

Hazai részvétel a Sentinel programban

AZ EURÓPAI FÖLDMEGFIGYELÉS

A földmegfigyelés alapvetően érinti valamennyiünk biztonságát. A katonai megfigyelési eszközrendszerek technikai színvonala régóta nemzetbiztonsági kérdés és emiatt világszerte ez az innováció egyik legfontosabb területe. Az Európai Unió kezdettől fogva összekapcsolta a biztonsági és a környezetvédelmi szempontokat. Ennek a gondolatnak a leglátványosabb eredménye a Global Monitoring for Environment and Security (GMES) program, ami űrbe telepített eszközök segítségével fogalmazza és valósítja meg a földmegfigyelést. Az alapelv megfogalmazásától (1998) az első GMES iroda beindulásáig (2008) tíz évnek kellett eltelnie, hogy a megvalósítás és a működtetés anyagi és technikai feltételei megszülessenek. A GMES terv megvalósításába az ESA tagországok mellett, a 2004-ben tíz új belépővel kibővült Európai Unió államai is bekapcsolódtak. Innen kezdve már felgyorsultak az események. A program 2014-ben a *Copernicus* nevet kapta. Az Európai Közösség anyagi támogatásából és az ESA technikai tudásából létrejött a Sentinel program, ami mára már Európa büszkesége, és a földmegfigyelés globális rendszerét alkotja. A Sentinel

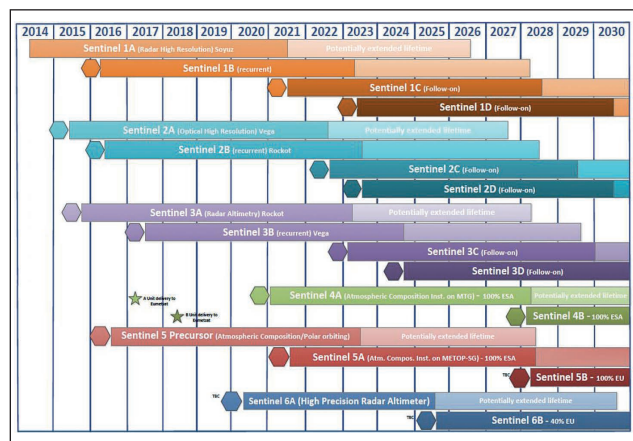
program hat különböző típusú műholdflottából áll, egy-egy flottát több (2–4) azonos műhold alkot (1. ábra). A flotta műholdjai folyamatosan készülnek. A megfigyelés eszközei flottaként eltérnek (SAR, MSI, LIDAR stb.). Egy-egy flotta specifikusan a tengerszint, az atmoszféra és a felszín multispektrális képeinek rögzítésére alkalmas. Az első indításokra a 2014 (Sentinel-1), 2015 (Sentinel-2A) és 2016 (Sentinel-3) években került sor, jelenleg már 7 Sentinel műhold teljesít szolgálatot. Ezek a műholdak azóta folyamatosan rögzítik és szolgáltatják földi környezetünk legfontosabb adatait. További tíz példány építése pedig folyamatban van.

A Sentinel-2 flotta a vizuális és infravörös megfigyelés közösségi, polgári eszköze, lényegében az amerikai Landsat, illetve az európai SPOT műholdflottákat helyettesíti, fejleszti tovább. A műhold multispektrális, 13 csatornás, kétdetektoros (VNIR és SWIR) kamerarendszerrel rögzíti a földfelszín látványát. Földközeli (880 km) poláris pályán kering, másfél óránként tesz meg egy kört. 290 km széles szalagsávot lát, s így a Föld egy-egy pontja felett 10 naponként jelenik meg. Ez a „visszatérési idő” 2 napra csökken, ha majd egyetlen pályán kering mind a négy (Sentinel-2A, B, C és D) műhold. A szatellit főbb adatai: teleszkóp: háromtükörös asztigmatikus teleszkóp SiC tükrökkel és sugárelosztóval a VNIR és a SWIR csatornához; szenzorok a fókuszcsíkban: Si (CMOS VNIR detektor), illetve HgCdTe (SWIR detektor). Szórt fény kalibráció, sötét kalibráció éjjel az óceán felett, helyi kalibráció a földi célpontok felett. Az adatregisztrálást 13 csatorna végzi, ezek adatait az 1. táblázat mutatja.

A multispektrális regisztrálás következtében a Sentinel-2 adataiból meg lehet különböztetni a földfelszín legkülönbözőbb növényi kultúráit, ami széles körű mezőgazdasági alkalmazásokra ad lehetőséget.

A Sentinel-2 fővállalkozója az EADS/Astrium óriáscég lett 2007-ben (azóta a cég neve változott, az új név: Airbus). Az Astrium már akkor a téma kiemelkedő szakértőjének számított. A SPOT flotta megvalósítójaként a földmegfigyelő műholdgyártásban ez a cég volt Európa legtapasztaltabb képviselője. A tervezési és műszaki-fejlesztési folyamatok hosszú időt vettek igénybe. A koncepció kidol-

1. ábra. A teljes Sentinel program eredeti terve



ÖSSZEFOGLALÁS: Az Európai Unió nagyszabású Copernicus programja minőségi előrelépést hoz a földmegfigyelés területén. A Sentinel-2 négy műholdjának 13 csatornája lehetővé teszi a vegetáció változásainak követését. Miskolci kutatók 2009 és 2017 között sikeresen vettek részt mind a négy műhold mechanikai-termikus alkatrészeinek a tervezésében, tesztelésében és építésében. A cikk kitér a munka rendkívüli műszaki kihívásaira. Az elért siker fontos a magyar űrpar pozicionálása és továbbfejlődése szempontjából.

KULCSSZAVAK: Földmegfigyelés, Sentinel program, magyar űrpar

ABSTRACT: The monumental Copernicus program of European Union is a qualified step forward in Earth observation. By aids of the 13 channels on 4 satellites of Sentinel-2 the changes in vegetation became well recordable. Between 2009 and 2017 Hungarian researchers in Miskolc participated successfully in mechanical-thermal structure components design, tests and construction for four satellites. Our paper deals with certain extreme technical challenges of the work. These success of Admatis is an important step forward on way of positioning and progress of the Hungarian space industry.

KEY WORDS: Earth observation, Sentinel program, Hungarian space industry

* Egyetemi tanár, Admatis Kft. ügyvezető. ORCID: 0000-0002-1864-095x

** Admatis Kft. ügyvezető. ORCID: 0000-0002-7822-4413

*** Admatis Kft. műszaki vezető. ORCID: 0000-0001-5204-7247

1. táblázat.

Térbeli felbontás	Csatorna sorszáma	Sentinel-2A		Sentinel-2B	
		Hullámhossz (nm)	Sávszélesség (nm)	Hullámhossz (nm)	Sávszélesség (nm)
10 m	2	496,6	98	492,1	98
	3	560,0	45	559	46
	4	664,5	38	665	39
	8	835,1	145	833	133
20 m	5	703,9	19	703,8	20
	6	740,2	18	739,1	18
	7	782,5	28	779,7	28
	8a	864,8	33	864	32
	11	1613,7	143	1610,4	141
	12	2202,4	242	2185,7	238
60 m	1	443,9	27	442,3	45
	9	945,0	26	943,2	27
	10	1373,5	75	1376,9	76

gozása és a rendszerszintű tervek elkészítése után 2009-ben kerülhetett sor az alrendszerek tervezésére, a tenderre és a kivitelező konzorcium kiválasztására.

A MAGYAR ŰRIPAR JELENTKEZIK

A miskolci Admatis Kft. alapítása óta (2000) az űrparban dolgozik. Korábban sokzónás kristályosító berendezést (UMC) szállított a NASA-nak, majd a Nemzetközi Űrállomáson kísérletezett saját habgenerátorával (FOCUS). Az ESA kapcsolatokban a nagy áttörésre sokáig kellett várnia, az Európai Unió műholdépítési tervei azonban megnyitották az utat. 2009 márciusában pályázott és elnyerte az ESA/Astrium nemzetközi tenderét, ami a Sentinel-2 MSI termikus és szerkezeti alrendszeréhez tartozó 70 alkatrész tervezési, gyártási és tesztelési feladatainak az ellátásáról szólt – mindezt két műholdra. Ezzel az Admatis a műholdépítő konzorcium tagjává vált (2. ábra). A feladat teljesítését akkor egy évre tervezték, ami a valóságban négy évre elhúzódott. A tesztelés 2013 márciusában fejeződött be. A műholdak indítása ezt követően 2015. június 23-án és 2017. március 7-én történt.

A program megvalósítása minden konzorciumi tag számára nagy kihívás volt. Olyan berendezéseket kellett készíteni, amelyek 7–10 évig képesek hibátlan szolgáltatás teljesítésére. Négy példány épül belőle, mind a négy teljesen azonos teljesítőképességgel egyetlen poláris pályán, egymást követően haladva, úgy, hogy egy megfigyelési hely fölé kétnaponként érkezék egy-egy megfigyelő. A hosszúra tervezett működési idő magas műszaki követelményekkel és szigorúbb tesztekkel járt együtt.

A miskolci székhelyű Admatis Kft. a Multi-Spectral Instrument (MSI) megépítésében kapott szerepet. Összesen hetven alkatrészt készített. Az alkatrészek között voltak fényzárók, terelők, kalibráló betétek, szerkezeti elemek, kábeltemperáló elemek. A legnagyobb feladatcsomag azonban a külső környezettel aktív termikus kapcsolatban álló radiátorok (VNIR FEEM, illetve SWIR FEEM) tervezése



2. ábra. A Sentinel-2 MSI konzorciuma

és gyártása volt. A radiátorfelületnek olyan hőleadó és hőfelvevő képességűnek kellett lennie, hogy az optikai fókuszban lévő detektorfelület hőmérséklete állandó maradjon. Az esetleges hőmérsékletingadozás rontja a jel/zaj viszonyszámot – azaz a kép minőségét –, ezért direkt kapcsolatban áll a műhold alapvető minőségi mutatóival. Egy másik feladat az elektronika által fejlesztett hő olyan mértékű elszállítása, hogy az üzemi hőmérséklet ne változzék.

A termomechanikus követelmények csúcán az a feladat állt, hogy a hőmérsékletváltozás okozta dilatáció a lehető legkisebb deformációt okozza a szerkezetben, mert az optikai defókusz idéz elő, más szóval a kép életlenségéhez vezet, illetve inhomogenitásával jár. Az egyes alkatrészek közötti interfészekon ezért precíz illesztéseket és erősen limitált termofeszültségeket írtak elő. Egy alkatrész 3D mérőkaral végzett méretellenőrzését mutatja a 3. ábra.

Nagy gondot kellett fordítani a rendszer rugalmas viselkedésére. A startkor fellépő vibrációs terhelést az egyes





3. ábra. A VNIR FEEM radiátor méretellenőrzése az ADMATIS tisztaüzemében

alkatrészeknek külön-külön is és az összeszerelés után is maradó deformáció nélkül kellett elviselni. Mivel valamennyi alkatrész a szigorú súlyhatárok miatt vékony falú alumíniumötvözetből készült, a terveket csak hosszantartó számítógépes szimulációt követően véglegesítették.

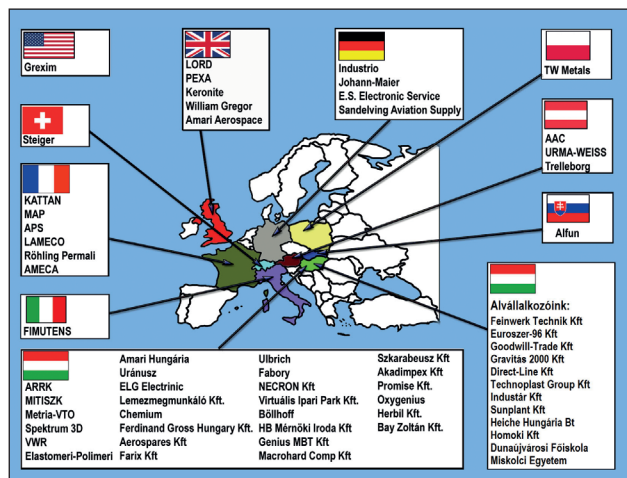
Az MSI tartós működtetésének alapfeltétele, hogy az alkatrészek mentesek legyenek a portól és a szerves szennyeződésektől, kipárolgásuk pedig minimális legyen. Az űrben uralkodó vákuum hatására ugyanis a szennyeződések és a kibocsátott gáz ellebeg a felülettől, majd a hideg felületekre – köztük a teleszkóp tükreire és a detektorokra – rakódik le. Ez a képek minőségét fokozatosan rontja, a szolgáltatások élettartamát rövidíti. Emiatt a kipárolgásra hajlamos anyagokat – például festékeket, ragasztókat és szegecseket – tisztasági és vákuumteszteknek vetették alá. A szerelési műveleteket és a csomagolást ún. „tisztaszobában” kell végezni. A megfelelő infrastruktúra megteremtése érdekében az Admatis az évek során nagy áldozatokat hozott.

A műhold hosszú távú, folyamatos, hibátlan működéséhez ismerni kell valamennyi anyag és alkatrész speciális tulajdonságait. Döntő jelentőségű, hogy a ciklikusan ismétlődő hőmérséklet-változásokat -40°C és $+80^{\circ}\text{C}$ között vákuumban hogyan viselik el deformáció nélkül az egyes alkatrészek és az összeszerelt komplex szerkezet.

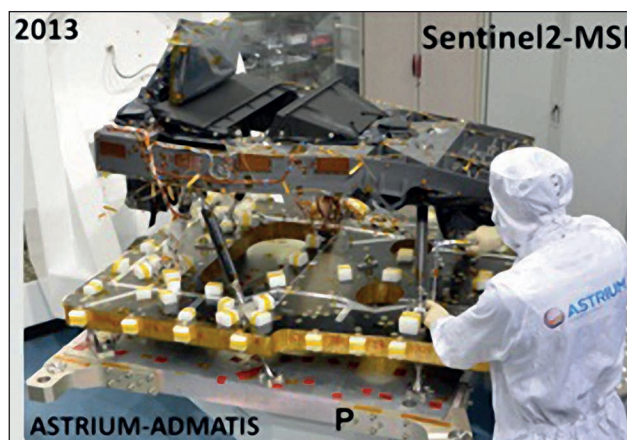
Mivel a rendkívül szigorú követelmények miatt a fém-megmunkáláskor sem az öntés, sem a hegesztés nem megengedett, az alkatrészek döntő többsége forgácsolással készült. Mivel minden műhold egyedi, lényegében az űrpar kizárólag prototípusokat épít. A fenti táblázat is mutatja, hogy a két első Sentinel (-2A és -2B) műhold tényleges műszaki adatai – bár hasonlóak – mégsem tökéletesen azonosak.

Mivel az alkatrészek felülete hol földi atmoszférával, hol pedig az űrkörnyezettel érintkezik, valamennyi fémalkatrész speciális felületkezelést kap. A felületkezelési eljárások kifejlesztését az ESA finanszírozza és kvalifikálja. Az Admatis Kft. három év fejlesztőmunkával jutott el arra a szintre, hogy ma már valamennyi strukturális alumíniumötvözethez rendelkezik űrkvalifikált felületkezelési eljárással.

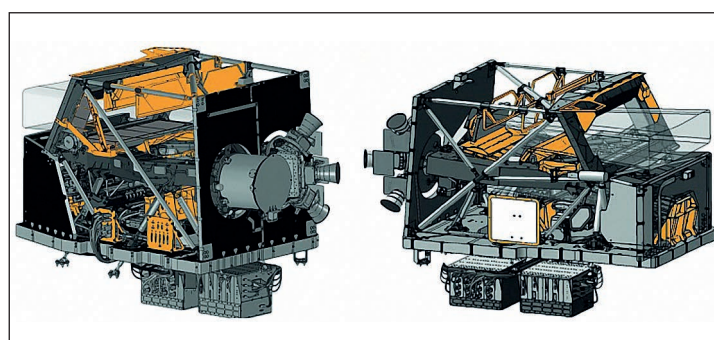
Az ESA és az európai űrpar rendkívül szigorú dokumentációs előírásai, az integrátorral folytatott folyamatos kapcsolattartás, a titoktartási és jelentési kötelezettségek, a minőségbiztosítás legfelső foka, és a munkanyelvként használt angol, az első időben szokatlan teherként jelentkezett, mára azonban már az Admatis Kft. normális munkarendjének számít.



4. ábra. Az Admatis beszállítói listája

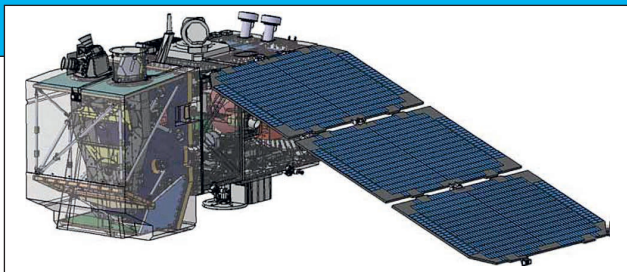


5. ábra. A Sentinel-2A MSI összeszerelése az Astrium telephelyén

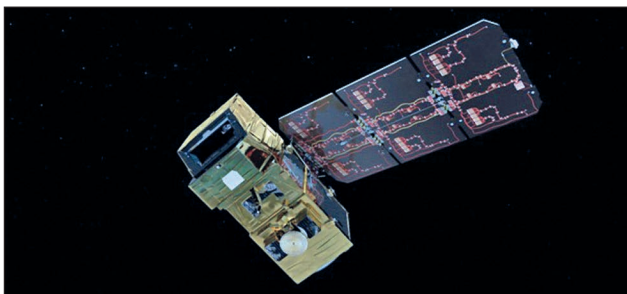


6. ábra. A Sentinel-2 MSI balról, illetve jobbról nézve. Az Admatis Kft. által gyártott alkatrészek narancs, valamint fehér színűek

A két legfontosabb tapasztalat a munka megfelelő előkészítésének és a célirányos menedzsmentnek a kiemelt jelentősége. Az Admatis Kft.-nek a Sentinel-2 első két példányának elkészítésére 47 hónapra volt szüksége (2009–2013), ennek az időnek a jó része tanulással telt el. Akadt olyan eszköz, amelynek tervezése több mint két évet vett igénybe. A gyártáselőkészítést, a gyártást és a próbákat csak sok-sok partnerrel közösen lehetett elvégezni, miután az eljárásokat a legapróbb részletekig egyeztetni kellett, illetve jóvá kellett hagyatni a megrendelővel. Az Admatis együttműködő partnereiről ad áttekintést a 4. ábra.



7. ábra. A Sentinel-2 műhold. A bal oldali rész az MSI, a jobb oldali pedig a működtetést szolgáló platform a szétnyitott napelemernyővel [2]



8. ábra. A repülő Sentinel-2A műhold a Föld felől fényképezve. A fehérítő négyzet az Admatis-féle SWIR FEEM radiátor [2]

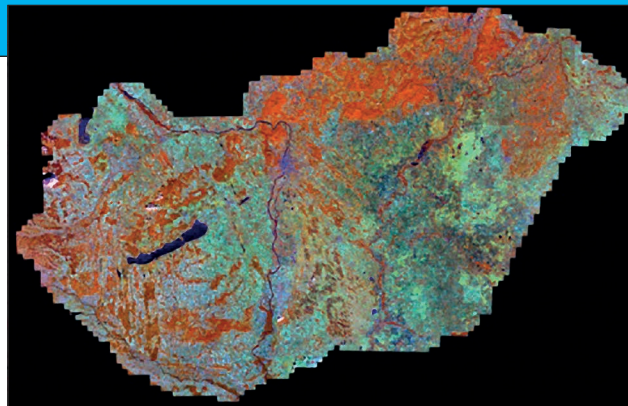
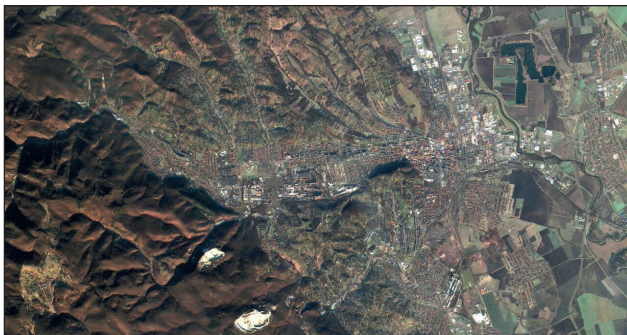
MŰHOLDOK A PÁLYÁN

A Miskolcon elkészült alkatrészeket az Airbus toulouse-i gyárában építették be a fedélzeti egységbe. A szükséges próbák után került sor a platform és a fedélzeti egység összeépítésére, a felbocsátás helyszínére történő szállításra (Kourou), majd a Vega rakétával a pályára állításra (7. ábra). Ezt követően néhány nappal a műhold megkezdte tervszerű működését (8. ábra). Az első képek megszemlélése után egyértelműen kiderült: a misszió sikerült, a Sentinel-2A a kitűzött célokat elérte (9. ábra). Azóta a Sentinel-2 holdak folyamatosan dolgoznak és minden európai állampolgár ingyenesen hozzájuthat bármelyik felvételhez.

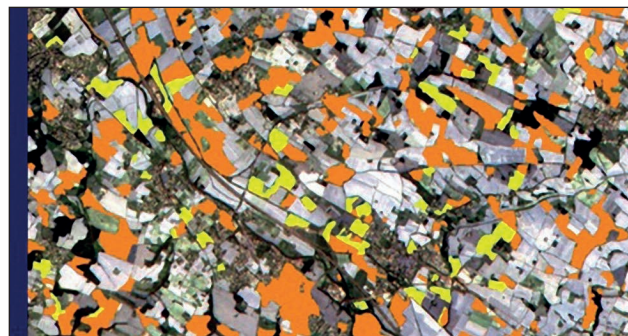
A Sentinel-2A és -2B adataiból természetesen mi magyarok is részesülünk. Budapest Főváros Kormányhivatala Földmérési Távérzékelési és Földhivatali Főosztálya (BKKH-FTFF) folyamatosan az egész országra vonatkozó, lehetőleg felhőmentes Sentinel-2 mozaikokat állít elő. A cél az, hogy egyszerűen felhasználható, egységesen feldolgozott, könnyen elérhető nagyfelbontású távérzékelési alapadatot biztosítson minden magyar állampolgár számára. Egy ilyen képet mutat a 10. ábra. A termőföldek felügyelete ma már világszerte űrfelvételek segítségével történik, egy francia példát a 11. ábra mutat.

A Sentinel-2A és -2B példányai után folytatódott a munka a -2C és -2D példányokkal. Ezek a munkák az Admatis Kft. részéről 2017 őszére sikeressé befejeződtek. A műholdak startjára várhatóan 2019–2021-ben kerül sor. Ekkor áll be az az állapot, hogy négy hold kering majd

9. ábra. A Sentinel-2A első képe Miskolcra



10. ábra. A Sentinel-2 képekből összerakott mozaik Magyarországról, BFKH-FTFF (2016. szeptember) [1]



11. ábra. Toulouse környéki termőföldek légi fotója 2015. június 27-én. Sárga: búza, narancs: napraforgó

ugyanazon a pályán 90–90 fokos követési szögekkel, és így egy-egy földi célpont felett kétnaponként halad majd át a Sentinel-2 flotta egy-egy műholdja.

Összegzőképpen elmondható, hogy a nagy európai álmom beteljesedni látszik. Az európai űrtechnika az európai emberek szolgálatába állt. Magyar részről nagy öröm és büszkeség tölthet el mindenkit, hogy aktív alkotóként magyar cégek is részt vehettek ebben a nagy nemzetközi programban, és helyet kaptak a világ leggyorsabban fejlődő cégeinek társaságában, az űriparban.

IRODALOMJEGYZÉK

1. http://mkt.hu/docs/2015-09-08-19-47-25-p7_Barczy_Pal.pdf;
2. ESA Sentinel online, Home » User Guides » Sentinel-2 MSI » Resolutions » Spatial. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> (Letöltve: 2019. 06.06.);
3. ESA Sentinel online, MSI Instrument-Sentinel2-MSI. <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (Letöltve: 2019. 06.06.);
4. Sentinels PDGS Industry Information Day, 5 May 2009, pg. 1.;
5. Az Európa Bizottság Közleménye, 2017 január.;
6. S. Clerc & MPC Team: S2-PDGS-MPC-DQR Issue: 19 Date: 06/09/2017.;
7. Bárczy Pál, Bárczy Tamás, Szőke János: Új sokcsatornás földmegfigyelő műholdcsalád születik, avagy a SENTINEL2-MSI-MMTH projekt technikai kihívásai. Űrtan évkönyv, 2015.;
8. Bárczy Pál, Jancsó Tamás: Földmegfigyelés. Technika magazin, 2015 február.;
9. P. Bárczy, T. Bárczy, J. Szoke: Creation of a new multispectral instrument for EO – technical challenges of SENTINEL 2-MSI-MMTH project, 1st International Conferencia on Research, Technology and Education of Space, H-SPACE 2015 Budapest, 2015. február 13.

(Fotók a szerzők gyűjteményéből.)