es felbontással) a Terra és az Aqua műholdakon,
- 3. a MERIS (15 sáv 300 m-es felbontás) az ENVISAT műholdon,
- 4. a GLI (36 sáv) az ADEOS-II műholdon.

Mára számos hiperspektrális szenzort (AVIRIS, DAIS-7915, HyMap, AISA, stb.) fejlesztettek ki, de ezeket még legfeljebb a troposzféra felső részében vagy az alsó-sztratoszférában haladó repülőgépre szerelik fel képkészítés céljából.

2. Az AVIRIS szenzor

HIPERSPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS, MŰHOLDAK

Az egyik legismertebb hiperspektrális berendezés az AVIRIS szenzor (8.1. ábra), melyet egy átalakított U2-es repülőgépre (NASA ER-2) szereltek fel. Az AVIRIS (Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) egy repülőgépre szerelt látható fény és infravörös képalkotó spektrométer.¹ A spektrális felbontás 10 nm a teljes vizsgált spektrumban (380–2500 nm). Összesen 224 sávban készül egyidejűleg felvétel, sávonként 614 detektorra érkezik az energia (AFOV=30°, IFOV=1 mrad).



8.1. ábra - Az AVIRIS szenzor felépítése²

A térbeli felbontás és a lefedett terület szélessége függ a repülési magas-ságtól. A 20 km-es magasságban repülő ER-2 fedélzetéről 20 m felbontású kép készül, a lefedett terület szélessége kb. 11 km. Az alacsonyabban (4 km) repülő Twin Otter típusú gépről már 4 m-es felbontású képek készülhetnek, a lefedett terület szélessége ebben az esetben 2 km. A képi adatok mellett a repülési és egyéb műszaki adatok is a fedélzeten tárolódnak, 512 pásztázás (vonal) alkot egy képet és a tároláshoz képenként összesen mintegy 140 Mbyte helyre van szükség. A teljes repülés során rögzített adatok egy 16 Gbytos szalagos tárolóra kerülnek.

Az AVIRIS által előállított képet a Nap sugárzási tulajdonsága (maximális kisugárzás a zöld fény tartományában, lásd Wien-féle törvény), az atmoszféra anyagai (N, O, CO_2 , ózon, víz, egyéb elemek) és azok elnyelése határozza meg. Például a víz elnyelése miatt nagyon kevés energia gyűjthető az 1,4 és az 1,9 µm-es hullámhosszon (8.2. ábra).

8.2. ábra - A légkör jellegzetes AVIRIS spektruma a vizsgált 224 sáv alapján ³

¹ NASA JPL AVIRIS Homepage – in:http://aviris.jpl.nasa.gov/

² NASA JPL: The AVIRIS instrument – in:http://www.ltid.inpe.br/html/pub/docs/html/instr.htm

 $[\]label{eq:stars} ^3 \text{ NASA JPL: The AVIRIS Concept-in: http://www.ltid.inpe.br/html/pub/docs/html/concept.htm} \\$

HIPERSPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS, MŰHOLDAK



3. A DAIS-7915 szenzor

Szintén repülőgépen működik a DAIS-7915 nevű szenzor, melyet az Euró-pai Unió és a DLR (Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Német Távérzékelési Központ) pénzügyi támogatásával fejlesztettek ki. A DAIS-7915 egy 79-csatornás képalkotó spektrométer (Digital Airborne Imaging Spectrometer), melyet a GER (Geophysical Environmental Research Corp.) munkatársai építettek meg.⁴

A vizsgált spektrum a látható fénytől a termális infravörös tartományig terjed (8.3. ábra), a térbeli felbontás a repülőgép magasságától függően 3–20 m.

8.3. ábra - A DAIS-7915 képalkotó rendszere 5

⁴ DLR: DAIS-7915 - in:http://www.op.dlr.de/dais/dais-scr.htm

⁵ DLR: DAIS-7915 Optical System Design – in:http://www.op.dlr.de/dais/daisdesi.htm



A DAIS-7915 szenzort 1995 óta használják elsősorban a szárazföldi és a tengeri ökoszisztémák megfigyelésére, mezőgazdasági, erdészeti, geológiai térképezésre, ásványvagyon feltárásra, térinformatikai döntéselőkészítő rendszerek támogatására, stb.

A DAIS-7915 szenzort a DLR saját, DO-228 típusú repülőgépén üzemel-tetik. A berendezés látószögmezője $< 26^{\circ}$ (0,894 rad), az IFOV értéke 3,3 mrad (0,189°), soronként 512 pixel alkotja a képet. A radiometrikus felbontás 16 bit.

4. HyMap szenzor

A HyVista Corp. működteti a HyMap[™] nevű hiperspektrális szkennert, mely az Integrated Spectronics Pty Ltd. terméke. A HyMap 126 sávban érzékeli a reflektált sugárzást a 0,45–2,5 µm-es tartományban folyamatosan (kivéve a vízelnyelési sávokat), a sávok szélessége 15–20 nm között változik. A szenzor IFOV értéke a repülési irányban 2,5 mrad és 2,0 mrad a repülési irányra merőlegesen. A teljes látószögmező 61,3°-os, a detektorsor 512 pixelt tartalmaz, a térbeli felbontás a repülőgép magasságától függően 3–10 m. A rendszer 3-tengely mentén stabilizált, ezáltal csökkenthetők a repülőgép mozgásából származó képtorzulások.

5. Az AISA szenzor

Az AISA+ egy push-broom technikájú hiperspektrális rendszer, mely egy hiperspektrális szenzorfejet, egy miniatürizált GPS/INS szenzort, egy adatgyűjtő egységet, egy PC-t és egy áramforrást tartalmaz.⁶ A mindössze 29 kg össztömegű szenzor esetében az AFOV=39,7–29,9°, az IFOV=0,078–0,058° (1000 m-es magasságból ezek alapján a térbeli felbontás 1,5 m), a spektrális tartomány 400–1000 nm, a sávok száma 244, a sávok szélessége 2,9 nm. A lefedett terület szélessége 23 mm-es fókusztávolságú optika alkalmazásakor, 29,9°-es látószög esetén, a repülési magasság 0,53-szorosa. A kép egy sorában 512 képelem található.

Az AISA Eagle az AISA+ továbbfejlesztett változata, soronként 1024 pixelt tartalmaz a kép, a sávok száma 273, míg az AISA Hawk berendezés az 1000-2400 nm-es tartományban 240 sávban készít felvételt.

6. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben képalkotó hiperspektrális rendszerekről olvashatott az érdeklődő. A szenzorok több száz sávban mérik a vizsgált tárgy vagy földfelszín által visszavert energia mennyiségét. Az adatok révén könnyen azonosíthatók a felszínt borító anyagok, ill. azok térbeli változásai. A nagy mennyiségű adat feldolgozása új képfeldolgozási módszerek bevezetését eredményezte és ezekről később az űrfelvételek feldolgozása című fejezetben talál leírást az olvasó.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Hány sávban működnek a hiperspektrális szenzorok?
- 2. Kb. milyen széles egy spektrális sáv a hiperspektrális szenzorok esetében (nm-ben)?
- 3. Ha csökken a spektrális sáv szélessége, akkor nő az időegység alatt visszavert és érzékelhető energia mennyisége? (Igaz/Hamis?)
- 4. Mihez köthető a reflektancia görbe minimumértékei?
- 5. Hány csatornás az AVIRIS szenzora?
- 6. Mely országban gyártják a DAIS szenzort?
- 7. Miért előnyös az AISA szenzor használata kisgépes repüléskor?

⁶ Specim, AISA Airborne Hyperspectral Systems – in:http://www.specim.fi/products-aisa.html

9. fejezet - FELDERÍTŐ (KÉM) MŰHOLDAK

A távérzékelés fejlődésében nagy szerepet kaptak a katonai célú alkalmazások. Különösen a nagyfelbontású felvételek készítése és a képfeldolgozási módszerek fejleszése terén elért eredmények révén volt lehetőség arra, hogy a polgári életben is meghonosodjanak ezek a technológiák. Az 1950-es '60-as években készült felvételek a XXI. sz. elejére nyílt adatbázisokba kerültek, így nemcsak a technológia iránt érdeklődőknek jelentenek a felvételek újdonságot, hanem lényegesen kibővítik a vizsgálható időintervallum hosszát pl. a környezetmonitoring, a földi erőforrások kutatása vagy a települések vizsgálata terén.

korábbi ismeretek: geometria felbontás, pálya, pályamagasság, analóg képkészítés

kulcsszavak: Corona-program, sztereo képkészítés, nagyfelbontás,

1. Bevezetés

Az 1950-es évektől induló amerikai műholdas katonai felderítő programok célja a Szovjetunió nagy hatótávolságú bombázóinak, illetve ballisztikus rakéta-programjának nyomonkövetése volt. Az 1970-es évek elejéig tartó programok során fejlesztették ki és indították el a Discoverer, a Corona (KH-1, KH-2, KH-3, KH-4, KH-4A, KH-4B), az Argon (KH-5), és a Lanyard (KH-6) felderítő műholdakat. A programok során nem csak a Szovjetunió területéről, hanem a volt Varsói Szerződés országairól, így hazánkról is számos kiváló felvétel készült. Emellett az amerikai Védelmi Minisztérium és más kormányzati szervek is felhasználták az Egyesült Államok területéről készült felvételeket térképészeti programjaikban.

Az első amerikai műholdas felderítő program 1955. március 16-án indult. Ekkor határozták el, hogy a fejlett felderítő műholdak tervezése, megépítése és indítása elsődleges prioritást élvezzen. A program neve először ARS (Advanced Reconnaissance System), majd SENTRY, végül SAMOS lett. A program célja olyan kamerával felszerelt műholdak pályára állítása volt, melyek a képeket képesek továbbítani a földi állomásokra. Az elhúzódó megvalósítás miatt Eisenhower elnök 1958. február 7-én megbízta a CIA-t egy műholdas felderítő rendszer kiépítésére, melynek kódneve CORONA lett. Az 1960-as éves elején a SAMOS műholdal kapcsolatos kísérleteket beszüntették, így a következő évtizedben a CORONA lett az amerikai műholdas felderítés kulcseleme.

2. Corona program

A műholdak analóg kamerákat hordoztak, a felvételek negatívra készültek. Mindegyik film fekete-fehér volt, néhány kísérleti jellegű infravörös és színes film kivételével. A negatívokat kapszulákban juttatták vissza a Földre. Ezek a kapszulák ejtőernyővel ereszkedtek le és egy speciálisan felszerelt C-119 típusú repülőgéppel kapták el a levegőben, vagy az óceánból hajók halászták ki. A megtalálást jeladók segítették.

A Corona program első felbocsátásait Discoverer fedőnév alatt hajtották végre. A Discoverer programot – a híradások alapján – műholdtechnológiai-fejlesz-tések céljából indították el, de a valóságban a Corona fotográfiai tevékenységét fedte. A Discoverer program végül nemcsak felderítő tevékenységet tartalmazott, hanem nemképkészítő tesztrepüléseket. Ezek során a visszatérő technikai problémákat próbálták kiküszöbölni, valamint 2 új szenzort is kipróbáltak (az egyik a MIDAS rendszer). A Discoverer-38 repülése után a programot teljes egészében a fotografikus felderítés irányában folytatták.¹

A Corona program indításakor az első 12 kísérlet meghiúsult, a 13. kísérletkor a repüléssel minden rendben volt csak éppen ez egy kamera nélküli repülés volt. Az első teljes sikert hozó repülést 1960. augusztus 18-án hajtották végre. A program során 1 nap alatt nagyobb területről tudtak felvételt készíteni, mint a teljes, U-2 repülőgéppel végrehajtott felderítések során.

A KH (KeyHole – kulcslyuk) jelölés használatos minden fotografikus felde-rítő műholdra vonatkozóan. A KH jelölés utáni szám utal a műholdon használt kamera típusára. Ezt a jelölést 1962 óta használják a 4. kamerarendszertől kezdve, ezért az ezt megelőzők a KH-1, KH-2, és a KH-3 nevet kapták.

¹ USGS Guides: Declassified Satellite Imagery 1 (1996) – in:http://edc.usgs.gov/guides/disp1.html

A 144 db Corona indításból 102, a 11 Argon indításból 6, a 3 Lanyard indításból 1 volt sikeres. A program teljes költsége kb. 850 millió USD volt.

	1		: 1% += -++	C'1	-1-″ -1
	rendszer	küldetések sorozatszáma	ldotartam	film- mennyiseg	felvételek száma
KH-1	CORONA	9009	1959. jún. 1960. szept.	3,548	1432
КН-2	CORONA	9013, 9017, 9019	1960. okt. 1961. okt.	17,949	7,246
КН-3	CORONA	9022, 9023, 9025, 9028, 9029	1961.aug. 1962. jan.	24,676	9,918
КН-4	CORONA	9031, 9032, 9035, 9037-41, 9043- 45, 9047-51, 9053-54, 9056- 57, 9062	1962. febr. 1963. dec.	239,299	101,743
KH-4A	CORONA	1001-02, 1004, 1006-31, 1033-52	1963. aug. 1969. okt.	1,293,025	517,688
KH-4B	CORONA	1101-1112, 1114- 1117	1967. szept. 1972. márc.	*505,970	188,526
КН-5	ARGON	9031A, 9046A, 9058A, 9059A, 9065A, 9066A	1961. febr. 1964. aug.	22,503	38,578
КН-6	LANYARD	8003	1963. márc. 1963. júl.	2,251	910
összesen				2,109,221	866,041

9.1. táblázat - A CORONA-program főbb adatai ^a

^a USGS Guides: Declassified Satellite Imagery 1 (1996) – in:http://edc.usgs.gov/guides/disp1.html

*néhány színes tesztfilm készült az 1104, 1105, 1106 és a 1108 számú repüléskor.

1995 februárjában Bill Clinton, az USA akkori elnöke, Különleges Elnöki Rendeletében engedélyezte a Corona, Argon, és Lanyard műholdak által készített felvételek titkosság alóli felszabadítását. A rendelet az 1960 és 1972 között készített több mint 860 ezer felvételre vonatkozott. A felvételek átkerültek a Washington melletti, NARA (National Archives and Records Administration, Maryland) nevű központba.² Ezek a felvételek ma már nyilvánosak és akár az interneten keresztül is megrendelhetők az USGS EarthExplorer honlapján.³ A KH-7 és a KH-9 felvételeinek titkosságát 2000-ben oldották fel.⁴

Kamera adatok

Viszonylag kevés információ áll rendelkezésre a műholdak technológiai rendszereivel kapcsolatban, bár néhány kamerarendszer adatai ismertek. A korai rendszerek (KH-1, KH-2, KH-3 és KH-6) egy panoráma kamerát vagy egy keretező kamerát (KH-5) hordoztak, míg a későbbi rendszerek (KH-4, KH-4A, és KH-4B) két panoráma

² NARA Homepage – in:http://www.archives.gov/index.html

³ USGS Earth Explorer - in: http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/

 $^{{}^4 \} USGS \ Guides - in: http://edcwww.cr.usgs.gov/products/satellite/declass2.html {\column} description$

kamerája 30 fokos szöget zárt be egymással (egyik előre másik hátrafelé tekintett). A KH-6 kameráját úgy programozták, hogy ugyanarról a terü-letről készüljön felvétel előre és hátratekintve egyaránt, ezáltal sztereofelvételek készültek. A LANYARD (KH-6) program speciális célja a Tallinn melletti szovjet ICBM telep felderítése volt. A korai rendszerekben egy filmkazetta, a későbbiekben két kazetta volt. A KH-4A volt az első, mely több kazettában tárolta a filmeket (9.1. ábra⁵). Az előre- és hátratekintő kamerák kazettáit külön csomagolták, így ha a kamerapár egyik eleme esetleg elromlott, még lehetőség volt a másik kamera által készített felvételek kiértékelésére (9.2. ábra).

9.1. ábra - Fénykép a Corona (KH-4B) képkészítő rendszerérő



	KH-1-4	KH-4A	KH-4B	KH-5	KH-6
kamera típusa	panoráma	panoráma	panoráma	keretező	panoráma
film szélessége (mm)	70	70	70	127	127
film hasznos mérete (mm x mm)	55,37 x 756,9	55,37 x 756,9	55,37 x 756,9	114,3 x 114,3	114,3 x 635
fókusztávolság (mm)	609,6	609,6	609,6	76,2	1676,4
a film felbontása (sor/mm)	50-100	120	160	30	160
legjobb felszíni felbontás (m)	7,6	2,74	1,83	140	1,83
pályamagasság (km)	165–460	185	150	322	172
a film névleges méretaránya	1:275000- 1:760000	1:305000	1:247500	1:4250000	1:100000
névleges területfedés (km)	15x210-től 42x580-ig	17x232	14x188	483x483	12x64

9.2. táblázat - A Corona programban használt kamerák, filmek jellemző adatai

9.3. táblázat - A KH-1-6 műholdak fizikai paraméterei ^a

KH-1	KH-2	KH-3	KH-4

^shttp://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19950117000

műhold tömege (kg)	779	1146	1250	1200
hosszúság/átmérő (cm)	594/152	700/152	700/152	1003/152
élettartam (nap)	1	2–3	1-4	6–7
sorozatszám	9000	9000	9000	9000
összes/sikeres küldetés	10/1	10/3	6/5	26/20
	KH-4A	KH-4B	КН-5	KH-6
műhold tömege (kg)	2000	2000	1274	1500
hosszúság/átmérő (cm)	1003/152	1003/152	762/152	1082/152
élettartam (nap)	4–15	18	~29	33
sorozatszám	1000	1100	9000A	8000
összes/sikeres küldetés	52/49	47/16	12/6	3/1

^a USGS Guides: Declassified Satellite Imagery 1 (1996) - in:http://edc.usgs.gov/guides/disp1.html

9.2. ábra - Szeged belvárosa Corona felvételen (KH-4B, pankromatikus felvétel, 1972.05.26.)



3. A Corona utáni képkészítő felderítő műholdak

A Corona műholdak követőjeként a GAMBIT (KH-7, KH-8) nevű műholdakat használták. A program célja kis területekről nagyon nagy felbontású képek készítése volt. A GAMBIT 1963 és 84 között működött, a KH-7 térbeli felbontása kb. 46 cm, míg a KH-8 felbontása háromszor jobb, 15 cm volt.

A Corona folytatásaként fejlesztették ki a 30–60 cm felbontású Hexagon KH-9 (BigBird) nevű műholdakat, melyek ilyen felbontás mellett is sokkal nagyobb területről készítettek felvételeket, mint a Corona. 1971–84 között 18 HEXAGON műholdat bocsátottak fel. A fedélzeten 2 db 1520 mm fókusz-távolságú kamerát és egy 300 mm-es térképező kamerát helyeztek el. A műhold élettartama 275 nap, hossza 15,2 m, átmérője 3,05 m, teljes tömege 11400 kg volt.

Az Amerikai Légierő ember vezérelte (MOL–Manned Orbiting Laboratory) felderítőrendszert akart a világűrbe juttatni. A henger alakú KH-10 munkatere 33 m³ lett volna, de a projekt 1969-ben, több mint 1 milliárd dollár elköltése után befejeződött.

	KH-7	KH-8	КН-9
kódnév	Gambit	Gambit	Hexagon
működési idő	1963–1967	1966–1984	1971–1986
tömeg (kg)	2000	3000	11400
kamerák száma	2	2	4
küldetés sorozatszáma	?	1700	1900

9.4. táblázat - A KH-7–12 műholdak fizikai paraméterei ^a

élettartam (nap)	5,47	50-80	52–275
pályamagasság (km)	92,22–186,86	83,6–254,3	100,9–159
összes/sikeres küldetés	38/36	60/57	20/19
	KH-11	KH-12	Lacrosse
kódnév	Kennan/Crystal	Improved Crystal	Lacrosse
működési idő	1976–1988	1990-től	1989-től
tömeg (kg)	13500	19600	26000?
kamerák száma	?	?	?
küldetés sorozatszáma	5500	?	?
élettartam	987-1175 nap	10-12 év	?
pályamagasság (km)	114-224	150-600	400
összes/sikeres küldetés	10/9	4/4	4/4

^a Dan's History:Spy Satellites – in:http://www.danshistory.com/spysats.shtml#argon

1976 végén az első KH-11 (KENNAN / CRYSTAL) felbocsátásával az űrfelderítés új korszaka kezdődött el. A KH-11 műholdhoz hasonló, de továbbfejlesztett elektronikai rendszerrel rendelkező KH-12 (KH-11B/IMPROVED CRYSTAL) még élesebb képeket szolgáltatott kb. 15 cm-es (6 inches) felbontással. A periszkóp-típusú forgó tükör a képeket az elsődleges tükörre reflektálja, így a KH-12 képes nagy látószög alatt is képeket készíteni. A KH-12 több üzemanyagot hordoz (7 tonna), így jobban manőverezhető és hosszabb az élettartama. A KH-12/1-et 1992. november 28-án, a KH-12/2-t 1995. december 05-én, a KH-12/3-at 1996. december 20-án, a KH-12/4-et 2001. október 5-én felbocsátották fel.

A CIA 1976-ban indította képkészítő, radarrendszerű műholdak fejlesztésére vonatkozó projektjét, mely elvezetett az INDIGO prototípusú képkészítő radar-rendszer sikeres kipróbálásáig (1982. január). Bár a folyamatosan működő rendszer üzembeállításáról a viták nem csillapodtak, a Lacrosse nevű rendszer fejlesztése elindult 1983-ban, melynek felbontása elérte az 1 m-t (3,3 láb).

A Lacrosse-1 (1988-106B 19671) nevű műholdat 1988. december 2-án az űrsiklóról (Space Shuttle) indították el. A pálya inklinációja 57°, a pálya magassága 680–690 km. A Lacrosse-2 (199-A) felbocsátása 1991. március 8-án történt a Vandenberg Légibázisról Titán-4 hordozórakéta segítségével. A Lacrosse-1 felváltására a Lacrosse-3 (199-A) műholdat 1997 őszén indították el.

4. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

A fejezetben részletesen ismertetésre került a korai kémműholdprogramok küzül a Corona program, melynek adataihoz ma már egyszerűen hozzájuthatnak a kutatók. Az analóg, nagy felbontású felvételeket digitális formátumban, a képfeldolgozó módszerekkkel jól fel lehet használni a különböző kutatási programokban, különösen akkor, ha hosszabb távú elemzést kívánunk végezni. Európa K-i területéről, különösen a volt Varsói Szerződés országairól, így hazánkról is sok száz felvétel található a nyílt adatbázisban, melyeket sávonként vag akár sztreofelvételekként is fel lehet dolgozni az ismert képfeldolgozó módszerekkel.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Mikortól indultak az első felderítő műhold-programok?
- 2. Mely országok voltak az úttörők a műholdas felderítésben?

- 3. Hogyan nevezték az 1960-as évek amerikai kémműhold-programját?
- 4. Milyen technológiával készültek a képek?
- 5. Melyik amerikai elnök idején nyitották meg a kémműholdak adatbázisát?
- 6. Készültek-e sztereofelvételek a Corona-programban?

10. fejezet - AKTÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK

Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek mind az aktív mikrohullámú távérzékelő rendszerek. A radar egy aktív mikrohullámú szenzor, mely saját energiaforrását használja és jelentősége miatt jelen fejezet legnagyobb részében ilyen rendszerek szerepelnek.

A fotografikus és a multispektrális érzékelés látványos képeivel szemben a radarfelvételek talán kevésbé látványosak, de remélhető, hogy a példákon keresztül sikerül bemutatni a mikrohullámú távérzékelés gyakorlati lehetőségeit.

korábbi ismeretek: aktív távérzékelés, spektrum, hullámhossz, detektor,

kulcsszavak: radar rendszer, antenna, mikrohullámú távérzékelés

1. BEVEZETÉS

Az elektromágneses spektrum mikrohullámú sávjában gyűjtött adatok jelentősége ugrásszerűen megnövekedett az 1980-as években. Bár a mikrohullám szóban szerepel a mikro előtag, ez a sugárzás egyáltalán nem rövid hullámhosszú, sőt a hullámhossza a látható fény hullámhosszánál 2,5 milliószor nagyobb. A mikrohullámok hullámhossz-tartománya 1 mm-től 1 m-ig terjed (2. függelék).

A mikrohullámok alábbi két tulajdonsága teszi lehetővé, hogy ezeket az elektromágneses hullámokat felhasználjuk a távérzékelésben:

- 1. A hullámhossztól függően a mikrohullámú energia áthatol a ködön, a felhőkön, az esőn, a füstön.
- 2. A földfelszín teljesen másként viselkedik a mikrohullámok visszaverődésekor és elnyelésekor, mint a látható fény tartományában. A látható fény tartományban durva felszín a mikrohullámoknak elég sima. Általánosabb értelemben, mikrohullámú távérzékeléskor a felszín egészen más arcát mutatja, mint a látható fény és az infravörös tartományban.

1.1. A radar fejlődése

A radar egy mozaikszó, mely az angol radio detection and ranging szóösszetételből származik és a világ minden nyelvébe beépült. A szó egy olyan eszközt jelöl, amelyet arra fejlesztettek ki, hogy rádióhullámok segítségével felfedezzenek bizonyos tárgyakat, ill. azok jelenlétét és meghatározzák kiterjedésüket, helyzetüket. A lejátszódó folyamatban egy rövid impulzust (mikrohullámú energiajelet) bocsátanak ki a vizsgált tárgy irányába, és rögzítik a jel visszaverődésének az erősségét.

A radarrendszerek nem szükségszerűen képi formátumban közlik az érzékelés eredményeit. A mikrohullámú berendezéseket, pl. a radarokat (és ugyanígy az eddig és ezután tárgyalt szenzorokat) különböző platformon, hordozóeszközön lehet elhelyezni, pl. a földfelszínen, repülőgépen vagy műholdon. A nem-képkészítő radarok legismertebb formája a rendőrség által használt sebességmérő. Ez a rendszer az ún. Doppler-radar rendszer, mert a kibocsátott és a visszavert jelek között fellépő Doppler-effektust (frekvencia eltolódást) használja fel a tárgy sebességének mérésekor. A Doppler-hatás a kibocsátó és a visszaverődést okozó tárgy relatív, viszonylagos sebességének a függvénye. Például a közeledő és a távolodó autó kürtje vagy a vonat sípja a Doppler-hatás miatt tűnik változó magasságúnak a mozdulatlan megfigyelő számára.

10.1. ábra - A képkészítő radarrendszerek blokkdiagramja

AKTÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK



A radarok másik gyakori formája a pozíciójelző radar (plan position indicator, PPI). A PPI rendszer jellegzetessége a kör alakú képernyő, melyen látható az észlelt tárgy pozíciója és távolsága a középpontban lévő megfigyelőhöz képest. A PPI rendszereket elsősorban az időjárás-előrejelzésben, a légi irányításban, a katonai felderítésben és a navigációban alkalmazzák.

A radarrendszer térbeli felbontása, egyebek mellett, függ az antenna méretétől. Bármely adott hullámhosszra igaz, hogy minél nagyobb az antenna, annál jobb a radar térbeli felbontása. A rádiócsillagászatban több száz méter átmérőjű antennákat is használnak már. A repülőgépes mikrohullámú távérzékelésnél a repülőgép aljá-hoz vagy tetejéhez (pl. az AWACS-amerikai katonai felderítő repülőgépek) rögzítik az oldalra néző antennát. Ezért ezeket a rendszereket oldalra néző radaroknak (SLR–side-looking radar) vagy oldalra néző repülőgépes radarnak (SLAR–side-looking airborne radar) nevezik. Az SLAR rendszerek a repülés irányával párhuzamos pász-tában óriási területekről készítenek folyamatos, szalagszerű képet.

A SLAR rendszereket katonai felderítés céljából az 1950-es évek elején fejlesztették ki és ideális felderítő eszközzé váltak, mert azokat mindenféle időjárási körülmények között alkalmazni tudták és éjjel is készíthettek vele képeket. Bár a SLAR fejlesztése elsősorban a hadászati jelentőségű objektumok felderítésére irá-nyult, még így is igen hatékony eszköz a természetes erőforrások kutatásában.

A SLAR rendszer első nagyszabású alkalmazása a felszín térképezésében egy komplex kutatási program keretében valósult meg, melyet a panamai Darien tarto-mányban végeztek. 1967-ben kezdődött a program (Panama radar térképezés projekt) és kb. 20 ezer km²-es területről készült kép, melyeket mozaikszerűen illesztettek össze. A program sikerét fokozta az a tény, hogy a területről, az állandó felhőborítás miatt, addig nem készült légi- vagy űrfelvétel, valamint részletes térkép.¹ Az 1970-es évektől kezdve nemcsak számos kormány kezdeményezte a kiterjedt radar alkalmazási programok beindítását, hanem bányászati és olajipari társaságok is.

Az 1971-ben elindított venezuelai radaros térképezés során kb. félmillió km²-es területről készült részletes térkép. Ennek a projektnek az eredménye volt, hogy sikerült a szomszédos államok határait pontosan meghatározni, feltérképezték az ország vízkészletét, a főbb folyók korábban ismeretlen eredetét, valamint elkészült az ország geológiai térképe is. Szintén 1971-ben kezdődött a Radam Projekt (Radam = Radar of the Amazon), mely az Amazonas vízgyűjtőjét és Brazília északkeleti tartományait kutatta. Ez volt a legnagyobb szabású radarprogram, amit valaha is végeztek. A program végére (1976) több mint 160 radarkép segítségével fedték le a mintegy 8,5 millió km²-es területet. Radarképek voltak az alapjai a geológiai elemzé-seknek, az erdőállomány becslésének, a szállítási utak térképezésének, valamint az ércelőfordulások feltárásának. Nagy mennyiségben tártak fel jelentős ásványvagyont a radar által felfedezett új geológiai képződményekben.

Korábban fel nem ismert vulkáni kúpok, számos hatalmas folyó eredete vált ismertté a projekt eredményeként. A Föld többnyire felhővel borított területein a radar fontos szerepet játszhat a potenciális ásványvagyon, az erdőségek, vízkészletek, a szállítási útvonalak, a hasznosítható mezőgazdasági területek kijelölésében.

A radar rendszerek alkalmasak továbbá az óceán felszínének széleskörű monitoringjára, pl. a szél, a hullámzás, a jégmozgás tanulmányozására.

¹ Golley, F. B. 1998. NPP Tropical Forest: Darien, Panama, 1967-1968. – in:http://www-eosdis.ornl.gov/NPP/site_des/drn_des.html

Az űrbeli radaros távérzékelés a Seasat 1978-as felbocsátásával kezdődött, majd folytatódott a SIR (Shuttle Imaging Radar) 1980-as években végzett kísérleteivel. A műholdas mikrohullámú távérzékelés egyre nagyobb szerepet játszik a külön-böző földi erőforrások kutatásában.

1.2. A földfelszín tulajdonságai mikrohullámú sugárzásban

Nagyon sok változó tényező befolyásolja a radarjel visszaverődését. Bár számos elméleti modell készült, melyek leírják a tárgyak mikrohullámú visszaverő tulajdonságait, ebben a témakörben a legtöbb ismeret mégis az empirikus megfigyelés során keletkezett. Megállapítható, hogy azok az elsődleges tényezők, melyek módosítják a visszavert energia erősségét a következők: (1) tárgy geometriai és elektromos tulajdonsága, (2) a talaj, a víz, a növényzet és a jég jelenléte.

Geometriai tulajdonságok

Egy radarkép legszembetűnőbb tulajdonsága, hogy az egyik lejtőoldal világosabb, mint a másik. Ez abból következik, hogy relatíve módosul a szenzor/felszín geometria a különböző lejtők szöge, kitettsége miatt (10.2. ábra).



10.2. ábra - A domborzat hatása a SLAR képkészítésben ²

A 10.2. ábra a visszaérkező jelek erősségének változását mutatja az idő függvényében. Az ábra fölött látjuk a megfelelő képrészletet, amelyben az erősebb jelek világosabb színűek. A radarárnyék teljesen sötét és élesen elkülönül a világosabb, a radarral szemben elhelyezkedő területektől.

A lejtőszög változása okozza a besugárzási szög módosulását. A helyi besugárzási szög (local incidence angle) a lejtő adott pontjára állított, a lejtőre merőleges egyenes és a beérkező energianyaláb által bezárt szög. A szenzorral szembenéző lejtőkön viszonylag magas a visszaverődés, míg az ellentétes lejtőkön egyáltalán nincs visszaverődés.

Elektromos tulajdonságok

A felszínformák elektromos vezetőképessége alapvetően meghatározza a visszatérő radarjelek intenzitását. A felszíni tárgyak elektromos jellegét a komplex dielektromos állandó fejezi ki. Ez a paraméter a különböző tárgyak reflektivitásával és vezetőképességgel van összefüggésben.

10.1. táblázat - A mikrohullámú távérzékelési szenzorok osztályozása és tevékenységük

²Lillesand-Kiefer: Remote Sensing and Image Interpretation pp. 495.

AKTÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK

aktív szenzor	szkatterométer	talajnedvesség tartalom
felszín érdessége		
tavi jég eloszlása		
tengeri jég eloszlása		
hó eloszlása		
biomassza		
tengerfelszín hőmérséklet		
vízgőz, csapadék intenzitás		
óceán hullámzás		
tengerfelszín közeli szél		
szélsebesség és irány		
magasságmérő	tengerfelszín topográfia	
óceán hullámmagasság		
változó tengeráramlások		
közepes méretű örvények, árapály		
szélsebesség		
képkészítő radar	felszíni kép	
óceán hullámzása		
tengerfelszín közeli szél		
topográfia és geológia		
tenger alatti topográfia		
jég monitoring		
passzív szenzor	radiométer	tengerfelszínhez közeli szél
tengerfelszín hőmérséklete		
sótartalom, tengeri jég		
vízgőz, felhő víztartalma		

AKTÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK

csapadék intenzitás	
levegő hőmérséklete, szél	
ózon, aeroszol, N-oxidok	
egyéb atmoszférikus komponensek	

A spektrum mikrohullámú tartományában, a száraz, természetes eredetű tárgyak dielektromos konstansa 3 és 8 között van, ugyanakkor a vízé 80 körüli. Ez azt jelenti, hogy a talajok vagy a vegetáció nedvességtartalma jelentősen növeli a radar visszaverődést. Az eltérő erősségű radarjelek ezért legtöbbször inkább nedvességtartalom különbséget jeleznek, mint valódi anyagkülönbségeket. A felszínt borító növényzet nagyobb nedvességtartalma miatt, viszonylag jó radarjel visszaverő, így a térben változó dielektromos konstans és a sajátos mikrodomborzat miatt a radarképeken jól tanulmányozható. A fémtárgyak (hidak, vasúti sínek stb.) szintén jó visszaverők, ezért a radar képeken világos színben tűnnek elő.

Talajhatás

A víz dielektromos konstansa 10-szer nagyobb, mint a száraz talajé, ezért a csupasz, vegetációmentes talaj felső, néhány cm vastag rétegének nedvességtartalma kimutatható a radarképen. A talajnedvesség és a felszín nedvessége a hosszabb hullámhosszak alkalmazásakor válik láthatóvá. A talajnedvesség rendszerint megakadályozza, hogy a radarhullámok néhány cm-nél mélyebbre hatoljanak a talajba, így néhány méteres áthatolás csak nagyon száraz talajoknál lehetséges az L-sávban.

Növényhatás

A radarhullámok és a növényzet kölcsönhatása rendkívül bonyolult. A jel nemcsak a levelekről verődik vissza, hanem a levél száráról, az avarról, valamint a talajról visszaverődő jelek ismét beleütköznek a növény valamelyik részébe. Ha a radar hullámhossza közel azonos az átlagos növényi alkotórészek méretével, akkor a visszaverődés erős. Ugyancsak erős visszatérő jelek kapunk, ha sűrű a növényborítottság. Általában a rövidebb (2–6 cm) hullámhosszak alkalmasak termésvizsgálatra és a levélborítottság mérésére. Hosszabb hullámhosszaknál (10–30 cm) a fa ága, törzse figyelhető meg jobban (ezek a megállapítások a repülőgépes mikrohullámú megfigyelésekre vonatkoznak).

A hullámhossz és a növényméret összefüggésén kívül egyéb tényezők is meghatározzák a növényzetről visszaverődő radarjelek erősségét, mint pl. a radarjelek polarizációja. Az azonos polarizáltságú (HH vagy VV) hullámok jobban áthatolnak a növényzeten, mint a keresztpolarizált (HV vagy VH) hullámok.

Víz- és jéghatás

A sima vízfelszín szinte tökéletes visszaverőnek minősül, így kevés jel jut vissza az érzékelőhöz. A SEASAT tapasztalatai alapján (L-sáv, 20–26° rálátási szög) a 100 méternél hosszabb hullámhosszú, 1 m-nél magasabb tengeri hullámok már észlelhetők.

A jégről visszaverődő jelek erőssége függ a dielektromos konstanstól és a jég eloszlásától, továbbá a jég korától, a felszín érdességétől, a hőmérséklettől, valamint a hóborítottságtól. Az X-sáv alkalmazható a jég típusának meghatározására, míg az L-sávban a jégborítás területileg is mérhető jégtípus és jégvastagság adatok nélkül.

2. A SEASAT műhold

Ezt az igen rövid életű, de mégis nagyhatású műholdat 1978. június 27-én indították útjára a kaliforniai Vandenberg Légibázisról egy Atlas hordozórakétával. Az energiaellátó rendszer hibája miatt az 1502. pálya után a műhold működése leállt 1978. október 9-én. A 106 napos repülés alatt, 70 napon készültek értékelhető felvételek. A műhold feladata a jég és a tenger monitoring, valamint a geológiában, a térképészetben és az erdőgazdaságban alkalmazható megfigyelések elvégzése volt.

A műhold pályája közel-poláris, az inklináció 108°, a pályamagasság 800 km, a lefedett terület szélessége 100 km, a keringés ideje 101 perc.





A SEASAT műhold összes szenzora mikrohullámú szenzor volt:

- SAR (Synthetic Aperture Radar) L-sávú radar polarizációja HH, a rálátás szöge 20°. A felbontás 25x25 m. A spektrális tartomány: 1275 MHz, amely 23 cm-es hullámhossznak felel meg. A lefedett terület szélessége 100 km. Az 1024 elemes antenna mérete 10,7x2,4 m. A SEASAT SAR rendszere az első SAR rendszerű berendezés, amelyet a földi megfigyelésben használtak.
- 2. SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) pásztázó többcsatornás mikrohullámú radiométer feladata a tengerfelszín hőmérsékletének, a szélsebességnek, a csapadék mennyiségének, a légköri víztartalomnak és a jég állapotának a mérése, vizsgálata. A spektrális tartományok: 6,6 GHz (45 cm), 10,7 GHz (28 cm) és 18 GHz (17 cm).

³L. Fu – B. Holt: Seasat Views Oceans and Sea Ice with Synthetic-Aperture Radar - NASA-JPL Publications 81-120 (1982)

- RA Radar Magasságmérő (Radar Altimeter) az első nagypontosságú (10 cm) magasságmérő, mely a 13,499 GHz-es frekvencián (Ku-sáv, 2.függelék), az óceáni áramlásokat, a szélsebességet és a hullámmagasságot mérte.
- 4. RS Radar Szkatterométer (SASS = Seasat-A Scatterometer System) feladata az óceánok felett fújó szelek vizsgálata a 14,599 GHz-es frekvencián, 2 km-es nadír felbontással, 750 km szélességben.

3. AZ ERS műholdprogram

3.1. ERS-1 program

Az ERS-1 program része az ESA (Európai Űrügynökség–European Space Agency) Európai Földmegfigyelési Programjának (European Earth Observation Programme, EEOP), mely számos tudományterületnek nyújt segítséget, így pl. meteorológia, klimatológia, óceanográfia, földi erőforráskutatás, geodézia, geofizika, stb. Az ERS program (European Remote Sensing Satellite Programme) az ESA, valamint a csatlakozó Norvégia és Kanada kezdeményezésére jött létre. Az EEOP program célja, hogy a közreműködő országok részt vegyenek a földi erőforrások feltárásában és a környezeti monitoringban. Az ERS-1 program elsődlegesen a jég és az óceán monitoringjára irányult, valamint a szárazföldek és a partmenti területek vizsgálatát tűzte ki célul. Főbb feladatai:

- 1. példákkal, alkalmazásokkal segítse az óceán, a tenger és a jég állapotának, a lejátszódó folyamatok törvényszerűségeinek jobb megismerését,
- 2. széleskörű ismeretet szolgáltasson a parti területeken és az óceánban lejátszódó folyamatokról,
- 3. az atmoszféra-óceán kölcsönhatás vizsgálata,
- 4. előrelépés az óceáni áramlások és energiaátadás megismerésében,
- 5. az arktikus, antarktikus jégtömeg változásainak és egyensúlyának becslése,
- 6. a dinamikus partmenti folyamatok és a szennyeződések monitoringja,
- 7. területhasznosítási változások hatásainak értékelése.

Mindezeket az igényeket számos egyedi eszköz segítségével érték el és a teljes rendszer (a földi és az űrbeli eszközök együttese) elsődleges feladata, hogy mindig, esetleg néhány órán belül, a világ bármely pontján felhasználható terméket állítson elő. Az ERS-1 távérzékelési, geodéziai célokat szolgált és egyben előfutára volt az 1990-es évek közepére, végére tervezett új műholdgenerációnak.

Az ERS-1 ismétlődő, globális megfigyelést végez mikrohullámú berendezései segítségével. A radar alkalmazása biztosítja a folyamatos mérést és képkészítést az időjárási viszonyoktól függetlenül. A radar áthatoló képessége kiküszöböli a változó napsugárzási feltételeket, valamint a felhőborítottságot.

A műhold számos olyan paraméter mérését végzi, melyeket korábban egyetlen műholdon sem mértek. Ezek közé tartozik az óceáni áramlatok vagy a tenger/jég felszínek tanulmányozása. A mérési pontosság és az új mért paraméterek mellett a mikrohullámú tartományban vizsgált földfelszíni terület növekedése is fontos eredménynek számít. A sarki területekről vagy a déli félteke óceánjairól eddig kevés adat gyűlt össze, most ezek a területek is a vizsgálat tárgyát képezték.

A fedélzeti műszerek tervezésénél fontos szerepet játszott az az igény is, hogy lehetőség legyen a kiválasztott terület néhány órán belüli ismételt vizsgálatára. Ez elsősorban a gyakorlati meteorológia, a tengerállapot előrejelzés és a tenger-, jég-mozgás monitoring szempontjából kiemelkedő lehetőség. A fontosabb információ-felhasználók a tengeri és a partmenti hajózásban résztvevők.

- E feladok megoldása érdekében az alábbi műszereket helyezték el az ERS-1 műholdon:
- 1. Az Aktív Mikrohullámú Berendezés (Active Microwave Instrumentation, AMI) kombinálja a SAR és a szél vizsgáló egység funkcióit a víz hullámzásának, a sarki jég, a parti zóna megfigyelésének céljából,
- 2. Radar Magasságmérő (Radar Altimeter) földfelszíni tárgyak és a hullámok magasságmérésére, szélsebesség mérésre és a különböző jéggel kapcsolatos paraméterek mérésére,
- 3. Pásztázó Radiométer (Along-Track Scanning Radiometer, ATSR) infravörös radiométer a tengerfelszín és a felhők tetejének hőmérsékletmérésére,
- 4. Mikrohullámú Szonda (Microwave Sounder, MWS) passzív mikrohullámú radiométer az atmoszféra teljes kicsapódó vízgőztartalmának mérésére, az ATSR része,
- 5. Nagypontosságú Távolságmérő (Precise Range and Range-rate Equipment, PRARE) nagypontosságú távolságmérés az óceánok áramlatainak megfigyelésére, valamint geodéziai alkalmazás, pl. tengerfelszín topográfiája, kéreg- dinamika mérése,
- 6. Lézer Reflektor (Laser Retroreflector) passzív optikai eszköz a pontos földi irányítás céljából,
- 7. Szélsebességmérő (Wind Scatterometer) a tengerfelszíni szélsebesség (erősség és irány) mérésére.

10.4. ábra - Az ERS-1 berendezései a műholdon ⁴



10.5. ábra - Az ERS-1 főbb egységei oldalnézetben 5

⁴ESA ESRIN ERS-1 - in:http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-97/ceos1/satellit/ers/paysum.htm ⁵ESA ESRIN ERS-1 - in:http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-97/ceos1/satellit/ers/paysum.htm



Az Aktív Mikrohullámú Berendezés – AMI

Az AMI két üzemmódban tevékenykedik: (1) képkészítő (Imaging Mode), és (2) hullám módban (Wave Mode).

A SAR képalkotó üzemmód esetén 100 km széles szalagszerű, nagyfelbontá-sú képet készít a repülési pálya irányában jobb kéz felé eső területről (IV.6. ábra). A 10 m hosszú antenna, mely párhuzamos a repülés irányával, egy impulzust küld a földfelszín felé. A kép fokozatosan épül fel a visszatérő jelekből időkésésük és intenzitásuk alapján. Az időkésés és az intenzitás elsősorban a felszín egyenetlenségétől, elektromos tulajdonságától, valamint a műhold és a felszín távolságától függ. A képkészítő üzemmód kizárja a többi SAR üzemmód egyidejű működését, és az intenzív energiafelhasználás miatt a képkészítő üzemmód ideje maximum 12 perc minden egyes pályán. Az adatfelvételezési és átviteli sebesség rendkívül nagy, 105 Mbps, így a fedélzeti adatrögzítés lehetetlen. A képek csak a vevőállomások körzetében készül-hetnek és ezek azonnal beérkeznek az adatok vételére alkalmas állomásokra.

10.6. ábra - Az ERS-1 AMI kép mód geometriája⁶

⁶ http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet83/images/franf13.gif



Hullám módban a SAR a tengerhullámzás okozta radarvisszaverődési változásokat méri. Ebben az üzemmódban egy 5x5 km²-es területről (10.7. ábra) készül kép (inkább csak képszerű adatformának nevezhetjük) a pálya vonalában 200 km-es intervallumonként. Ezek a képek információt nyújtanak a tengerhullám terjedési irányáról és hullámhosszáról. Ilyen képsorozatok alkalmasak a szélviharok keltette pusztító hullámok felderítésére.

10.7. ábra - Az ERS-1 AMI hullámmód geometriája7

⁷ http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet83/images/franf13.gif



A Radar Magasságmérő - RA

A radar magasságmérő egy nadír helyzetű radar, amely az óceán és a jégfelszín által visszavert jeleket méri. Két üzemmódja van: (1) az óceán és a (2) jégvizsgáló mód. Óceánvizsgáló módban a hullámok magasságát, a tengerfelszíni szélsebességet és a tengerfelszín emelkedését érzékeli. Ezek segítségével tanulmányozhatók az óceánok áramlásai, az árapály jelenség és a Föld geoid alakja. Jégvizsgáló módban, nagyobb felbontás mellett, a jégtípusokról, a sarki jégsapkák felszínéről és a tenger–jég határokról kaphatunk értékes adatokat (10.8.ábra).

10.8. ábra - Az RA sávok 3 napos és 35 napos ismétlődési ciklusban ⁸

⁸ ERS-1 User Handbook – ESA SP-1148, 1992. pp. 8.



ATSR - Sávmenti Pásztázó Radiométer

Az ATSR két berendezést tartalmaz: (1) infravörös radiométer (IRR) és (2) mikrohullámú szonda (MWS).

A 4-csatornás IRR (InfraRed Radiometer) a tengerfelszín és a felhőtető hőmérsékletét méri, nagyobb pontossággal, mint a korábbi műholdakon elhelyezett hasonló műszerek. A pásztázó technika két különböző irányzás (0° és 52°) mellett alkalmazható, így 500 vagy 700 km széles földfelszíni sáv vizsgálható. Ha az 50x50 km²-es terület felhőborítottsága kisebb, mint 80 %-os, akkor a tengerfelszín hőmér-sékletének mérésekor az abszolút pontosság kisebb, mint 0,5° K. Ha az 1 km²-es terület teljesen felhőmentes, akkor a relatív pontosság 0,1°K.

Az MWS (MicroWave Sounder) mikrohullámú szonda, amely fizikailag az ATSR része, egy passzív 2csatornás (23,8 és 36,5 GHz) radiométer. Az MWS egy 60 cm-es, oldalra tekintő, paraboloid alakú antennát használ. A mikrohullámú szonda az alsó-légkör 20 km vastag rétegének teljes vízgőztartalmát méri és eredményei pontosítják a tengerfelszín hőmérsékleti adatokat, valamint egy pontos troposzféra kiterjedéskorrekcióval segíti a radar magasságmérő tevékenységét.

A Nagypontosságú Távolságmérő - PRARE

A PRARE-t olyan műszerként kívánták üzemeltetni az ERS-1 műholdon, mellyel meg lehetett volna határozni a műholdpálya szabálytalanságait, valamint geodéziai méréseket végeztek volna a műszerrel. Ez az ígéretes műszer, bármilyen időjárási feltétel mellett, nagypontosságú helymeghatározásra lett volna képes, de a felbocsátás után a külső sugárzás tönkretette a RAM-ot (Random Access Memory). Ez azt jelenti, hogy az ERS-1 műholdról nem érkeztek PRARE jelek a műhold működési ideje alatt. A továbbfejlesztett PRARE változatot az ERS-2 műholdon helyezték el.

A Lézer Reflektor - LR

A lézer reflektor egy passzív optikai berendezés. A földi állomás lézerének jelét veri vissza a berendezés, így a műhold magassága pontosan meghatározható.

A Szélsébességmérő - WS

A WS segítségével mérhető a tenger felszíne felett fújó szél sebessége és iránya. A mérés nem közvetlen sebességmérés. A szél által kialakított hullámzás megváltoztatja a radarjel visszaverődését és ezt érzékeli a szenzor. Leegyszerűsítve a mérés elvét elmondható, hogy minél erősebben fúj a szél, annál nagyobb hullámok

keletkeznek és ezzel együtt módosul a visszaverődés is. A három oldalra tekintő antenna (előre, középre és hátra) pásztázza az 500 km széles sávot. A szélsebesség vektorokat 25 km-es felbontásban adják meg, amelyeket az 50x50 km-es felbontási alapterület középpontjához rendelnek.

Az ERS-1 pályasajátosságai

Az ERS-1 napszinkron, közel-poláris, közel-cirkuláris pályán kering 785 km-es magasságban. A pálya inklináció szöge 98,5°.

Az ERS-1 működése alatt, 1991. július 17-től, a különböző kutatási igények-nek megfelelően többször változtatták a pályát. A felbocsátás utáni inicializálási fázisban 3-napos ismétlődésű, 785 km magas pályán (referencia pálya) keringett a műhold. Ebben az időszakban a műhold nagy gyakorisággal haladt át azok fölött a kijelölt kalibrációs helyek fölött, melyeknek ismert volt a pontos földrajzi fekvése és a mikrohullámú sugárzással kapcsolatos tulajdonságaik. Egy másik, hasonlóan 3-napos ciklus alatt vizsgálták a sarki jégtakarót a téli évszakban. A 3- napos ciklus hátránya a korlátozott globális lefedésű SAR képkészítés, valamint a radar magasságmérések egymáshoz képest távoli helyzete. A nagy gyakoriságú ismételt lefedést biztosító pálya a műhold teljes működési ideje alatt mindössze kétszer szerepelt a tervekben.

10.2. táblázat - Az ERS-1 pályatulajdonságai a működési szakaszokban

	szakasz		
tulajdonság	bevezető	többcélú	jégvizsgáló
ismétlődés periódusa (nap)	3	35	3
fél főtengely hossza (km)	7153	7159	7153
inklináció (°)	98,516	98,543	98,516
átlagos magasság (km)	785	782	785 km
pálya szám periódusonként	43	501	43
referencia hosszúság emelkedő pálya esetén	24,36°K	20,96°K	128,2°NY
egyenlítői áthaladás leszálló pályán	10 ó 30 p	10 ó 30 p	10 ó 30 p

10.3. táblázat - Az ERS-1 tervezett tevékenységei a repülés ideje alatt

fázis	ciklus	indítás	befejezés
bevezető szakasz	3 nap	91.08.03.	91.12.10.
jégvizsgáló 1. szakasz	3 nap	91.12.28.	92.03.30.
többcélú szakasz	35 nap	92.04.15.	93.12.15.
jégvizsgáló 2. szakasz	3 nap	94.01.01.	94.03.31.
geodéziai szakasz	176 nap	94.04.15.	-

A műhold működési idejének nagyobbik részében 35-napos pályaismétlődési ciklus szerint üzemelt. Ebben a fázisban a SAR képek a teljes földfelszínt lefedik, a közepes és a magasabb szélességeken egy ciklus alatt kétszer is fedésbe kerülnek a területek. A 60° szélességen a radar magasságmérési sávok távolsága csak 39 km.

A 176-napos ciklus idején speciális feladatokat végzett a műhold. Ekkor történt az átlagos tengerfelszín és a Föld alakjának nagyobb gyakoriságú érzékelése a Radar Magasságmérővel. Az Radar Magasságmérő korlátozta a többi műszer egyidejű működését, ezért a fázis a működési idő végére került (geodéziai fázis). Két irányított érzékelési szakasz közötti időszakot a pályaátállítás folyamata kötötte le.





Az óceánok elsődleges áramlásait a szél mozgatja, ezért a szélmezők, mint fő energiaforrások ismerete alapvető fontosságú. Az általános cirkulációban szerepet játszik a sókoncentráció, a tengerfenék topográfiája és a partvonalak futása. Az óce-áni cirkulációt leíró jelenlegi numerikus modellek képesek ugyan a főbb tulajdonságokat nagymértékben szimulálni, de tesztelésükre csak néhány területen, pl. a Golf-áramlásban és az USA parti sávjában került sor. Következésképpen ezek a modellek Golf-áramlás centrikusak és kevésbé pontosak a magasabb szélességek területén. A maximális sebességű áramlatok a Ny-i partvidékről indulnak, pl. a Golf-áramlás, melynek sebessége Floridánál 120 cm/s, míg más áramlásokban a víz sebessége tipikusan 20-30 cm/s. A nyugodt tengerfelszín magasságkülönbsége 100 km-es szélességben elérheti a 130 cm-t is. Ez a jelenség érzékelhető mind a magas-ságmérővel (RA) mind az infravörös radiométerrel (ATSR). Az óceánok felső 20–50 m-es rétegében jelentős emelkedések keletkeznek a változó szélrendszerek követ-keztében. Ez a réteg majdnem azonos az ún. hőtároló réteggel. Ebben a rétegben a hőátadást közvetlenül befolyásolja a szél és a különböző meteorológiai jelenségek, különösen a közepes és a magasabb szélességeken. Jelenleg a hőtároló réteg hőháztartását hajókon elhelyezett mélységi termométerekkel mérik. A felső vízréteg (0–200 m) hőmérsékletének 1 °C-kal történő emelkedésekor a vízoszlop magassága 5 cm-rel nő, ezért az ERS-1 magasságméréseiből a hőmérséklet változására lehet következtetni.

10.4. táblázat - Az ERS-1 műszerek alkalmazási lehetőségei

Az ERS-1 alkalmazási lehetőségei

⁹ ERS-1 User Handbook – ESA SP-1148, 1992. pp. 8.

tevékenység/mó	RA+	ATSR	AMI kép	AMI hullám	AMI szél
d	PRARE				
időjárás előrejelzés		+			+
tengerállapot jelzés	+			+	+
tengerparti tevékenység	+	+		+	+
hajózás	+	+		+	+
halászat	+	+			+
tenger/jég monitoring	(+)	(+)	+		
olajszennyeződé s vizsg.		+	+		
parti folyamatok		+	+		
szárazföldi alkalmazás	(+)		+		
tengeráramlások	+	+	(+)		+
árapály jelenségek	+				
szélsebesség	+		(+)	+	+
hullámzás	+		(+)	+	+
tenger hőmérséklet		+			
sarkvidéki óceánok	+	+	+	+	+
szárazföldi jég	+	(+)			
tengerbiológia		(+)			

+ elsődleges felhasználás, (+) másodlagos felhasználás

Az óceáni áramlatok rendelkeznek széles spektrumú energetikai mozgásokkal, főként örvénylések formájában. Ezek általában néhány fokkal melegebbek vagy hidegebbek, mint az őket körülvevő óceán vize. Emiatt a tengerfelszín magassága 10–50 cm-rel változik az örvény keresztmetszetében, amit a magasságmérő már érzékelni tud.

Az óceán felszínének távolsága a Föld középpontjához viszonyítva nemcsak a hullámzás és az áramlás függvénye, hanem azt a Föld belső összetétele is módosítja. A belső összetétel változása módosítja a Föld

gravitációs mezőjét és a változás a tenger felszínének domborzatában is jelentkezik. A magasságmérő adatainak segítsé-gével készített átlagos tengerfelszín topográfiai térkép a tengeri geoid térképe.

3.2. ERS-2 műhold

Az ERS-1 program folytatásaként 1995. április 21-én elindult az ERS-2 nevű műhold, mely kiépítésében szinte teljes egészében megegyezik elődjével. A műszerek finomodtak, és egy új műszer, a légkör kémiai összetételét vizsgáló GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) nevű berendezés került a fedélzetre.

Az ERS-2 pályája napszinkron, közel-poláris, az inklináció 98,5° (retrográd pálya). A műhold leszálló pályán 10 óra 30 perckor halad át az Egyenlítő felett. A műholdpálya átlagos magassága 780 km. Mindkét ERS műhold keringési periódusa 35 napos, de egyes műszerekkel akár 3 naponta is felvételezhető ugyanaz a terület. A műholdakat közös tevékenységi idejük alatt úgy hangolták össze, hogy az ERS-2 egy nappal kövesse az ERS-1 műholdat.

A műhold energiaellátását két darab 5,8x2,4 m-es napelemszárny biztosítja (1 kW). A 66 perces megvilágított pályaszakaszon az elemek feltöltődnek, és biztosítják a műszerek energiaellátását a 34 perces árnyékos pályaszakaszon.

A műholdak 3-tengely mentén stabilizáltak. Az Y tengely mutat merőlegesen a Föld irányába.

Az ERS-2 tudományos berendezései

Az AMI (SAR berendezés) képalkotó és hullámmódban, valamint egy szél módban (szkatterométer) működik. Mindegyik módban az észlelés a másiktól függetlenül folyhat, de a vizsgálataik át is fedhetik egymást a szél/hullám módban.

Képalkotó módban nagyfelbontású kép készül 100 km-es területről. A nagyfelbontású mód mellett, egyéb képkészítő módban is üzemelhet az AMI. Egyedüli korlátozás, hogy egy pályán maximum 10 percre elegendő energiát termelnek a napelemek. Az adatok 100 Mbps sebességgel állnak elő, ezért fedélzeti tárolás nem lehetséges, a műhold ebben az üzemmódban csak a megfelelően felszerelt földi állomások adott körzetében tud működni.

Hullámmódban a felbontás 5x5 km, a lefedett terület szélessége 200 km. A viszonylag alacsony sebességű adatáram miatt fedélzeti tárolás és egyben globális fedés is lehetséges. Szélmódban 3 antenna sugároz jeleket a Föld irányába. A lefedett terület szélessége 500 km.¹⁰

Az ATSR, az ERS-1 műholdon elhelyezett berendezéshez hasonlóan, egy infravörös radiométert (IRR) és egy mikrohullámú radiométert (MWR) foglal magába. Az IRR a látható fény tartományába eső három új sávval egészült ki.

Az ATSR fő feladata a tengerfelszín hőmérsékletének mérése. Az 50x50 km-es területre átlagolt hőmérsékletmérés abszolút pontossága 0,5 °K-nál jobb, feltéte-lezve, hogy a felhőfedettség egy pixelnyi területen belül nem nagyobb 20 %-nál. Az infravörös tartományokat az 1,6, a 3,7, a 11 és a 12 μm-es hullámhossz jellemzi. A felbontás nadírban 1x1 km.

Az MWR berendezés két csatornán, 23,8 és 36,6 GHz-en működik, mindkét csatorna szélessége 400 MHz.

Az ERS-1 műholdon tönkrement PRARE nagypontosságú távolságmérő berendezés továbbfejlesztett változatát helyezték el az ERS-2 műholdon. A sugárzás-érzékeny RAM-ot sugárzástűrő memóriára cserélték és szoftvert is módosították, ezen kívül egy második PRARE berendezést is elhelyeztek az ERS-2 műholdon.

A 2-csatornás berendezés jeleket továbbít a földi állomásokra az S- (2,2 GHz) és az X-sávokban (8,5 GHz). Az állomások veszik a jeleket és mérik az egyszerre kibocsátott jelek késését, mely az ionoszférikus refrakció következménye. A demodulált jeleket visszasugározzák a műholdra, melyen a kétszeres út megtételéhez szükséges időt mérik. Ennek ismeretében a műhold távolsága számítható. Négy földi állomás és a műhold egyidejű mérésével a műhold pontos pozíciója kiszámítható (a mérési elv hasonló a GPS-es helymeghatározáshoz, ahol 4 műhold és 1 vevőállomás szükséges a vevő helyének meghatározásához.

¹⁰ http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet83/fran83.htm

A GOME egy hiperspektrális UV–látható fény–közeli infravörös spektrométer, melyek spektrális felbontása 0,2–0,4 nm a 0,240-0,790 µm-es hullámhossz-tartományban. A globális vizsgálat során vizsgált molekulák: O₃, NO (40 km felett), NO₂, H₂O, O₂/O₄, míg a részleges vizsgálatok során vagy, eseti méréseknél a SO₂, HCHO, OClO, ClO, NO₃ mennyiségét határozzák meg, valamint aeroszolok és sarki sztratoszférikus szelek vizsgálata is végezhető.

4. A RADARSAT műholdprogram

4.1. A RADARSAT-1

A RADARSAT-1 az első kanadai (CSA/CCRS-Canadian Space Agency/Canadian Center for Remote Sensing) távérzékelési földmegfigyelési célú műhold, amelyet 1995. november 4-én indítottak el.¹¹ Fedélzetére egyetlen műszert, egy SAR radarrendszert helyeztek el. Várható élettartama 5 év. A műhold összsúlya 3 tonna és napelemei 3,4 kW energiát termelnek. A SAR antenna is tekintélyes mérető 15x1,5 m (10.10. ábra).

10.10. ábra - A RADARSAT-1 műhold felépítése ¹²



A RADARSAT-1 tervezésekor figyelembe vették, hogy mely frekvenciák biztosítják a legtöbb hasznosítható információt és ennek érdekében tanulmányozták a multifrekvenciás repülőgépes SLAR rendszerek eredményeit. Végül egy olyan 1-csatornás radar mellett döntöttek, amely a fedélzeti számítógép ellenőrzése mellett, különböző módokon működik. A C-sáv (2.függelék) bizonyult optimálisnak, hiszen egyetlen sávként ez hordozza a legtöbb alkalmazási lehetőséget. A fedélzeti számító-gép programozásával napi menetrendet készítenek. Ez alapján, a napi tevékenységek időrendi sorrendje szerint, a műszer a megfelelő üzemmódban bekapcsol a vizsgálni kívánt terület fölé érve, majd kikapcsol, ha elhagyja azt.

10.5. táblázat - A RADARSAT-1 technikai jellemzői

	specifikáció	érték
műhold	teljes tömeg (kg)	3000
napelemek teljesítménye (W)	3400	
adatrögzítés	2 nagysebességű mágnesszalag egység (15 perces kapacitás)	

11 RADARSAT Int. - in:http://www.rsi.ca/index.asp

¹² H.J. Kramer: Earth Observation Remote Sensing – Springer-Verlag 1992 pp.155.

pálvaadatok	periódusidő (perc)	101
F	r ···· (r ···)	
napi fordulatszám	14,29	
ismétlődés (nap)	24 (teljes)	
	7 és 17 (alciklus)	
magasság (km)	798	
hajlásszög	98,6°	
SAR	frekvencia (GHz)	5,3 (C-sáv 5,6 cm)
polarizáció	НН	
működési idő (perc/pálya)	28	
antenna méret (m)	15x1,5	

A SAR antenna egy soros, többelemű antenna. Az állandó amplitúdójú impulzus meghatározza a radarhullám alakját. A jel fázisa programozható és változtatható a sugárnyaláb szélessége, valamint a besugárzás szöge. A sugárnyaláb szélességének változása maga után vonja a lefedett terület méretének változását. Ha az adott üzemmódban kisebb területet vizsgál a műhold, akkor javul a felbontás.

A sugárnyaláb irányának változása együtt járhat a besugárzási szög módosításával is. Ez lehetővé teszi, hogy a földfelszín egy adott helye több irányból is vizsgálható legyen, így további információ nyerhető a felszínformákról a besugárzási szög függvényében. Ebből következik, hogy a rendszer alkalmas sztereoképpárok előállítására és hasznosítható a geomorfológiai megfigyelésekben vagy a topográfiai térképezésben.

Ha a földfelszín adott területe nem érzékeny a besugárzási szög változására, akkor a felvételek gyakoriságának növelésével biztosítható a vizsgálat eredményessége. A SAR különböző üzemmódjai és az azokon belüli, változtatható irányzási szögek eltérő alkalmazásokat tesznek lehetővé (10.11. ábra). Például a nagylátószögű üzemmód különösen alkalmas az úszó jéghegyek és a partmenti jégszigetek vizsgálatára.





10.6. táblázat - A RADARSAT-1 SAR üzemmódjai

¹³Nat. Univ. of Singapure: Radarsat – in:http://www.crisp.nus.edu.sg/rsat/rsat.html

üzemmód	lefedett terület szélessége (km)	felbontás (m)	besugárzási szög
normál	100	28x30	20–49°
nagyfelbontású	55	8x8	30–49°
szélessávú	150	28x35	20–39°
teljes szélességű	500	100x100	20–49°
kiterjesztett	75	28x20/28x50	49–60°/10–23°

A RADARSAT-1 pályáját szintén a legsokrétűbb alkalmazási lehetőségeknek megfelelően választották. A pálya ismétlődési periódus 24 nap és a műhold naponta megközelítőleg 14,33 fordulatot tesz meg. A RADARSAT-1 alciklusa 7 napos.

Az Egyenlítő mentén, a 100 km széles üzemmód választása mellett, a 24 napos ciklus alatt teljes lefedés érhető el. Az északi sarkkörön túl, a 70° északi szélesség mentén, 500 km széles pásztázási móddal naponta készíthetők teljes fedésű radarképek. A tervek szerint elkészítették az Antarktisz első nagyfelbontású térképét, egyszer maximális, egyszer minimális jégborítás idején.

A pálya napszinkron. A délről északra történő (emelkedő pályaszakasz) egyenlítői keresztezés mindig de. 6 órakor történik helyi idő szerint. Ez a többi műholdhoz képest korai keresztezés csökkenti a vevőállomások zsúfoltságát.

4.2. A RADARSAT-2 műhold

A RADARSAT-2 műhold (10.12. ábra) a RADARSAT műholdprogram második tagja, felbocsátása 2007. december 14-én történt.¹⁴ A kiváló minőségű adatok iránt egyre növekvő igény, valamint a teljes lefedés biztosítása érdekében 3–100 m térbeli felbontású képeket képes a RADARSAT-2 előállítani, a lefedett terület szélessége 20-tól 500 km-ig terjed. A műhold tervezett élettartama 7 év.

10.12. ábra - A RADARSAT-2 műhold modellje



A műholdpálya napszinkron, magassága 798 km, az inklináció 98,6°. A keringési idő 100,7 perc, az ismételt fedések közötti idő 24 nap, legszélesebb lefedés esetén a 70° szélességeken naponta, az Egyenlítő mentén 2-3 naponta lehetséges ismételt fedés.

RADARSAT-2 műhold SAR berendezése

A műhold legfontosabb berendezése a C-sávban (5,405 GHz) működő SAR (Synthetic Aperture Radar), mely lényegét tekintve megegyezik a RADARSAT-1 hasonló berendezésével. A SAR berendezés 4-féle üzemmódban tevékenykedik:

¹⁴ http://poes.gsfc.nasa.gov/history/history_home.htm -

1. standard és szélessávú,

- 2. polarimetrikus,
- 3. finom felbontású,
- 4. ScanSAR.

A RADARSAT-2 nemcsak új képkészítő módokban tud üzemelni a RADARSAT-1 műholdhoz képest, hanem minden módban lehetséges mind vízszintes mind függőleges polarizáltságú mikrohullámok alkalmazása.

A széleskörű alkalmazási lehetőségek közül bizonyára ki fog emelkedni a mezőgazdasági termésbecslés és monitoring, a trópusi erdők megfigyelése, a tengeri jég eloszlás térképezése (10.13.ábra¹⁵) és az ásványvagyon feltárása érdekében végzett geomorfológiai információgyűjtés.

Fontos információk gyűjthetők a tenyészidőszak alatt. A növényzet növekedésének elemzésével modellezhető a tenyészidőszak hossza és becsülhető a terméshozam. Mindez segít az árak, a tárolás, a szállítás tervezésében.

A kanadai tapasztalatok azt mutatják, hogy a radaradatok segítségével térképezhető a kivágott erdőterület, e területen az újranövekedés, valamint a szállítási útvonalak hálózata. Ezek az eredmények és alkalmazások átvihetők a trópusi területekre, ahol az állandó felhőzet akadályozza más módszerek alkalmazását. Ez nemcsak az erdőgazdálkodásban hozhat új eredményeket, hanem megbecsülhető, hogy az erdőirtás mekkora hatással bír a globális klímára.

A RADARSAT alkalmazásának fontos területe a partmenti hajózás biztonságának a növelése. A magasabb szélességeken az úszó jéghegyek mozgását könnyen nyomon lehet követni a radar térképek segítségével, de emellett információt kaphatunk a tenger állapotáról, az esetleges olajfoltok kiterjedéséről, a halászhajók mozgásáról. A radar adatok felhasználásával az óceánok dinamikája is vizsgálható, pl. az áramlatok, az örvénylések és a hullámok terjedése.

10.13. ábra - Grönland jéggel borított partvidéke

¹⁵Canadian Space Agency RADARSAT-1 Products – in:http://www.rsi.ca/products/gallery/rs1.asp



Különösen Kanada számára, de más halászattal, tengeri nyersanyagkiterme-léssel, sarki kutatással foglalkozó országok számára is fontos a tengeri jég kiterje-désének térképezése. Különböző számítógépes programok segítségével lehetővé vál-hat napi jégkiterjedési térképek előállítása, amelyekkel értelmezhető a jég dinami-kája. Ez igen hasznos a hajózási utak tervezésében és támogatja a nyílttengeri érc- és kőolajkutató állomások kialakítását.

A szárazföldi ásványkutatásban a radaradatok elsősorban a szerkezeti formák feltárásában, a különböző kőzettestek elhatárolásában nyújtanak segítséget. Itt jelent-kezik igazán a változtatható beesési szög szerepe. A referencia adatok, pl. a geofizi-kai adatok és a radar információk együttes alkalmazásával ugrásszerűen nőhet az

adatok információ-tartalma. A fedélzeti adatkapacitás a fogadóállomások körzetén kívül 10 perc. Fogadóállomások: Prince Albert (Saskatchewan), Gatineau (Quebec), Fairbanks (Alaszka).

5. A JERS-1 (FUYO-1) műhold

Japán első földi erőforráskutató műholdját (Japan's Earth Resources Satellite, JERS-1) 1992. február 11-én bocsátották fel a Tanegashima Űrközpontból. A NASDA által kifejlesztett JERS-1 működése a kezdeti szakaszban nem volt zavar-talan. A SAR antenna az első 11 megtett pályán nem üzemelt. Az első fázisban az OPS (optikai szenzor), majd a SAR (radarrendszer) ellenőrző rendszerét módo-sították. A műhold 12 m hosszú és 1,3 tonna súlyú (10.14. ábra).





A JERS-1 pályája ismétlődő, közel-cirkuláris, közel-poláris, napszinkron, az inklináció 97,6°. Az Egyenlítő felett a pálya magassága 568 km. A műhold a pálya leszálló szakaszán 10 óra 45 perckor metszi az Egyenlítőt. Egy teljes kör 96 percig tart és a műhold naponta 15 kört tesz meg. A Föld teljes felületének lefedésére, kivéve a sarkvidéki területeket, 44 napra van szükség. Az Egyenlítő menti szomszédos pályák átfedése 19 %-os. Bár a JERS-1 tervezett élettartama 2 év volt, a műhold több mint 6 évig működött és csak 1998. október 12-én fejezte be tevékenységét.

A JERS-1 szenzorai

A JERS-1, melyet később átneveztek FUYO-1-nek, az első volt abban a tekin-tetben, hogy fedélzetén együtt működött egy optikai szenzor (OPS, Optical Sensor) és egy radar rendszer (SAR, Synthetic Aperture Radar). A műhold legfontosabb feladata a Föld partmenti területeinek geológiai vizsgálata volt.¹⁷

A SAR rendszer 8 paneles antennájával több mint 1500 mikrohullámú impul-zust bocsátott ki másodpercenként a Föld irányába. Az antenna mérete 11,9x2,4 m. A SAR antenna 35,21°-os szögben állt (off-nadír pozíció) a műhold repülési iránya szerinti jobb oldalon. A leszálló pályán ez kelet-nyugati irányú pásztázást jelentett. A SAR rendszer a mikrohullámú sávok között az L jelű, 1275 MHz-es sávban (korábban a SEASAT műhold működött rövid ideig ebben a sávban), HH polarizációval üzemelt. A visszaérkező SAR jeleket 3 bites analógdigitális konver-ter egység alakította át digitális formába, majd közvetlenül a Földre továbbította ezeket vagy a

¹⁶ Remote Sensing Note (ed.: S. Murai) – Japan Ass. on Remote Sensing 1993. p. 109.

¹⁷ NISHIDAI, T.:Early results from "Fuyo-1" Japan s Earth Resources Satellite (JERS-1), Int. J. Remote Sensing, 1993, vol. 14, no. 9, pp. 1825-1833.

fedélzeti tárolón helyezte el és csak később továbbította a földi vevőállomásra. A geometriai felbontás 18x18 m, a lefedett terület szélessége 75 km volt.

Az OPS rendszer két alrendszerre osztható (1) a látható fény és a közeli-infravörös sávokban üzemelő VNIR (Visible and Near-InfraRed) radiométerre és (2) rövid hullámhosszú sávokkal rendelkező infravörös radiométerre, SWIR (Short Wavelength InfraRed). Az OPS rendszer 2 sávban készített képet a látható fény (zöld és vörös) tartományban és 2 sávban a közeli-infravörös tartományban. Utóbbiak közül a második alkalmas volt sztereoképek készítésére is. A visszavert rövid hullámhosszú, infravörös hullámokat 4 sávban rögzítette. A vonalas-soros CCD 4096 elemet tartalmazott. A térbeli felbontás 18,3x25,4 m, a lefedett terület szélessége 75 km, a radiometrikus felbontás 6 bit volt.

A SAR és az OPS rendszer a földi vevőállomások közelében képesek voltak egyidejűleg működni és biztosítani a valósidejű adatátvitelt. A Föld egyéb területei fölött, a vevőállomások vételkörzetén kívül, az adatokat a fedélzeti szalagos tárolón helyezte el a rendszer. Ez a működési mód viszont csak egy szenzor működését engedélyezte az adattárolási kapacitás és az adatátviteli sebesség (60 Mbps) miatt.

1 17 471 17

10./. tablazat -	- A JEKS-I	optikal rendszerenek	(OPS)	osszelogialo tablazata	

.

	sáv	hullámhossz (µm)
VNIR	1	0,520–0,600
2	0,630–0,690	
3*	0,760–0,860	
4	0,760–0,860	
SWIR	5	1,600–1,710
6	2,010-2,120	
7	2,130-2,250	
8	2,270–2,400	

*előre tekintő sztereokép-készítés

Az OPS rendszer 1992. március 12-én (egy hónappal a felbocsátás után) készítette az első képet, míg az első SAR kép, a számos technikai nehézség miatt csak április 15-én állt rendelkezésre. A fedélzeti adatrögzítő rendszer, az MDR (Mission Data Recorder) a sarki területek kivételével teljes fedést biztosított.

A JERS-1 SAR adatformátumok:

0. szint - feldolgozatlan adathalmaz

1. szint - részben feldolgozatlan adathalmaz csak tömörítés

1.1 szint - alap, standard képi termék

2.0 szint - képi termék

- 2.1 szint standardizált korrigált kép
- 3.0 szint pontos (térkép alapján) korrigált kép
- 4. szint korrigált (domborzati korrekció) kép
- A JERS-1 OPS adatformátumok:

- 0. szint feldolgozatlan adathalmaz
- 1. szint radiometrikusan korrigált kép
- 2. szint geometriailag korrigált kép
- 3. szint pontos (illesztési pontok felhasználásával) korrigált kép
- 4. szint korrigált kép illesztési pontokkal

5. szint - sztereokép

6. Az ENVISAT műholdprogram

Az Európai Űrügynökség (ESA) már korábban is tervezte poláris pályán ke-ringő meteorológiai és környezetkutató műhold pályára állítását. Az 1990-es évek elején korábbi sikeres programokra (SPOT, ERS) alapozva kívánták kialakítani a tudományos kutatást, az operatív meteorológiai elemzéseket és további alkalmazá-sokat támogató műholdrendszert. E többfunkciójú program kezdetben egyik eleme volt a Kolumbusz Űrállomás Programnak (Columbus Space Station Programme), illetve a funkciók szerepeltek a POEM-1 (Polar Orbiting Earth Observation Mission) program feladatai között is. Az ENVISAT műholdprogram végül a Polar Platform nevű fejlesztési program része lett. 1990-ben az ESA Tanácsa elfogadta a Polar Platform előterjesztést, s a SPOT-4 műholddal kapcsolatos tapasztalatokra é-pítve, 1991 elején indult volna el a tervek szerinti megvalósítás. 1995-ig számos költségcsökkentő döntést hoztak, így végül a POEM-1 programot két részre osztották, az ENVISAT és a METOP-1 programokra. Ezáltal a környezetkutató és a meteorológiai vizsgálatok két különböző műholdprogram keretében valósulnak meg.

Az ENVISAT pályasajátosságai és feladatai

Az ENVISAT (10.15.ábra¹⁸) közel-poláris, napszinkron pályán kering a Föld körül, kb. 800 km-es magasságban, a pálya inklinációja 98,55°.

10.15. ábra - Az ENVISAT műholdon elhelyezett berendezések

¹⁸https://earth.esa.int/instruments/tour-index/



A műhold leszálló pályáján 10 órakor halad át az Egyenlítő felett. A műhold 35-napos ciklusokban kering, de miután a legtöbb szenzora széles földfelszíni sávot fed le, egy-egy terület ismételt fedése 1–3 nap alatt lehetséges az adott hely szélességi értékétől függően. Ezek alól kivételek a függőleges szerkezeti vizsgá-latokat végző berendezések (MWR, RA-2), melyek az ERS-1, -2 műholdakhoz hasonlóan, csak szűk földfelszíni sávoknak megfelelő területeket elemeznek.

Az ENVISAT program fő célja, hogy Európa mind nagyobb súllyal vegyen részt a Föld megfigyelésében és a környezeti kutatásokban.

Elsődleges feladatok közé tartozik:

- 1. az ERS műholdak által megkezdett radaros megfigyelések folytatása,
- 2. tovább finomítani az ERS típusú megfigyeléseket elsősorban az óceánokra és a jéggel borított felszínekre vonatkozóan,
- 3. a környezeti változásokat okozó tényezők vizsgálata

4. növekvő részvétel a légkörkémiai és a tengerbiológiai kutatásokban.

Másodlagos feladatok közé tartozik:

- 1. a földi erőforrások még hatékonyabb kutatása,
- 2. a szilárd földfelszín folyamatainak jobb megértése.

Az ENVISAT berendezései

A MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer Instrument), egy toló-seprő pásztázó technikát alkalmazó, közepes felbontású képkészítő spektrométer, melynek teljes látószöge 68,5°-os. A Föld felszínéről visszavert napsugárzást a látható fény és az infravörös tartomány 15 spektrális sávjában méri, a térbeli felbontás 300 m. A MERIS 3 naponként globális fedést biztosít.

A MERIS feladata a tengerek színének és a partmenti vízfelszínek vizsgá-lata. A tenger színe összefüggésben van a klorofiltartalommal, a szállított hordalék mennyiségével és a tenger fölötti légréteg aeroszoltartalmával. Az óceán színére vonatkozó első vizsgálatokat a Nimbus-7 műholdon elhelyezett CZCS nevű berendezéssel végezték a NASA szakemberei 1978 és 1986 között. A következő 10 év-ben hasonló jellegű kutatások nem folytak. 1996-ban India útjára indította a MOS nevű német gyártású szenzort. Bár ezzel a műszerrel nem lehetett globális fedést elérni, mégis első forrása volt az újra megkezdett kutatásoknak. 1996. augusztu-sában Japán felbocsátotta a japán OCTS és a francia POLDER szenzort az ADEOS fedélzetén. Ezek a nagyon hatékony műszerek csak 1997 júniusáig tudtak működni, amikor a napelemek meghibásodása miatt a program befejeződött. 1997 augusztusában az USA elindította a SeaWIFS szenzort, mellyel jelenleg is biztosított a 2 naponkénti teljes fedés. Már napjainkban is és a jövőben még számos újabb szenzor fogja szolgáltatni az adatokat az óceánok színéről (GLI, MISR, MODIS, OCI, OCM, OSMI, POLDER-2). A MERIS segítségével mérhető még: a felhőtető ma-gassága, a vízgőztartalom, a szárazföldek feletti levegő aeroszoltartalma.

Az AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) elsődleges feladata az ATSR-1 és az ATSR-2 ERS szenzorok által megkezdett mérések folytatása a pontos tengerfelszín hőmérsékletmérések terén (SST – Sea Surface Temperature). A klímakutatás szempontjából alapvető fontosságú, közel 10 éves folyamatos mé-rés pontossága $\leq 0,3$ °K. A szenzor másodlagos feladata a szárazföldek, a vegetáció kvantitatív elemzése, pl. globális vegetációs indexek előállítása.¹⁹

Az AATSR az ATSR berendezésekhez hasonlóan két berendezésből: egy látható fény tartományába eső sávokkal kiegészített infravörös radiométerből (IRR – InfraRed Radiometer), és egy mikrohullámú radiométerből (MWR – MicroWave Radiometer) áll.

A tengerfelszín hőmérsékletét mérő korábbi 4-csatornás infravörös radiométert bővítették. A hét sávtartomány közepei: 0,55, 0,67, 0,87, 1,6, 3,7, 10,7 és 12 μm. A termális infravörös sávokban a földfelszín kisugárzását lehet érzékelni. A két irány (0° és 52°) mentén történő érzékelés révén a tengerfelszín hőmérsékle-tének mérési pontossága 0,5° K-nél jobb. A második és a harmadik hullámsáv megegyezik az AVHRR szenzor első két sávjával, amelyekkel a vegetációs indexek képezhetők és a térbeli felbontás nadírban, 1x1 km is hasonló az AVHRR felbontásához. A 0,55 μm középpontú sávban a klorofiltartalom mérhető, követ-keztetni lehet a növényzet egészségi állapotára a növekedés ütemére, stb.

Az MWR mikrohullámú radiométer, mely szintén az AATSR része, egy passzív kétcsatornás (23,8 és 36,5 GHz) radiométer. A mikrohullámú szonda az alsó-légkör 20 km vastag rétegének teljes vízgőztartalmát méri. Az adatok révén pontosabban adható meg a tengerfelszín hőmérséklete, valamint a berendezés troposzféra kiterjedés-korrekcióval segíti a radar magasságmérő tevékenységét. Az MWR segítségével pontosabb képet kaphatunk a felszín emisszióképességéről, a talaj nedvességtartalmáról, a felszín energiaegyenlegéről, stb.

A GOMOS az atmoszféra összetevőinek koncentrációját méri sajátos belső kalibrációs technikával. A kiválasztott csillagokból érkező sugárzást megméri, mielőtt a sugárzás áthaladna a Föld légkörén, majd ahogy a műhold pályáján továbbhalad, a csillagból érkező sugárzás a Föld légkörének egyre vastagabb szeletén halad át. A légkör alkotóelemei elnyelnek bizonyos hullámhossz-tartományokban sugárzást, így a csillag sugárzásának spektrális változása a légkör összetevőinek mennyiségével lesz összefüggésben. A GOMOS a csillagok sugárzását a 0,25–0,675, a 0,756–0,773 és a 0,926–0,925 µm-es sávokban méri, továbbá kiegészül két darab 0,47–0,52 és 0,65–0,70 µm-es sávú fotométerrel. Ezzel a mérési techno-lógiával a légkör függőleges ózon- és

¹⁹ ESA: ENVISAT Instruments- in:http://envisat.esa.int/instruments/

egyéb gáztartalma nagy pontossággal mér-hető. A GOMOS naponta 600-nál több, havonta több mint 18 ezer mérést végez.

	ASAR	GOMOS	RA-2	MERIS	MIPAS	MWR	LR	SCIA	AATSR	DORIS
légkör										
felhők				x	x			X	x	
vízgőz		x		x	x	x			x	
sugárzás háztartás		(x)		х	(x)	х		(x)	х	
hőmérsé klet/		х		х	х			Х		
légnyom ás										
nyom gázok		х			х			Х		
aeroszol ok		х		х	х			Х	х	
áramláso k		х								
szárazföl d										
felszín hőmérsé klet						(x)			(x)	
vegetáci	x			x					x	
ó tulajdon ságok										
mező- és erdőgaz dálkodás	х			(x)					(x)	
felszín magassá g	x		x				х		x	х
geológia és topográf ia	X		(x)						x	

10.8. táblázat - Az ENVISAT műszerek feladatai

hidrológ	x	(x)	X	(x)		X	
iai paramét erek							
áradások	x						
tűzesete k						х	
óceán							
óceán színe			x				
tengerfel szín hőmérsé klet						х	
felszín topográf ia		x			x		X
örrvényl ések			х				
hullámtu lajdonsá gok,szél	х	х					
tengeri geoid		x					
globális áramláso k		х				х	
parti dinamik a	х		х				
olajfolto k, tengerha józás	X						
jég							
tengeri jég térképez és	x	x	x	(x)			
hajózási útvonala	х						

k							
hőmérsé klet						х	
hófedés	x		x			х	
topográf ia	х	х			х		x
jégsapká k mozgása	x	x	x	(x)			

7. Az Okean-O sorozat

Egy 1977. május 7-én kelt rendelet értelmében a szovjet Védelmi Minisz-tériumot bízták meg 3 földi erőforráskutató műhold kifejlesztésével, bár maguk a műholdak semmilyen közvetlen katonai feladatot nem teljesítettek. Az Okean-O sorozat tagjai (10.16. ábra) Ukrajnában készültek, ezért a Szovjetunió felbomlása után hosszú ideig nem bocsátottak fel újabb műholdat. A műholdak segítségével elsősorban óceanográfiai jellegű adatok gyűjthetők, de a fedélzeti rendszerek révén lehetőség van a szárazföldek és az atmoszféra kutatására is. A műhold fedélzetén elhelyezett tudományos berendezések a következők:

- 1. RLSBO-D oldalra tekintő radar, sávszélesség 700 km, felbontás1,5 x 2 km,
- 2. Delta-2 pásztázó radiométer, sávszélesség 900 km, felbontás16 x 21 km,
- 3. MSU-M 4-csatornás radiométer, sávszélesség 1930 km, felbontás1,7 km,
- 4. MSU-SK 5-csatornás szkenner, sávszélesség 600 km, felbontás175x245 m,
- 5. MSU-V 8-csatornás szkenner, sávszélesség 180 km, felbontás 50 m,
- 6. MSU-E 3-csatornás szkenner, sávszélesség 45 km, felbontás 30 m,
- 7. Optikai video spektrométer, sávszélesség 740 km, felbontás 1 km,

10.16. ábra - Az Okean-O No.1. műhold modellje



A szenzorok az alábbi vizsgálatok, mérések elvégzésére alkalmasak:

- 1. az árapály energiájának becslése,
- 2. az világóceán tanulmányozása, hőszabályozó szerepének és szennye-zéstartalmának vizsgálata,
- 3. felszínalatti áramlások, örvények tanulmányozása, és hatásuk a pusztító ciklonok és tájfunok kialakulásában,

4. a biztonságos hajózás támogatása, a jéghelyzet elemzése az arktikus és az antarktikus területeken,

5. a tengeráramlások dinamikájának vizsgálata,

6. az óceánok olajjal és olajszármazékokkal történő szennyezésének vizs-gálata.

A sorozat legutolsó tagját 1999. július 17-én indították el. Ez a műhold (Okean-O) a sorozat újabb generációját képviseli, mely nagyobb tömegű (4360 kg). A napszinkron pályán keringő műhold orosz és ukrán együttműködés eredménye-ként jött létre. A pálya magassága 650–670 km, az inklináció 98°.²⁰

Fedélzeti műszerei:

- 1. 2 db oldalra tekintő radar RLS-BO(L) és RLS-BO(P),
- 2. Többcsatornás mikrohullámú pásztázó radiométer "Delta-2D",
- 3. MSU-V, MSU-SK, MSU-M.

10.17. ábra - A 2001. február 27-én készült Okean-O felvétel

²⁰http://myweb.tiscali.co.uk/wxsatellite/okeano/010227.jpg



8. Új radar rendszerek a 2000-es évek elején

TerraSAR rendszer

A TerraSAR német gyártmányú nagy felbontású, X-, és L-sávú radar berendezés, mely tudományos és kereskedelmi alkalmazásokra használható. A be-rendezéseket egy-egy műholdon (TerraSAT-X, TerraSAT-L, 10.18. ábra) fogják üzemeltetni. A TerraSAT-X felbocsátása 2006-ban várható.

A műhold pályája napszinkron, az ismételt lefedések közötti idő 11 nap, de a változtatható irányzás miatt a Föld teljes felszínén biztosítva lesz a 4-5 naponkénti ismételt fedés, illetve a Föld 95 %-án a 2-3 naponkénti fedés. A pálya névleges magassága 515 km (505-533 km), a napi keringések száma 15,18. Egy 11 napos ciklusban 167 fordulatot tesz majd meg a műhold. A pálya inklinációja 97,44°, az egyenlítői metszés leszálló pályán 18 órakor következik be.

Az X-sávú radar térbeli felbontása 1-16 m, bármely irányú polarizációval készíthető kép.





- A TerraSAR-X háromféle üzemmódban tevékenykedik majd:
- 1. Spotlight mód: 1 m-es felbontás 5-10 x 10 km-es területfedéssel,
- 2. Strip-Map mód: 3 m-es felbontás 30 km széles területen.
- 3. ScanSAR mód: 16 m-es felbontás 100 km széles területen.
- A fedélzeti tárolókapacitás 256 GByte lesz, az adattovábbítás az X-sávban történik 130 Mbps sebességgel.
- A műholdak főbb alkalmazási területei:
- 1. erdőgazdaság:
- 2. térképészet
- 3. kárfelmérés
- 4. biztonság

 $^{^{\}rm 21}\ Infoterra/Terrasar-in: http://www.infoterra-global.com/terrasar3.htm$

Egyéb tervezett képkészítő radarrendszerek

Az ISRO 2006-ban kívánja elindítani az S-sávban működő RIDSAT²² (Radar Imaging Satellite) nevű műholdját. A radarral elsősorban a mezőgazdasági növények fejlődését vizsgálnák.

9. Az űrsiklón elhelyezett SIR és egyéb rendszerek

A SIR-A (Shuttle Imagining Radar with Payload A) rendszert az amerikai űrsiklón helyezték el és egy egyhetes programban alkalmazták 1981. november 12-től. Az űrsikló pályamagassága 260 km, az inklináció szöge 38°. A teljes műszer-együttes neve OSTA-1 volt, ebben a legfontosabb a SAR berendezés.

A SIR szenzorok

SAR radarrendszer HH polarizáltságú, frekvenciája 1,28 GHz (L-sáv), a rálátás szöge 47°, a térbeli felbontás 40x40 m, a lefedett terület szélessége 50 km.

További műszerek az űrsiklón:

- SMIRR = 10-csatornás infravörös radiométer (a) kőzet és ásvány meghatáro-zásra, (b) ismert kőzettípusok vizsgálata eltérő klímaadottságok mellett, (c) szűk tartományú radiometriai mérések a 2–2,5 μm-es tartományban.
- 2. OCE = 8 csatornás pásztázó képkészítő az óceán színének mérésére, különös tekintettel a hordalék, a klorofil-, a szennyezőanyag-tartalom és a szín össze-függésére.
- 3. A SIR-B rendszer hasonló volt mint a SIR-A rendszere, míg a SIR-C egy összetettebb műszeregyüttest alkotott. Ezen már 3 különálló SAR rendszert találunk, melyek az L-, a C- és az X-sávokban működnek.

10.9. táblázat - Az űrsiklókról indított műholdak összefoglaló táblázata

műhold szenzor	ország	indítás	feladat
ATLAS	USA-NASA	1992-98	12 műszer, atmoszférakutatás
ERBS	USA-NASA	1984	sugárzásháztartás
LFC	USA-NASA	1981-84	térképezés, 1:50000
LITE	USA-NASA	1993	troposzféra, sztratoszféra aeroszol
MOMS-1,	USA-Németország	1983-84	területhasznosítás
MOMS-2		1993	
UARS	USA-NASA	1991	energia-fluxus, felső atmoszféra hőmérséklete, gázok

Az SRTM program

Az Endeavour űrsikló fedélzetén (STS-99) működött 2000. februárjában, a 11-napos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) program keretében, az a radarrendszer, mellyel a Föld felszínének kb. 80 %-ról készítettek digitális dombor-zati térképet. Az NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) és a NASA által vezetett

²² http://www.spacedaily.com/news/india-03e.html

nemzetközi program során a digitális domborzatmodell két felbontásban készült el: 1, ill. 3 szögmásodperces felbontással. 2003. végén tették közzé a 3 szögmásodperc felbontású modelleket (Magyarországé 2003. novemberében) a világhálón.²³

A mérés során egy 3-elemű radarrendszert használtak. Az űrsikló nyitott rak-terében maradt a fő antenna, mely egy C- és egy X-sávú antennát, egy az antenna pozícióját mérő berendezést tartalmazott (10.19. ábra)²⁴.

10.19. ábra - Az SRTM fő antennája az űrsikló rakterében és a raktérből kinyúló tartószerkezet



\$99E5476 2000:02:16 06:09:32

Mindkét antenna tudta továbbítani, ill. fogadni a radaljeleket. A külső antenna egy 60 m hosszúságú tartószerkezet végén helyezkedett el. A külső antenna szintén C- és X-sávú antennákat és két GPS berendezést tartalmazott, de az anten-nák csak a radarjelek fogadására voltak képesek. A lefedett terület szélessége a C-sávban 225 km, míg a jobb felbontású képet adó X-sávú méréskor 50 km.

A mérés alapja a radar-interferometria. A C-sávú radar HH és VV polari-záltságú radarjelekkel dolgozik, míg az X-sávú antenna csak VV polarizáltságú jelekkel. A fő- és a mellékantenna távolsága (60 m) megfelel az interferometriai bázisvonalnak. A főantenna által kibocsátott jelek a földfelszíni tárgyakról vissza-verődnek és a fő- és a mellékantenna fogadja a visszaverődő radarhullámokat (10.20. ábra)²⁵.

Az interferométer a bázisvonal két végén elhelyezkedő antennákra érkező radarjel fáziskülönbségét méri. A fáziskülönbség pontos méréséből megállapítható a jeladó és a tárgy távolsága, a jeladó helyzetének ismeretében pedig a földfelszíni tárgy tengerszint feletti magassága.

Az SRTM mérési eredményeinek feldolgozása után, az É 60° és D 57° szélességi körök között található területekre, a jelenleg legpontosabb globális digitális domborzatmodell jött létre, mely kiválóan használható hidrológiai, geomorfológiai, stb. modellek készítésekor.²⁶

10.20. ábra - Radarjelek fáziskülünbségének mérése két antennával az űrsiklón

²³ ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/Eurasia/

²⁴http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-99/html/s99e5476.html

²⁵NASA JPL SRTM Instrument – in: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instrumentinterferometry.html

²⁶ Tímár G. et al: Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adat-bázis – Geodézia és Kartográfia LV. évf. 2003/12 sz. pp. 11-15.



A MOMS szenzor

A MOMS (Modular Opto-electronic Multi-spectral Stereo Scanner) berendezést az űrsiklókon, illetve a MIR űrállomás Priroda modulján működtették. A német gyártmányú nagy felbontású multispektrális digitális kamera fotogrammet-riai feldolgozásra alkalmas sztereoképeket is tudott készíteni.

Talán a MOMS berendezés volt a legnagyobb hatással az optikai távérzéke-lés fejlődésére azáltal, hogy kombinálta a multispektrális, nagyfelbontású és szte-reoképalkotás lehetőségeit. A kiválasztott multispektrális sávokat használták a Landsat TM, SPOT HRV és az IRS-1C LISS szenzorokban. A CCD alkalmazása terén is forradalmi jelentőségű, mára gyakorlatilag az összes képalkotó rendszer ezen az elven működik.

A MOMS-1 berendezés tervezése 1979-ben kezdődött és az STS-7 (1983. 06.18. – 6 napos küldetés), valamint az STS-11 jelű repülések (1984.02.03. – 8 napos küldetés) során használták az űrsiklón 26,5, ill. 30 percig. A 2-csatornás (0,575–0,625 és 0,825–0,975 μm) kamera térbeli felbontása 20 m volt. A repülés során az űrsikló pályájának inklinációja 28,5°, a repülési magasság 292 km (STS-7), ill. 289-300 km volt. A lefedett terület szélessége 140 km, és összesen 450 kép készült. A MOMS-1 berendezés szenzora volt az első olyan képalkotó rendszer, mely a világűrben alkalmazta a vonal-soros újratöltődő detektorokat (CCD).

A MOMS-2 berendezés a MOMS-1 továbbfejlesztett változata, melyet 1993. januárjában indítottak el az űrsiklón (STS-55 sz. repülés), a German Spacelab D2 nevű program keretében. A képkészítés 1993. április 26. és május 6. között történt. A képek multispektrálisak, többféle felbontásban készültek.

Sáv	mód	spektrális sávok (µm)	térbeli felbontás (m)	radiometrikus felbontás (bit)	lefedett terület (km)
multispektrális sávok					
1	MS	0,440-0,505	12,8	8	78/43
2	MS	0,530-0,575	12,8	8	78/43
3	MS	0,645-0,680	12,8	8	78/43
4	MS	0,770-0,810	12,8	8	78/43
pankromatikus sávok					

10.10. táblázat - A MOMS-2 szenzorának tulajdonságai^a

5	HR	0,520-0,760	4,2 (nadír)	8	37/27
6	ST (+21,4°)	0,520-0,760	12,8	8	78/43
7	ST (-21,4°)	0,520-0,760	12,8	8	78/43

^a J. Bodechtel – J. ziegler: MOMS History, Concepts, Goals – EARSeL Proceedings of the MOMS Symposium, Köln, Germany, 1995, pp.12-25.

*MS - multispektrális, HR - nagyfelbontású, ST -sztereo

A spektrális sávok közepeit úgy jelölték ki, hogy a sávok alkalmasak legyenek a növényzet, a vastartalmú kőzetek és a talajfelszínek vizsgálatára. A 7 sávot 7 különböző módon lehet felhasználni a megfigyelés során.

Nagyfelbontású üzemmódban (5. sáv) a lefedett terület szélessége 37, míg a többi sávban 78 km (a névleges 296 km-es pályamagasság alapján). A 21,4°-os előre- ill. hátratekintő irányszög miatt ezekben a sávokban a lefedett területek távolsága a nadírban lefedetett területektől mérve 120 km.

A rendszer 5 lencsét tartalmaz, középen a fő lencse, a négy sarokban a további 4. A lencsék közül 3 a sztereoképek felvételezését végzi, míg a maradék kettő a multispektrális képalkotásért felelős. A központi lencse fókusztávolsága 660 mm, a két sztereolencséé 237,2 mm, míg a multispektrális lencséké 220 mm.

mód	alkalmazott sávok	megjegyzés
1	5,6,7	nagyfelbontás (HR), teljes sztereo (ST)
2	1,2,3,4	teljes multispektrális (MS)
3	3,4,6,7	2 MS / 2 ST
4	1,3,4,6	3 MS / 1 ST
5	1,3,4,7	3 MS / 1 ST
6	2,3,4,5	3 MS / 1 HR
7	1,3,4,5	3 MS / 1 HR

10.11. táblázat - A MOMS-2 változtatható megfigyelési módjai

A MIR űrállomás PRIRODA modulján elhelyezett MOMS-2P berendezés a MOMS-2 folytatásának tekinthető, hiszen csak minimális változtatásokat hajtottak végre a DASA (München) szakemberei. A MIR pályasajátosságaiból következően (pályamagasság 390-420 km, inklináció 51,6°) a lefedett terület szélessége az MS sávokban 90-105 km, a HR sávban 44-50 km, a térbeli felbontás az MS sávokban 15,9-18 m, a HR sávban 5,3-6 m (10.17. ábra). A hosszabb működési időszak (1996-98) alatt a nagyobb inklináció miatt, a Föld közepes szélességű területeiről készültek felvételek²⁷, melyek a DLR katalógusaiban kereshetők.²⁸

10.21. ábra - A MOMS-2P képkészítő geometriája

²⁷ DLR MOMS Data Products – in:http://www.nz.dlr.de/moms2p/dproducts/

²⁸ DLR MOMS-2P Catalogue – in:http://www.nz.dlr.de/moms2p/MOMS-25-07-00/catalog.html



10. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben az aktív, képalkotó mikrohullámú rendszereke szerepelnek. A műholdakon, a nemzetközi űrállomáson és az űrsiklókon elhelyezett mikrohullámú szenzorok segítségével a földfelszín domborzatát, a felszín érdességét, bizonyos környezeti folamatokat lehet jól nyomon követni. A radar adatok egy része, pl. a feldolgozott magassági adatok különböző adatbázisok révén közvetlenül használhatók térinformatikai rendszerekben alapadatként, pl. árvizi modellezés, növényzetmonitoring, stb. Más adatok feldolgozása viszont nagyobb szakértelmet és feldolgozó szoftvereket igényel.

Ellenőrző kérdések:

- 1. A domborzatmodellek melyik típusa tartalmazza a földfelszín külsőmagassági adatait?
- 2. A raszteres domborzatmodellek előállításához milyen adatforrásokat használhatunk?
- 3. Melyik domborzatmodell előállítási módszerben használunk legalább kettő, átfedő légi- vagy űrfelvételt?
- 4. Mely pásztázó módszerrel állítunk elő pontszerű mérési adatokból raszteres ddm-et?
- 5. Milyen űr- vagy légifelvétel párból lehet domborzatmodellt előállítani?
- 6. Hogyan nevezzük a mikrohullámú jeleket észlelő eszközt?
- 7. Melyek azok az elsődleges tényezők, melyek módosítják a visszavert mikrohullámú sugárzás erősségét?
- 8. Mi a neve az ESA mikrohullámú műholdjának?
- 9. Mely szenzor méri a légkör ózontartalmát az ERS-2 műholdon?
- 10. Hogyan nevezzük az űrsiklón elhelyezett műszerrel előállított domborzatmodellt?
- 11. Mi a neve az űrsiklón működtetett aktív mikrohullámú szenzornak?

11. fejezet - PASSZÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK

A passzív mikrohullámú szenzorokkal a földfelszín mikrohullámú sugárzása mérhető. A szenzorok feladata alapvetően a tenger/jég paraméterek megfigyelése, az óceán felszín és a légkör állapotának vizsgálata, valamint a felszíni és a jégformák elemzése. A passzív mikrohullámú rendszerek közül legismertebb a Nimbus műhold és szenzorai, valamint a DMSP program.

korábbi ismeretek: passzív távérzékelés, sugárzás energiája, frekvenzia, Hz, ózon, aeroszol

kulcsszavak: mikrohullámú sugárzás, Nimbus műholdak, mikrohullámú radiométer

1. Bevezetés

A Föld felszínének passzív mikrohullámú tanulmányozása az 1950-es évek végén kezdődött, míg az első műholdas passzív mikrohullámú megfigyeléseket a szovjet Kozmosz-243 jelű műholdal végezték. A Föld teljes felületére (kivéve a nem poláris pályák esetén, az inklinációtól függően a sarkvidékek kisebb-nagyobb terü-letét), a méréssorozatok 1972 óta folynak. Ekkor bocsátották fel a Nimbus-5 műholdat (a Nimbus program 1966 és 1978 között 7 műholdat tartalmazott, fedélzetén a pásztázó mikrohullámú radiométerrel, az ESMR-rel (Electrically Scanning Microwave Radiometer), amely a 19,4 GHz-es frekvencián végezte megfigyeléseit. Később a Nimbus-6 műholdon elhelyezett ESMR frek-venciája 37 GHz volt. A többcsatornás pásztázó radiométer, az SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) a Nimbus-7-re került 1978 végén. E műszerrel több mikrohullámú frekvencián egyidejűleg lehetett vizsgálni a földfelszín mikrohullámú jelenségeit.

név	indítás	ciklus (perc)	perigé	apogé	inklináció	szenzor
			(km)	(km)	(°)	
N-1	64.08.24	98,3	487	1106	98,6	3 AVCS,APT,H RIR,
N-2	66.05.15	108,1	1248	1354	100,3	3AVCS,HRIR, MRIR
N-3	69.04.14	107,3	1232	1302	101,1	SIRS A,IRIS, MRIR,
N-4	74.04.15	107,1	1200	1280	99,9	SIRS B,IRIS,SCR, THIR, BUV, FWS, IDCS, IRLS, MUSE
N-5	72.12.11	107,1	1093	1105	99,9	SCMR,ITPR, NEMS, ESMR, THIR
N-6	75.06.12	107,4	1101	1115	99,9	ERB,ESMR,HI RS, LRIR,

11.1. táblázat - A NIMBUS műholdak pályaadatai és szenzoraik

						T&DR, PMR, SCAMS, TWERLE,
N-7	78.10.24	104,1	943	955	99,28	LIMS,SAMS,E RB, CZCS, SMMR, THIR, SBUV/TOMS, SAMII

2. A NIMBUS-7 műhold

A NIMBUS-7 közel-poláris, napszinkron pályán keringett 955 km magasságban. A hajlásszög 99,3°, a periódusidő 104 perc, az ismételt fedések közötti idő 6 nap, míg az Egyenlítő fölött mindig 12 óra helyi idő szerint haladt át (11.1. ábra)¹A Nimbus-7 műhold 1978-as felbocsátása után 12 évig üzemelt és ezáltal jelenleg a leghosszabb ideig működő műhold a távérzékelés történetében.

11.1. ábra - A NIMBUS-7 műhold modellje



A NIMBUS-7 szenzorai

Az SMMR (Többcsatornás mikrohullámú radiométer) 5-frekvenciás szenzor, amelyet a mikrohullámú emisszió globális mérésére fejlesztettek ki. Frekvenciái: 6,6, 10,7 18, 21 és a 37 GHz. Két polarizációs – horizontális és vertikális – üzemmód lehetséges a 37 GHz-es frekvencián egyidejűleg, a többi csatornán váltakozva. Feladata a tenger/jég paraméterek megfigyelése, az óceán felszín és a légkör állapotának vizsgálata, valamint a felszíni és a jégformák elemzése. A Nimbus-7 mikrohullámú szenzora méri a felhők, a légköri ózon mikrohullámú emisszivitását, a függőleges gáz- és aeroszol-koncentrációt, valamint a partmenti vizek összetételét.

¹H.J. Kramer: Earth Observation Remote Sensing, Springer Verlag 1992, pp. 118

A Nimbus-7 passzív mikrohullámú SMMR berendezése mellett számos egyéb nagyfontosságú műszert is hordozott fedélzetén.

A CZCS (Coastal Zone Color Scanner) parti zóna szkenner nagy spektrális felbontás mellett, viszonylag kicsi térbeli felbontással rendelkezett. A térbeli felbontás 825 m, a képszélesség 1566 km volt.

csatorna	hullámhossz (µm)	
1	0,433 - 0,453	
2	0,510 - 0,530	
3	0,540 - 0,560	
4	0,660 - 0,680	
5	0,700 - 0,800	
6	10,50 - 12,50	

11.2. táblázat - A NIMBUS-7 CZCS csatornái és hullámhosszuk

A CZCS feladata volt a parti vizek és a nyílt vízfelületek színének és hőmérsékletének mérése. Az óceán színe azt jelenti, hogy az óceán vízének milyen a spektrális visszaverődési tulajdonsága. Ez közvetlen összefüggésben van a felszínhez közeli vízrétegek lebegtetett és oldott szerves és szervetlen anyag mennyiségével és a víz klorofiltartalmával. A klorofiltartalom közvetlenül utal a fitoplankton jelenlétére, amely fontos láncszeme az óceáni tápanyagfolyamatnak. A lebegtetett hordalék mennyisége jelentős szerepet játszik a partmenti feltöltődési folyamatokban, illetve a partmenti szennyeződések terjedésében. A vízfelszínek távérzékeléses vizsgálatának legnagyobb problémája a vízfelszín rendkívül alacsony visszaverése és a detektált visszaverés atmoszférikus hatást tartalmazhat. Ezért a CZCS képek atmoszférikus korrekciójánál alkalmazott algoritmus elengedhetetlen.

- 1. ERB Földi sugárzásháztartás mérő (Earth Radiation Budget) méri a Nap és a Föld energiafluxusát 10, ill. 12 sávban a 0,2-50 μm-es hullámhossz-tartományban.
- 2. LIMS Sztratoszféra infravörös monitor (Limb Infrared Monitor of the Stratosphere) sztratoszféra függőleges gázkoncentrációját és a hőmérsékletét méri.
- 3. SAM-II Sztratoszférikus aeroszolmérő,
- 4. SAMS Sztratoszféra és mezoszféra szonda a függőleges gáz (H2O, CH4, CO és NO) koncentráció mérésére.
- 5. SBUV/TOMS (Solar Backscatter Ultraviolet Total Ozone Mapping) a Nap ultraibolya sugárzásának visszaverését és a légkör ózontartalmát méri.
- 6. THIR (THermal Infrared Radiometer) infravörös radiométer a hőmérséklet és a nedvesség mérésére, felszín és felhőtető hőmérsékletének mérése.

3. A DMSP program

A mikrohullámú adatok globális gyűjtése a Nimbus műholdak után, az USA védelmi meteorológiai műholdprogramja, a DMSP (Defense Meteorological Satellite Programme) keretében folytatódott. E műholdsorozat egyik, 1987 júniusában felbocsátott tagján működött az SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) passzív mikrohullámú szenzor és képkészítő berendezés. Amíg a NOAA sorozatot az amerikai civil szektor kezelte, addig a DMSP-t az amerikai hadsereg felügyelte. A DMSP műholdak közvetlenül az amerikai

légierő és haditengerészet szárazföldi és tengeri bázisaira, hajóira irányították az adatokat. Az NPOESS programban a DMSP civil ellenőrzés alatt fog működni.²

1965 és 1970 között a DMSP sorozat műholdjait Block-4 jellel jelölték. A kb. 50 kg tömegű műholdakat egy tengely mentén stabilizálták. Fedélzetükön két nagyfelbontású (képközépen 2,4 km, a kép szélein 16 km felbontású) vidikon kamerát helyeztek el. Később egy alacsonyabb felbontású, a látható fény és a hőtartományú infravörös sávot lefedő szenzor is a fedélzetre került.

Az 1970–75 közötti generáció a Block-5 jelű sorozat már 3-tengely mentén stabilizált műholdakat tartalmaz, fedélzetükön egy-egy 4-sávú pásztázó radiométer-rel. A csatornák a 0,4–1,1 μm-es hullámhossz-tartományba estek, a nadír helyzetű felbontás 3,6 km. A műhold hossza 6,7 m, átmérője 1,7 m, tömege 2650 kg. A megfigyelő rendszerben egyidejűleg 3 műhold kering 800–900 km magasságban, 98,7° hajlásszögű, napszinkron pályán. Leszálló pályáján a műhold 6 óra 7 perckor halad át az Egyenlítő fölött.

1976–80 között a Block-5 sorozat továbbfejlesztett tagjai (5D-1), 1982-től az 5D-2 elemek léptek működésbe. Ezek a műholdak is napszinkron, közel poláris pályán keringenek 830 km-es magasságban. Az infravörös szenzor által lefedett terület szélessége 3000 km, naponta kétszeres globális fedést biztosít. Az 5D-3 sorozat két tagját (F15, F16) is rendszerbe állították már. Jelenleg 4 műhold (3 nappali/éjszakai és 1 napkelte/napnyugta üzemben) tevékenykedik³

műhold száma	felbocsátás ideje	első adat	befejezés dátuma	tevékenység kezdete
F13	1995.03.24.	1995.04.15.		1995.04.24.
F14	1997.04.10.	1997.04.14.		1997.04.28.
F15	1999.12.12.			2000.01.24.
F16	2003.10.18			

11.3. táblázat - A legutóbbi DMPS műholdak indítási ideje, a tevékenység kezdete^a

^a Gunter's Space Page – in: http://space.skyrocket.de/

11.2. ábra - A DMPS-5D3 védelmi meteorológiai műhold a szerelőcsarnokban



A DMSP szenzorai

² NOAA Defense Meteorological Programme – in:http://dmps.ngdc.noaa.gov/dmps.html

³J. Ray: U.S. weather satellite grounded till at least April Spaceflight Now – in::http://www.spaceflightnow.com/titan/g9/delay.html

Az OLS (Operational Linescan System) – optikai rendszer feladata a felhőborítottság térképezése és hőmérsékleti információk gyűjtése.⁴ A képszélesség 3000 km, a névleges pályamagasság 833 km. Az OLS két teleszkópot tartalmaz, ezekkel globális fedést biztosít mind a látható fény és a közeli-infravörös (0,4–1,1 μ m), mind a hőtartományú-infravörös (10,0–13,4 μ m) tartományban. Az infravörös sáv nappali és éjszakai adatai finom felbontásúak (0,55 km, a kép szélein már kb. 12 km), a VIS adatok, csak nappali adatok, hasonló felbontásúak, melyet egy osztott szilícium fotodióda biztosít. A kisfelbontású üzemmódban a pixelméret nadír helyzetben 2,8x2,8 km. Az optikai szenzor 0,4 mp alatt seper végig egy 3 km vastag 3000 km széles sávot. A szenzor érzékenységére jellemző, hogy a 0,4–1,1 μ m-es sávban gyakorlatilag minden felfelé irányuló, 50 W-os teljesítményű fényforrást tud érzé-kelni (11.3. ábra)⁵.

11.3. ábra - Dél-Közép-Európa éjszakai fényei a DMSP műhold felvétele alapján



Az SSM/I (Special Scanner Microwave Imager) – a mm-es hullámhosszú elektromágneses hullámokat használó mikrohullámú pásztázó, képalkotó radiométer a légkör és a földfelszín hőkisugárzását méri 4 spektrális tartományban. A hullámsávok a 19 és a 86 GHz-es frekvencia-tartományba esnek (19,35, 22,235, 37,00 és 85,50 GHz). Mindegyik SSM/I sáv összefüggésben van az atmoszférikus vízgőz elnyelési sávjaival, ezért mindegyik sáv alkalmas a vízgőz kimutatására és együttesen a függőleges irányú vízgőztartalom becslésére. A viszonylag keskeny, 1394 km széles képsáv miatt, a műhold egy nap alatt nem fedi le teljes egészében a Föld felszínét, de az éppen aktuális horizontális fedés is elegendő, hogy az adatokból, a vízgőz eloszlásának szerkezetéből, numerikus időjárási előrejelzés legyen szerkeszt-hető, valamint tanulmányozhatók legyenek a globális klímarendszer egyedi folyamatai is. A berendezések folyamatos kalibrációjával elérhető, hogy stabil, abszolút méréseket végezzenek a vízgőztartalomra vonatkozóan. A vertikális és horizontális polarizáció együttes alkalmazása (3 sáv esetében is) hétre emeli a felhasználható sávok számát. A felbontás 25 és 50 km.

Az SSM/T nevű hőmérsékleti radiométer (1985-től), 7-csatornás passzív mikrohullámú szonda, mely a földfelszín és a légkör emisszióját méri az 50 és a 60 GHz-es oxigén-sávban. A keresztsávos nadír helyzetű pásztázó radiométer látószög- mezője (AFOV) 14,4°. A vizsgált frekvenciák: 50,5, 53,2, 54,35, 54,9, 58,4, 58,825 és 59,4 GHz. A lefedett terület szélessége 1500 km, ezért napi globális lefedés nem lehetséges. A napi adatmennyiség 1,5 MByte.

További szenzorok:

- 1. SSM/T-2 5-csatornás mikrohullámú vízgőzprofil mérő,
- 2. SSJ/4 elektron és ion spektrométer,
- 3. SSI/ES ionoszféra plazma monitor,
- 4. SSBM magnetométer a geomágneses fluktuáció mérésére.

⁴ NOAA DMSP – in:http://dmsp.ngdc.noaa.gov/html/sensors.html

^sNOAA DMSP – in:http://dmsp.ngdc.noaa.gov/pres/low_light_120701/html/page1a.html

Az F14, F15 és F16 jelű műholdakon mindegyik műszer üzemképes és folyamatosan szolgáltat adatokat (az F13 műholdon nincs SSM/T2).

NPOESS program

A NASA és az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma egy 1994-es elnöki direktíva alapján összevonja a poláris pályán keringő műholdrendszerek (NOAA-POES és DMSP) fejlesztését és működtetését egy nagy nemzeti programba, melynek neve NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System). Jelenleg az NPOESS rendszer terve egészen 2018-ig szól. A rendszerben 5 óra 30 perces, 9 óra 30 perces, ill. 13 óra 30 perces egyenlítői áthaladással 3 napszinkron pályán keringenek majd a műholdak. A NPOESS műholdakon (11.4.ábra) olyan szenzorokat helyeznek el, melyek alkalmasak lesznek a földi óceánok, a légkör, a szárazföldek, a klíma és az űrkörnyezet vizsgálatára.⁶.

11.4. ábra - Az NPOESS műhold modellje (illusztráció)



11.4. táblázat - Műszerek és azok feladatai a NPOESS műholdakon ^a

szenzor	teljes név	feladat
VIIRS	Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite	a légkör, az óceán, a szárazföldek radiometrikus adatainak gyűjtése a látható fény és az infravörös tartományban
CMIS	Conical Microwave Imager/Sounder	mikrohullámú képkészítés és más meteorológiai adatok előállítása
CrIS	Crosstrack Infrared Sounder	a légkör hőmérséklet, a légnedvesség és a légnyomás függőleges eloszlásának mérése
GPSOS	Global Positioning System Occultation Sensor	a rádióhullámok refrakciójának mérésé alapján az ionoszféra jellemzése

°http://en.wikipedia.org/wiki/NPOESS_Preparatory_Project
PASSZÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELŐ MŰHOLDAK

OMPS	Ozone Mapping and Profiler Suite	adatgyűjtés a légköri ózon vízszintes és függőleges eloszlására vonatkozóan
SESS	Space Environment Sensor Suite	adatgyűjtés a semleges és töltött részecskék mennyiségére, az elektromos és a mágneses mezőkre, a sarki fény optikai tulajdonságaira vonatkozóan
APS	Aerosol Polarimeter Sensor	aeroszol és felhőparaméterek meghatározása.
ATMS	Advanced Technology Microwave Sounder (NASA)	napi gyakoriságú hőmérsékleti és légnedvesség profilok készítése
ERBS	Earth Radiation Budget Sensor	földi sugárzásháztartás mérése (az ERBE és a CERES műszerek megfelelője)
RA	RADAR Altimeter	a föld- és az óceánfelszín topográfiai mérése 4,2 cm-es pontossággal.
SARSAT	Search and Rescue Satellite Aided Tracking	a Cospas-SARSAT rendszerben a segély-kérő jelzések fogadása és továbbítása.
ASCAT	Advanced Scatterometer (ESA)	felszínközeli szél sebességének, irányának, tengeri jégborítás mértékének, hófedettség nagyságának, vegetáció sűrűségének vizsgálata (METOP műholdon szerepel)

^a NOAA NPOES Homepage – in:http://www.ipo.noaa.gov/Technology/sensors.html

A NOAA a fejleszési programját folyamatosan változtatva hozta létra a Suomi National Polar-orbiting Partnership vagy rövidítve a Suomi NPP programját. Ez a meteorológiai műholdprogram a NPOESS program helyett indult el 2011-ben az első műhold felbocsátásával. A berendezési elsősorban a klíma vizsgálatára szolgálnak folytatva a NASA EOS programját. A műholdakat Verner E. Suomi meteorológusról nevezték el 2012. január 24-én, három hónappal a műhold 2011. október 28-ai indítása után. A műhold napszinkron pályán kering 824 km-es pályamagasságban. A műhold naponta 14-szer kerüli meg a Földet.

A rendszer 5 berendezést tartalmaz: 1, Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS), mely egy mikrohullámú radiométer. Célja a globális légköri víztartalom és a hőmérséklet modellekhez adatok biztosítása; 2, Cross-track Infrared Sounder (CrIS),[12] mely egy Michelson-féle interferométer a vízgőz monotoring céljából; 3, az Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS), mely egy képalkotó spektrométerek csoportja az ózontartalom mérésére különösen a pólusok fellett; egy Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) nevű berendezés, mely egy 22-csatornás radiométer, mellyel az infravörös és a látható fény tartományába eső adatok révén lehet az erdőtüzek terjedését, a jég mozgását valamint a változó felszínformákat vizsgálni; valamint a Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) nevű rendszer, melynek radiométere képes érzékelni a Föld hőtartományú kisugárzását, valamint a visszavert napsugárzást is.

4. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ebben a fejezetben a passív mikrohullámú rendszereket és az őket hordozó műholdakat ismerhettük meg. A több mint 2 évtizeden át működő Nimbus-7 műhold mellett a DMSP programot, valamint a NOAA NPP programja. A programok alapvető célja, hogy a mikrohullámú szenzorokkal vizsgálják a Föld környezeti

változásait, a légköri nedvesség és ózontartalmat, a változó felszínformákat, vagy olyan gyors jelenségeket, mint az erdőtüzek, jég mozgás, stb.

Ellenőrző kérdések:

- 1. Milyen hullámhosszúak a mikrohullámok?
- 2. Miben különbözik az aktív és a passzív távérzékelő rendszer?
- 3. Mitől függ a mikrohullámú szenzor térbeli felbontása?
- 4. Mely műhold volt a Landsat-5 előtt a leghosszabb ideig működő műhold?

12. fejezet - ŰRFELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA

Gyakorlati példák

A fejezet céljai: A fejezetben be kívánjuk mutatni, hogy miként lehet grafikus felületen egyszerű és bonyolultabb modelleket készíteni. A modellalkotás elemi lépésein keresztül folyamatábra megismertetjük az olvasóval, hogyan lehet gyorsan, programozási nyelv ismerete nélkül lehet modelleket készíteni. A fejezetben olyan modellt állítunk elő, mely a raszteres alapú digitális űrfelvételek intenzitás értékeiből radiancia, majd reflektancia értékeket ad eredményül.

Szükséges ismeretek, fogalmak: távérzékelés; reflektancia; elektromágneses sugárzás; raszteres adatmodell; pixelérték; függvény; függő- és független változó

kulcsszavak: radiometrikus felbontás, radiometrikus korrekció, radiancia, reflektancia, irradiancia

1. Radiometrius korrekció

1.1. Radiometrikus korrekció elméleti háttere

A műholdas távérzékelés során többnyire a Napból érkező és a Föld felszínéről visszaverődő vagy kisugárzódó elektromágneses sugárzás energiáját mérik a műholdon elhelyezett érzékelő berendezések. A felvételezés ún. pásztázó technikával történik, vagyis a mozgó vagy rögzített optikai rendszeren keresztül a fókuszsíkon lévő detektorok felületére érkezik az analóg jel. A detektorok érzékenységétől függ, hogy mekkora az az adott hullámhossztartományban érkező energiamennyiség amit már, ill. még érzékelni tud a detektor. Az érzékelt energiát alakítja a fedélzeti rendszer számokká a radiometrikus felbontásnak megfelelően. A modern távérzékelésben legalább 8 biten, de esetenként 10, 11 biten is tárolják a spektrális információt. Ez azt jelenti, hogy a minimális (már érzékelhető) energiamennyiség (LMIN $_{\lambda}$) és a maximális (még érzékelhető) energiamennyiség (LMAX_{λ}) közötti intervallumban hányféle energiaszintet tud a rendszer megkülönböztetni (8 biten pl. 0-tól 255-ig). A műholdas távérzékelés során létrejövő űrfelvétel nagy előnye, hogy minden képelem (pixel) értéke mérési eredményként jön létre, ugyanakkor a radiometrikus felbontás révén nem a felszínről visszavert energiaértéket olvashatjuk ki a pixel értékeként, hanem az ún. intenzitásértéket (DN). Az intenzitásértékek nehezen hasonlíthatók össze akkor, ha különböző évszakokban készült űrfelvételeket akarunk összehasonlítani, hiszen a felszínborítás változása mellett változnak a besugárzási viszonyok is, így a napsugarak beesési szöge, vagy a beérkező energiamennyiség a Föld-Nap távolságának változása miatt. Az űrfelvételek idősoros elemzéséhez tehát szükséges olyan abszolút skála használata, amely alapján két vagy több űrfelvétel összehasonlítható egymással. Ehhez a felvételezés változó körülményeit és a detektorok változó állapotát leíró, a változásokat figyelembe vevő modell elkészítésére és alkalmazására van szükség. A modell így lehetőséget nyújt az ún. radiometrikus korrekcióra. A radiometrikus korrekció részeredménye az adott felületről visszavert összenergia-mennyiség. Végeredménye pedig az adott hullámhossztartományban a felületről visszavert összenergia, valamint a Napból induló és felületre (atmoszférikus hatásoktól mentes) beérkező összenergia hányadosa, ill. ennek 100-szorosa. Ez utóbbi értéket nevezzük reflektanciának és %-ban fejezzük ki.

1.2. Modellalkotás gyakorlati lépései

A modellünknek alkalmasnak kell lennie arra, hogy figyelembe vegye a változó paramétereket, ill. részeredményként a radianciát, végeredményként a reflektanciaértéket megadja minden képelemre vonatkozóan.

1.2.1. Radiancia értékek kiszámítása az intenzitásértékekből

A radiancia érték egyszerűen kiszámolható, ha ismert a LMIN_{λ} és LMAX_{λ} értéke. Ezeket általában a műholdfelvételekhez csatolt ún. metafile-okban vagy a műhold technikai adatait is tartalmazó honlapon találjuk meg. A detektorok "elöregedése" miatt a detektorokra vonatkozó paraméterek időszakonként módosulnak. (Chandler-Markham, 2003).

12.1. ábra - Kalibrációs adatok Landsat 5 TM szenzorához (Chandler-Markham, 2003)

Spectral Radiances, LMIN _λ and LMAX _λ in W/(m ² .sr. μm)									
Processing	From March 1, 1984			After May 5, 2003					
Date		To Ma	y 4, 2003			,	., .,		
Band	LMIN _λ	LMAX ₂	G _{rescale}	Brescale	ale LMIN ₂ LMAX ₂ G _{rescale}			Brescale	
1	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	-1.52	193.0	0.762824	-1.52	
2	-2.84	296.81	1.175100	-2.84	-2.84	365.0	1.442510	-2.84	
3	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	-1.17	264.0	1.039880	-1.17	
4	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	-1.51	221.0	0.872588	-1.51	
5	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	-0.37	30.2	0.119882	-0.37	
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	
7	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	-0.15	16.5	0.065294	-0.15	

TABLE I		
L-5 TM POSTCALIBRATION DYNAMIC RANGES FOR U.S. PROCESSED	NLAPS	DATA

Az adott hullámhosszon, a detektoron mérhető spektrális radiancia értéke kiszámolható a következő képlet alapján

 $\frac{-LMIN_{\lambda}}{DN} + LMIN_{\lambda}$ $LMAX_{\lambda}$ -

ahol Qcalc a maximális lehetséges pixelérték a radiometrikus felbontás szerint, 8 bit esetén 255 W/m2*sr*µm

Az adott hullámhosszhoz tartozó detektor esetében az $(LMAX_{\lambda}-LMIN_{\lambda})/Qcalc$ értéke konstans és a szakirodalom Grescale értékként adja meg (lásd a fejezet 1. ábrája), míg a LMIN_{λ} értékét egyszerűen Brescale értéknek nevezi. Így a fenti képlet egyszerűen

 $L_{\lambda} = G_{rescale} \cdot DN + B_{rescale}$

alakban is megadható.

1.2.2. Reflektancia érték számítása radiancia adatokból

Az adott hullámhossztartományban (λ) a geometriai felbontásnak megfelelő területet (Landsat TM esetén 30*30 m²) reprezentáló pixelhez tartozó reflektancia kiszámítható a következőképpen

$$Ref_{\lambda} = \frac{\Pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^{2}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos(\theta)}$$

ahol

 Ref_{λ} az adott λ hullámhosszon a reflektancia értéke

 L_{λ} a detektoron mérhető spektrális radiancia,

d a Föld-Nap távolsága csillagászati egységben,

ESUN_{^λ} az átlagos külső-atmoszférikus irradiancia,

θ a napsugarak beesési szöge a zenithez képest fokokban (Chandler-Markham, 2003)

A Ref $_{\lambda}$ így kiszámolt értéke 0 és 1 közé eső szám, melyet 100-zal megszorozva kapjuk meg a reflektanciát %-ban.

A reflektancia számításához szükséges fenti képletből az L_{λ} (a detektoron mérhető spektrális radiancia) értékét már kiszámoltuk. A Föld-Nap távolságát a felvételezés időpontjának ismeretében lehet kiszámítani. A felvételezés időpontja szintén a metafileból olvasható ki. A Landsat felvételek pl. ingyenesen letölthetők a GLOVIS honlapról. Az űrfelvételhez tartozó metafile a File/Download Visible Browse & Metadata almenűből tölthető le és txt fileként egy szövegszerkesztőben megtekinthető.

12.2. ábra - Az USGS Glovis felülete a példában szereplő űrfelvétellel



A 12.2.ábrán látható 187-027-es keresőkoordinátájú 1994. szeptember 13-án készült kép első és utolsó sorának felvételezési ideje az alábbi volt a kép metaadata (link a filera) szerint:

start_time = 1994:256:08:43:25.82388

stop_time = 1994:256:08:43:52.77238

A kép közepén (szintén a metafileból)

scene_center_lat = 47.46390; scene_center_lon = 20.22891

a műhold kb. az 1994-es év 256. napján 8 óra 43 perc 39 mp-kor haladt át.

Ehhez az időponthoz tartozó Föld-Nap távolságot, ill. ezen távolság és az átlagos Föld-Nap távolság (AU=149,597,870,700±3 m) arányát megkaphatjuk, ha a következő linken elérhető honlapon (utolsó elérés: 2013. január 03.) http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Solar/action?sys=-Si

a megfelelő helyekre beírjuk a szükséges paramétereket (a képközéppont földrajzi koordinátáit és a képközépponton történő áthaladás idejét):

Ezekből a képkészítés idején a Föld-Nap távolsága, vagyis a képletben szereplő d értéke 1,006 AU volt .

12.3. ábra - A Föld (ill. más bolygók) és a Nap távolságát kiszámító interaktív felület

69	C Interform	· fourmilab.ch/	(p-bin/let)	D = E G X 🕎 satthmum distance calculator 🕜 Solar System Live 🔹 🖌 Solar System Live	n * 0
File Ed	it View Favo	orites Tools	Help		
Solar	System:	: Tue 19	94 Sep	13 8:43	
				0000	
				Time: ○ State * LTC: 1984-09-13-843 39 ○ Atlan:: 2449008-86305 Short: * Econo Enarges Display: > Failer system Size: 200 Starres: * Cono Wall Others: * Econo Enarges Starres: * Cono Wall Others: * Econo * Econo Starres: * Cono Wall Others: * Econo * N <> Storg: 20124* * E <> W Edition menu; * N <> Storg: * N <> Storg: * U Colour otherus; Colour notherus; * W * Storg: *	
Ephemeria	1				
Sun Mercury Vesse Noon Kare Jupater Saturn Uranue Reptuse Fisto	Right Accession 11n 24m 21s 12b 47m 41s 14b 3m 17m 14s 7m 14s 7m 14s 7m 14s 7m 14s 14b 37m 42s 14b 37m 42s 14b 37m 42s 14b 37m 42s 14b 37m 42s 14b 44s 31s	Declination +1* 49.8' -14* 19.3' -14* 48.7' -13* 47.7' 422* 48.0' -14* 20.3' -10* 21.4' -21* 18.4' -21* 18.4'	Distance (AD) 1,104 1,172 0,531 87.8 E8 1,452 8,575 8,726 8,726 19,120 29,668 30,130	Press. 47*27*50'N 20*13*44*E: At1510000 At1000 At1000 At100 21.2747 -55.250 Up 21.2747 -55.250 Up 22.253 -55.250 Up 23.551 -55.150 Up 25.555 -55.150 Up -55.152 155.175 Up -55.152 155.155 Up -55.155	-
To track at	a asteroid or con	set, paste <u>echita</u>	I descats by	dem: 🗆 Echo elements	

A napsugarak beesési szögét szintén tartalmazza a metafile,

sun_elevation = 40.2433155° , amit a metafile a horizonthoz képest ad meg, így a képletben szereplő θ értéke 90-40.2433155=49.7566845°

Az ESUN_{λ} (az átlagos külső-atmoszférikus irradiancia) értékét szakirodalomból (Chandler-Markham, 2003) olvashatjuk ki.

12.4. ábra - Az átlagos külső-atmoszférikus irradiancia (ESUN_{λ}) értékei W/m² *µm-ben

Units: ESUN = W/(m ² . μm)					
Model:	Chance Spec	trum CHKUR			
Band	Landsat 4	Landsat 5			
1	1957	1957			
2	1825	1826			
3	1557	1554			
4	1033	1036			
5	214.9	215.0			
7	80.72	80.67			

TABLE II TM SOLAR EXOATMOSPHERIC SPECTRAL IRRADIANCES

1.3. Radiometrikus korrekció modellje grafikus felületen

Az űrfelvétel minden képelemére ismert az intenzitás érték. Ezért az intenzitásértékből radianciát, majd reflektanciát számoló modell feladata, hogy minden bemenő képelemre, annak intenzitásértékéből és az előbb meghatározott változók értékeinek, továbbá a képletben szereplő konstansok értékeinek ismeretében, megadja kimenő információként a képelemet (adott területet) jellemző radiancia, ill. reflektancia értéket.

1.3.1. Beépített model megnyitása

A grafikus modellező használata megkönnyíti a az adott szoftverkörnyezetben nem kidolgozott munkafolyamat végrehajtását. Saját magunk készíthetünk modellt, melyet folyamatábraként is értelmezhetünk. Néhány beépített összetett művelet is valójában egy grafikus modell, melynek háttérben történő futtatása eredményezi a művelet végrehajtását. Az Erdas Imagine 9.1. verziójában a beépített modelleket elérhetjük a Leica Geosystems/Geospatial Imaging 9.1/etc/models könyvtárban és betölthetjük a Modeler főikon alól indítható a Model Maker-ből pl. a File/Open paranccsal.

Load Model:			×
File			
Look in: 🔄 models	-	🗈 📸 🛞	
🔀 86іт 😑 (С.)	-	SHPF_Resolu	OK
😤 8bit_ 🔄 Program Files 😪 Aspe 🔄 Leica Geosystems		🛸 IARR.gmd 🍧	Cancel
AUT Geospatial Imaging 9.1	ш	Sihs_merge_ik	Help
Bad a models		Sindex.gmd	
Clump and Section and	-	Sinverse.gmd	Recent
CreateFile.gmd		Layerstack.c	Goto
Crisp-greyscale.gmd		So Level_Slice.	
		4	
File name:			
Files of type: Graphical Model (*.gmd)			

12.5. ábra - Beépített model betöltése a Modeler Model Maker menűjéből

1.3.2. Új, grafikus modell szerkezete

Az elkészítendő modell egyszerű szerkezetű, hiszen a letöltött raszteres állományon kell pixelenként végrehajtani az ismert függvény szerinti műveletsort, majd az eredményt képként el kell menteni. Az új modell megnyitása a Modeler főikon Model Maker menűjére kattintva történik. A képernyőn megjelenik egy üres, fehér felületű ablak (New_Model) melybe a jobbra lévő Tools (Eszközök) segítségével húzható be a megfelelő grafikus eszköz.

12.6. ábra - Az Erdas Modeler Model Maker nyitófelülete és az eszközpaletta



1.3.3. Új, grafikus modell készítése a reflektanciaérték kiszámításához

Az elkészítendő modell minden részeleme ismert. Az űrfelvételt letöltöttük pl. a Glovis rendszerből a metafilelal együtt. Az intenzitásértékekből – minden pixelre vonatkozóan – a megadott képleteknek megfelelően ki lehet számítani a radiancia és a reflektanciaértékeket. A modellalkotás folyamata 3 részre bontható:

a, a bemenő (input) űrfelvétel megadása,

b, a radiancia és a reflektancia értéket megadó függvény szerkesztése,

c, a kimenő (output), raszteres adatállomány mentése képként.

12.7. ábra - Egyszerű grafikus modell az Erdas Imagine 9.1. modellezőjében



Input file megadása a grafikus modellezőben

A modell input raszteres állománya egy létező űrfelvétel, melynek felvételezési ideje meghatároz egyéb paramétereket is. Az elkészítendő modellünk nem interaktív abban a tekintetben, hogy rugalmasan alkalmazkodik bármilyen bemenő űrfelvétel változó paramétereihez. Emiatt, ha változik a modell input rétege, akkor a belső függvény paramétereit is változtatnunk kell és az egész modellt más néven kell mentenünk. A bemenő raszter réteget a modell input rétegeként az Eszközpaletta (Tools) raszter ikonjának a fehér szerkesztőfelületbe történő mozgatásával tehetjük meg. A bemenő raszterréteg megadása (a raszter ábrára kattintva) történhet úgy, hogy a modell input raszterréteg nevét azonnal beírjuk a megfelelő helyre (File Name a Raster ablakban), de történhet úgy is, hogy a modell futtatása közben választjuk ki a megfelelő képet. Ez utóbbi esetben a Raster ablakban a Prompt User for File at Run Time szöveg előtt kapcsolóikonra kell kattintani!

12.8. ábra - A Model Maker input raszterréteg szerkesztőfelülete

The Late Model Test Process Party	FieName ("ang)	- Ingel	- Annual Statement
		Funder of Lanes Funder of Lanes Funderson Franciscon Processong Vinder C. Nuc. C. The Funderson L. X. D000000 I Unix D000000 Unix D000000 I Unix D000000 Unix D000000 I Unix D000000 Funderson Funderso	
		Fin name	

Függvény megadása és szerkesztése a grafikus modellezőben

A függvény a meghatározott műveleteket a bemenő adatokon hajtja végre. A modellbe a függvényt az Eszközpaletta (Tools) függvény ikonjának a fehér szerkesztőfelületbe történő mozgatásával tehetjük meg. Ezután a Eszközpaletta (Tools) kapcsoló ikonjával összekapcsolhatjuk a bemenő raszterréteget a függvényel. Ugyanazzal a réteggel több függvényt is összekapcsolhatunk.





A fenti ábrán a lehetséges input a felhasználó által a modell futtatása közben kiválasztott file lehet. A függvény definiálása a Function Definition ablak jobb oldalán található, nagyon sok lehetőséget tartalmazó, gördülő menü alapján történik, kezdve a legegyszerűbb aritmetikai műveletektől a bonyolultabb függvénydefiniálásig. A kiválasztott függvény megadását a megadott szintaxis segíti.

Példánkban a (2) képlet alapján a Landsat TM szenzor 1. sávjában radianciaértéket megadó függvény a következő:

LλL5TM1s = 0,602431 * \$n1_PROMPT_USER(1) - 1.52

ahol a \$n1_PROMPT_USER(1) kifejezés hivatkozik a felhasználó által a modell futtatása közben megadott raszteres állomány (L5TM1s=Landsat 5 TM szenzor 1 sáv) elő rétegére.

Ebből a (3) képlet (Ref λ =($\Pi * L\lambda * d2$) / (ESUN $\lambda * \cos\theta$ s)) alapján

 $Ref\lambda = \Pi * (0,602431 * n1_PROMPT_USER(1) - 1.52) * 1,006**2) / (1957 * cos(PI/180 * 49,7566845))$

Amennyiben a radianciát külön is el kívánjuk menteni, akkor modellt a két függvény külön alkalmazásával kettéoszthatjuk (10. ábra)

12.10. ábra - Radiancia és reflektancia értékeket számító modell szerkezete 1 sávra



Miután a radiancia és a reflektancia értékek számításakor a detektor paraméterei sávonként változnak (1. ábra), így a függvényeket sávonként kell beépíteni a modellbe. A Landsat TM esetében az első 5 sávban, valamint 7. sávban mérjük a földfelszínről visszavert elektromágneses sugárzást. Ezért csak ezekre a sávokra lehet reflektanciát számolni. A hőtartományú infravörös tartományban (6. sáv) a földfelszín által kisugárzott energiát mérjük, így reflektanciát nem lehet számolni ebben a sávban, de a radiancia ismeretében kiszámolható a felszín hőmérséklete (lásd Chandler-Markham, 2003). A reflektanciát sávonként megadó modell egy 6 ágú folyamatábraként jellemezhető, és következőképpen néz ki:





A Glovis-ból letöltött űrfelvételt a felvételezés geometriája alapján korrigálták UTM (WGS84) rendszerbe, így a képet tartalmazó raszteres állomány 4 sarkában fekete háromszög-alakú területeket találunk, ahol a pixel értéke 0. Ezek reflektanciaértéke természetesen 0 lesz. A reflektanciaérték számításában esetleg előfordulhat, hogy a kiszámított érték < 0, ezért egy egyszerű feltételes függvény beiktatásával az ilyen pixelekhez a 0 értéket rendelhetjük. Például az 1.sáv feltételes függvénye a következő a modellünkben:

EITHER 0 IF (\$n8_PROMPT_USER < 0) OR \$n8_PROMPT_USER OTHERWISE Min

12.12. ábra - Radiancia és reflektancia értékeket számító modell teljes struktúrája sávonként összefűzéssel



A kész modellt mentsük el, és a Process menű Run funkciójával indítsuk el a modell (a program) futását. Hiba nélküli modell futásakor csak a felhasználó által megadandó input és outfile-ok nevét kell kiválasztani vagy megadni. A kész képi állomány az Erdas Viewer-ben nyitható meg.

Megjegyzés: Az Erdas újabb verziója (v10.x) a Landsat 7 ETM+ szenzorával készített űrfelvételek radiometrikus korrekciójához tartalmaz már egy interaktív felületet. Ezzel a radoimetrikus korrekció modellalkotás nélkül elvégezhető. Hasonló elven működnek az Erdas Imagine-hez külön megvásárolható Atcor2 és Atcor3 modulok, melyek a radiometrikus korrekció mellett elvégzik az űrfelvétel atmoszférikus korrekcióját is sík felszín (Atcor2), ill. digitális domborzatmodell (Atcor3) felhasználásával.

1.4. Irodalomjegyzék

Chander, G. - Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41. (11) 2674-2677.

2. Összefoglalás, ellenőrző kérdések

Ellenőrző kérdések:

- 1. Milyen paraméterek befolyásolják a radiancia értékét?
- 2. Milyen paraméterek alapján számolható ki adott terület reflektanciaértéke?
- 3. Mit jelent az asztronómiai egység és kb. mekkora az értéke?
- 4. Miért nem lehet reflektanciát számolni a hőtartományú infravörös sávban mért adatokból?
- 5. Hogyan nevezzük az Erdas modellező modulját?
- 6. Milyen felületen történik a modellalkotás az Erdas-ban?

A. függelék - Függelék

A.1. táblázat - Az elektromágneses spektrum hivatalos nemzetközi felosztása

sáv	frekvencia sáv neve	frekvencia sáv	hullámhossz (λ)	megjegyzés
ELF	extrém alacsony frekv.	30-3000 Hz	10000-100 km	
VF	hang frekvencia	300-3000 Hz	1000-100 km	hang
VLF	nagyon alacsony frekv.	10-30 kHz	30-10 km	rádiótelegráf
LF	alacsony frekvencia	30-300 kHz	10-1 km	rádiótelegráf, rádió
MF	közepes frekvencia	300-3000 kHz	1000-100 m	rádió,(AM rádió)
HF	magas frekvencia	3-30 MHz	100-10 m	rádiótelefon, rádionavigáció, amatőr rádiózás
VHF	nagyon magas frekv.	30-300 MHz	10-1 m	rádió, TV, rádiónavigáció, FM
UHF	ultra-magas frekvencia	300-3000 MHz	1-0.1 m	TV, műholdkontroll, rádiólokáció
SHF	szuper-magas frekv.	3-30 GHz	10-1 cm	radar, műholdkapcsolat, melegítés
EHF	extrém-magas frekv.	30-300 GHz	10-1 mm	
-	tizedmiliméteres hullámok	300-3000 GHz	1-0,1 mm	
IR	infravörös	3x1011 – 3,8x1014 Hz	0,1 mm-0,78 μm	hőszonda, lézerkommunikáció
VIS	látható fény	3x1014 – 7,9x1014 Hz	0,78 – 0,38 μm	fénytelefon, lézer, távolságmérés
UV	ultraibolya	7,9x1014 -3x1016 Hz	0,38 – 0,01 μm	fénytelefon, lézer távolságmérés
X	Röntgen-sugárzás (puha)	5x1015 -3x1019 Hz	60 – 0,1 nm	diagnosztika, terápia
Х	Röntgen-sugárzás (közép)	3x1019 -3x1020 Hz	10-2 - 10-3 nm	anyagvizsgálatok

x	Röntgen-sugárzás (kemény)	3x1020 -2x1025 Hz	10-3 - 10-8 nm	részecske elemzés
γ	Gamma-sugarak	8x1017 -4,7x1021 Hz	0,4 - 10-4 pm	radiológia, anyagtesztek

A.2. táblázat - A mikrohullámú sávok nemzetközi felosztása a frekvencia alapján

sáv	alsávok	frekvencia	hullámhossz (cm)	megjegyzés
		(GHz)		
P-sáv	2	0,225 - 0,390	133,3 -76,9	
L-sáv	10 (p,c,l,y,t,s,x,k,f,z)	0,390 – 1,550	76,9 – 19,3	
S-sáv	13 (e,f,t,c,q,y,g,s,a,w,h,z ,d)	1,55 – 5,20	19,3 -5,77	
C-sáv	5 (Sz,Sd,Xa,Xq,Xy)	3,90 - 6,20	7,69 - 4,84	
X-sáv	12 (a,q,y,d,b,r,c,l,s,x,f,k)	5,20 - 10,90	5,77 – 2,75	
K-sáv	12 (p,s,e,c,u,t,q,r,m,n,l,a)	10,90 - 36,00	2,75 - 0,834	
Ku-sáv	1 (Ku)	15,35 - 17,25	1,95 – 1,74	K-alsáv
K1-sáv	3	15,35 - 24,5	1,74 – 1,22	K-alsáv
Ka-sáv	1 (Ka)	33,0 - 36,0	0,909-0,834	K-alsáv
Q-sáv	5 (a,b,c,d,e)	36,0-46,0	0,834-0,652	
V-sáv	5 (a,b,c,d,e)	46,0-56,0	0,652-0,536	
W-sáv	2	56,00 - 100,0	0,536-0,300	

A.3. táblázat - Különböző műholdas SAR rendszerek összehasonlító táblázata

műhold neve	felbocsátás éve	magasság (km)	frekvencia (GHz)	polarizáció	látószög (fok)	lefedett terület szélessége (km)	felbontás (m)
SEASAT	1978	795	1.275	нн	20.5	100	25
SIR-A	1981	275	1.278	НН	47.0	50	40

SIR-B	1984	225	1.282	нн	15-60	20-40	18-55x25
ALMAZ-1	1991	300	2.990	HH	30-60	35x2	15-30
ERS-1	1991	785	1.275	vv	23	100	30
JERS-1	1992	568	1.275	нн	35	75	18
PRIRODA	1993	400	1.28	нн	35	50	50
			3.28	vv			
SIR-C/X	1993	225	1.28	4*	20-55	30-100	15-25
C&L sáv			5.3	-	-	-	-
X sáv			9.6	vv	20-55	15-45	15-25
RADARSA T	1994	800	5.3	нн	20-60	100-170	25-100
ERS-2	1995	785	5.3	vv	23	100	30
RADARSA T-2	2005	800	5.3	HH, HV, VH, VV	20-60	100-170	25-100

A.4. táblázat - Az aktív mikrohullámú szenzorok frekvenciái és a vizsgált jelenségek

frekvencia (GHz)	vizsgált jelenség
kb. 1.4	talajnedvesség tartalom, sótartalom
kb. 2.7	sótartalom, talajnedvesség tartalom
kb. 5	torkolatok hőmérséklete
kb. 6	tengerfelszín hőmérséklet
kb. 11	eső, hó, tavi jég, tengerfelszín állapot
kb. 15	vízgőz, csapadék
kb. 18	csapadék, tengerfelszín állapot, tengeri jég, vízgőz
kb. 21	vízgőz, folyékony víz
22.24	vízgőz, folyékony víz
kb. 24	vízgőz, folyékony víz
kb. 30	tengeri jég, vízgőz, olajfolt, felhő, folyékony víz
kb. 37	csapadék, felhő, tengeri jég, vízgőz
kb. 55	hőmérséklet
kb. 90	felhő, olajfolt, jég, hó

100.49	NOx
110.49	ózon
115.27	СО
118.70	Hőmérséklet
125.61	NOx
150.74	NOx
164.38	ClOx
167.20	ClOx
175.86	NOx
183.31	vízgőz
184.75	ózon
200.98	NOx
226.09	NOx
230.54	СО
235.71	ózon
237.15	ózon
251.21	NOx
276.33	NOx
301.44	NOx
325.10	vízgőz
345.80	СО
364.32	ózon
380.20	vízgőz