

FREY SÁNDOR – FARKAS PÉTER – GRENERCZY GYULA

Copernicus, Sentinel és Magyarország

Csupán hatvan év telt el az űrkorszak kezdete, az első műhold, a mai szemmel nézve igencsak kezdetleges, de úttörő jelentőségű Szeptnyik-1 pályára állítása óta. Az űrkutatás, az űrtevékenység azóta lélegzetelállító fejlődésen ment keresztül. E fejlődés számos lehetséges fokmérője közül az egyik, hogy milyen mértékben épültek be az űrtechnológia vívmányai mindennapi életünkbe, mennyire segítik a társadalom és a gazdaság hatékony működését világszerte. Azt kell mondanunk, hogy nagyon is! Ma már szinte közhely, hogy például az időjárás pontos modellezése, előrejelzése nem volna elképzelhető műholdas mérések felhasználása nélkül. Ugyancsak sokan tisztában vannak azzal, hogy az autós vagy a hétköznapi mobil távközlési eszközökkel végzett navigáció a helymeghatározó műholdrendszerek – közülük a legismertebb az amerikai GPS – adatain alapul. A globális információs hálózatok működése, vagy a távoli kontinenseken zajló sportesemények élő közvetítése pedig nehezen lenne elképzelhető a Föld körüli térben működő távközlési mesterséges holdak nélkül.

Ezekhez a közismerten „űrfüggő” területekhez zárkózik fel mostanában a földmegfigyelés. Nem mintha a korábbi években-évtizedekben nem alakultak, fejlődtek volna ki a műholdas távérzékelés sokrétű alkalmazásai. A felzárkózás inkább olyan szempontból értendő, hogy a társadalomban egyre jobban tudatosul a világűrbeli végzett földmegfigyelés haszna, alapvető fontossága. A folyamat talán a Google tömegek számára elérhetővé tett térképszolgáltatásával kezdődött. A földmegfigyelési alkalmazások – nem csak az egyszerű műholdfelvételek – egyre inkább átszövik mindennapjainkat, szolgáltatásrúvává válnak, a döntéshozók növekvő mértékben támaszkodhatnak az eredményeikre. A változások egyik fő hajtóereje pedig az európai Copernicus program.

Az Európai Bizottság nagyszabású földmegfigyelési programját 1998-ban kezdeményezték, a műholdas infrastruktúra



megvalósításában partner az Európai Űrügynökség (ESA). Eredeti neve a nem túl hangzatos GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) volt, csak később keresztelték át Copernicusra – 2012 óta ez a program hivatalos neve. Ahogy Európa saját navigációs műholdrendszere,

egyik sarokköve, hogy a műholdas mérési adatokat könnyen, szabadon, ingyenesen hozzáférhetővé teszik minden felhasználó számára. A világ eddigi legösszetettebb földmegfigyelési programjára Európa 2020-ig a becslések szerint összesen 6,7 milliárd eurót költ az adófizetők pénzéből. A gazdasági haszon azonban, amit az adatok felhasználásától és az új alkalmazások által generált gazdasági fejlődéstől, munkahelyteremtéstől remélnek, a befektetett összeget hosszabb távon sokszorosan meghaladja majd. Az Európai Unió (EU) és az ESA hosszú távú el-



Fantáziarajz a Föld körül keringő Sentinel-3A műholdról (ESA – Pierre Carril)

a Galileo, úgy a földmegfigyelési program is világképformáló európai tudósról kapta tehát a nevét.

A Copernicus feladata dióhéjban: globális, folyamatos, nagymértékben automatizált, megbízható, pontos, gyors földmegfigyelési adatok biztosítása operatív módon, nem utolsósorban műholdas eszközök felhasználásával, a lehető legváltozatosabb formákban és adattípusokkal. A program

kötelezettsége a program mellett garanciát jelent a kiszámíthatóságra, a szolgáltatások kifejlesztésébe való befektetés megtérülésére. A program fontos eleme ugyanis, hogy a Copernicus adataihoz és szolgáltatásaihoz való szabad hozzáférés legalább a 2030-as évekig biztosított marad. Ez pedig korábban sosem látott lehetőséget teremt azon szervezetek, vállalkozások számára, amelyek most a műholdas adatokon alapu-

A januárban a Dunán, Dálya mellett kialakult jégtorlasz a Sentinel–1 radaros műholdak „szemével”



1. ábra. A Duna Apatin és Vukovár közötti szakaszának részlete 2017. január 15-én, a Sentinel–2A műhold látható fény tartományában készült képén (Copernicus Sentinel adatok 2017/Geo-Sentinel Kft.)

A Sentinel műholdak észleléseiből származtatható információ például a tavak vagy folyók téli jég-helyzetének áttekintésére, a jégborítás mértékének és változásának megfigyelésére alkalmazható. A műholdas mérések így hozzájárulhatnak a helyzet felméréséhez és a hatékony védekezés tervezéséhez. A Duna dályai kanyarulatában idén januárban keletkezett, majd a jégtörők munkájának köszönhetően átvágott jégtorlasz kialakulása, növekedése és áttörése jól nyomon követhető képsorozatunkon, az európai Copernicus program Sentinel–1 radaros földmegfigyelő műholdjainak január 14–22. közötti adataiból készült, a radarjel polarizációs tulajdonságait kiemelő, hamis színezésű képek sorozatán.



2. ábra. A Sentinel–1 műholdak radarképeiből készített összeállítás a jelenséget legjobban láttató hamis színezéssel.

A felső képen a jégtáblák már sűrűn borítják a folyót, a középsőn a kialakult, összefüggő jégtorlasz látható, az alsó képen pedig a jégtorlaszba a jégtörő hajók által vágott csatorna és a jég meginduló „lefolyása” látható

(Forrás: Copernicus Sentinel adatok 2017/Geo-Sentinel Kft.)

Az 1. ábra a Sentinel–2A műhold felvételeiből készült, a 2017. január 15-én érvényes állapotot mutatja, a valódihoz közeli színekben. Jól felismerhető rajta a Duna északról dél felé kanyargó szalagja. Ezen a szakaszon a Duna határfolyó Szerbia (keleten) és Horvátország (nyugaton) között. A kép alsó felén a Dálya melletti kanyarban szembetűnő a folyót teljes szélességében kitöltő, összefüggő fehér jégtorlasz. Megfigyelhető továbbá az attól északabbra található Apatinnál a már járható, áttört jég is. A határtól délre fekvő folyószakaszon januárban Magyarországról odavezényelt jégtörő hajók segítettek a torlasz megszűntetésében.

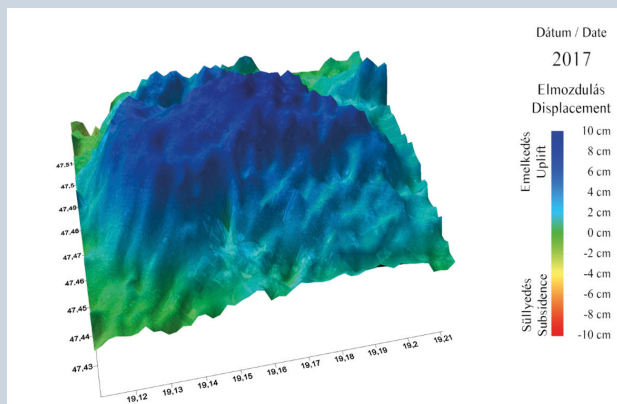
Az optikai műholdfelvételek alkalmazását korlátozza, hogy csak nappali megvilágítás és derült idő mellett tudják a tájat leképezni. Ezzel szemben az apertúraszintézis elvén működő, a saját maguk által kibocsátott jelekkel aktív távérzékelést végző radaros műholdak – mint amilyenek a Sentinel család 1A és 1B jelű tagjai – éjszaka és borult, ködös, párás időben is használhatók a vizsgált jelenségek műholdas felmérésére és nyomon követésére. A Sentinel–1 műholdak felszálló és leszálló műholdpályán és éjszaka is észlelnek, ezáltal jelentősen növelve az elérhető adatok gyakoriságát. Az itt vizsgált terület ráadásul két, egymással átfedő észlelési keret határán található, így 1–4 naponta garantáltan kapunk adatot. Ezzel szemben a Sentinel–2 műholdpár optikai felvételei esetében a visszatérési idő 5 nap, de időjárási okok miatt előfordulhat, hogy akár egy hónapig is használható információ nélkül maradunk.

A 2. ábra képsorozatának középső képe a Sentinel–1 radarműholdak 2017. január 16-án gyűjtött adataiból készült. Az amplitúdókép monokróm, a felszínről visszaszórt radarjelek különböző polarizációjú összetevőinek mesterséges színezésével esetünkben a folyami jég láthatóvá válik. Mivel a vízszintes felületekről nem verődik vissza a műhold irányába jel, a radarképen a nyílt vízfelületek és az állóvízi jég sötétnek mutatkozik. Azonban a folyami jég egyenetlen felületeinek tulajdonságai egészen mások, a visszaszórt radarjelek miatt így szinte „világít” a dályai kanyar jégtorlasza a Dunán. ❖

Felszín- és épületmozgások Budapesten

Milyen felszín- és épületmozgások voltak az elmúlt két és fél évben Budapesten és környékén? Erre ad választ közel 7000 négyzetkilométeren, mintegy 1,5 millió pontban a legkorszerűbb űrgeodéziai módszerrel, a Sentinel-1 műholdak adatain végzett állandó szórópontú műholdradar-interferometriás elemzés segítségével a Geo-Sentinel Kft.-nél nemrég elkészült felmérés. A 2014 októbere óta eltelt időszakban összesen 80 mű-

A Sentinel-1 műholdak észlelései hosszú időn keresztül folytatódnak, az idő előrehaladtával a mozgástörténet a mostaninál is pontosabb meghatározása válik majd lehetővé. Ezek az adatok fontosak lehetnek például bányászati, olajipari és vízügyi szakemberek, nagy fontosságú létesítmények üzemeltetői, közmű- és útépítők, mélyépítők, ingatlanfejlesztők, biztosítótársaságok, önkormányzatok számá-



3. ábra. A legújabb Sentinel-1 műholdradar-interferometriás vizsgálatok eredménye szerint Kőbánya egy részének az elmúlt évtizedekben tapasztalt felszínemelkedése mostanra lelassult. Az ábra a műholdradaras mérések kezdete, 1995 óta összegzett emelkedést illusztrálja. A színskála szerint helyenként akár 10 cm-t is megemelkedett a felszín bő két évtized alatt (Forrás: Geo-Sentinel Kft.)

holdátvonulás alkalmazásával észlelt adatok alapos, komplex feldolgozásával soha nem látott részletességgel rajzolódik ki környezetünk elsősorban magassági irányú mozgása.

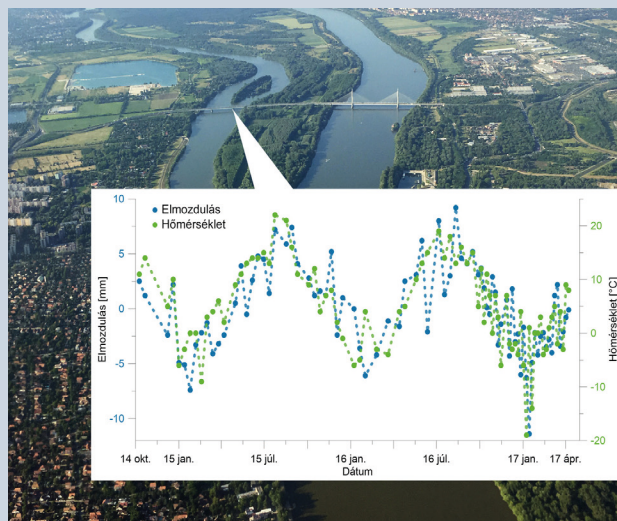
Budapesten és környékén a legkiterjedtebb és legnagyobb, akár több mint 1 cm/év nagyságú felszínemelkedés Kőbányán volt kimutatható a korábbi műholdradaras, illetve földi ellenőrző mérések alapján. Ennek oka a feltételezések szerint a múlt század második felében még számottevő helyi vízkivétel megszűnése, a talajvíz elmúlt évtizedekben tapasztalható jelentős megemelkedése volt. Az új eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a kőbányai kiemelkedés a terület közel egészén lelassult és lényegében megállt. Jelenleg már csak az anomália délnyugati részén mérhető a korábbiakhoz képest jóval kisebb, legfeljebb 2 mm/év sebességű emelkedés (3. ábra).

A Sentinel-1 adatain alapuló friss elemzés által kimutatott, az elmúlt két és fél évben zajló felszínmozgások közül egy érdekes eset Budapesten, a Jászberényi út környezetében mért anomália. Itt egy nagy kiterjedésű, központjában több mint 1 cm/év sebességű emelkedés zajlik (4. ábra), ami érinti Kőbánya és a Rákosmente egyes részeit is.

A műholdradar-interferometriás mérésekkel elérhető pontosságot jól példázza a Megyeri híd esete, ahol a híd egyes részeinek műholdirányú mozgásában megfigyelhető, kb. 1 cm amplitúdójú, évszakos periódusú jel egyértelműen összefüggésbe hozható a hőmérséklet változásával. A műholdas módszerrel többek között a hídstruktúra hőtágulásából adódó kis deformációkat is ki lehet mutatni (5. ábra).



4. ábra. Az elmúlt két és fél év műholdirányú (a függőlegeshez közeli) felszínmozgási sebessége Budapesten, a Jászberényi út környékén. A körök a beépített környezetben a radaros szórópontok elhelyezkedését jelölik, a szinkódolás a sebességük nagyságára utal mm/év egységben. A pozitív értékek emelkedést, a negatívak süllyedést jelentenek (Forrás: Geo-Sentinel Kft., háttér: Google Earth)



5. ábra. A Megyeri híd műholdirányú mozgását az évszakokhoz kapcsolódó hőmérséklet-változások alakítják (Forrás: Geo-Sentinel Kft., hőmérséklet adatok: LHPB METAR)

ra, de bárki másnak is, akinek a világ bármely pontján a talaj, az épületek és építmények stabilitásának, mozgásának ismerete hasznos vagy érdekes. ◊

ló új alkalmazásokat fejlesztenek, és üzleti modellt alakítanak ki. A Copernicus Európában – de persze nem feltétlenül csak a kontinensen – gyökeres változást hozhat, felforgathatja a műholdas földmegfigyelés piacát. Jelenleg még az útkeresés időszakának tanúi vagyunk, de nem nehéz megjósolni, hogy a korábbi, alapvetően tudományos kutatási területről igen gyorsan a közvetlen gazdasági-társadalmi hasznosítás, a gyakorlati alkalmazások irányába (is) fordul a földmegfigyelés.

A Copernicus program három fő pillérre alapul. Az egyikük az űrkomponens, amelynek részei maguk a Föld körül keringő, a méréseket végző mesterséges hol-

adott műholdcsalád feladatára utal. Az 1-es számú sorozat tagjai például az apertúraszintézis elvén működő radaros, a 2-eséi optikai és infravörös sávú megfigyeléseket végeznek. Az összetett feladattal rendelkező Sentinel-3 holdak főleg az óceánokat, de a szárazföldeket is vizsgálják, a felszín hőmérsékletét, színét, valamint a tengerszint magasságát mérik. Az említett sorozatokból már egy (Sentinel-3A) vagy két (Sentinel-1A és -1B, valamint Sentinel-2A és -2B) példány repül. A sorozatszámok mögött álló betűjelek (A, B, később majd a továbbiak) pedig a fő szabály szerint a felbocsátás sorrendjét jelzik.

A radaros távérzékelést végző Sentinel-1

ben) készítene felvételeket, elsősorban – de nem kizárólag – a szárazföldi területek vizsgálatát megelőzve. A család első tagja, a Sentinel-2A 2015 júniusában, a második, a 2B jelű 2017 márciusában startolt. Poláris napszinkron pályáról 290 km széles felszíni sávokat térképeznek fel, 10 m-es felszíni felbontással.

A Sentinel-3 sorozatból egyelőre az A jelű van Föld körüli pályán, 2016 februárja óta. A következő, a Sentinel-3B a jövő év elején kerülhet sorra. Ezek a műholdak változatosabb műszerezettséggel épültek. Fedélzetükön egy közepes felbontású, 21 hullámhosszon érzékeny optikai kamera, egy a felszínhőmérséklet mérésére alkalmas infravörös sugárzásmérő, egy mikrohullámú sugárzásmérő, és egy az apertúraszintézis elvén működő radaros magasságmérő (altiméter) repül. Fő feladatuk az óceánok hőmérsékletének, színének és vízszintjének a vizsgálata, de a szárazföldek fölött például a növényzet állapotának megfigyelésére és tüzek detektálására szolgálnak.

Magyarország, mint az EU és az ESA tagja, különösen érdekelt a Copernicus programban és annak hasznosításában. A terület kiemelt jelentőségét a kormányzat is felismerte. Megkezdődött a Földmegfigyelési Információs Rendszer kialakítása, amely a földmegfigyelési adatinfrastruktúra és szolgáltatások alapjait jelenti, a nemzeti felhasználók – közigazgatási szervek, vállalkozások és a lakosság – hatékony kiszolgálására. A hazai űripar is kivette a részét a Copernicus program műholdjainak elkészítéséből. A miskolci Admatis Kft. vezetésével több mint 70 fféle alkatrészt szállítottak a már pályán levő Sentinel-2A és -2B számára. A sikeres munka révén pedig részt vesznek a sorozat később felbocsátandó, de már készülő C és D jelű tagjának építésében is.

Cikkünk illusztrálásaképp bemutatunk néhány olyan magyar vonatkozású képet és eredményt, amelyek a Copernicus program révén elérhető műholdas földmegfigyelési adatok alapján készültek a közelmúltban. Az összeállítás természetesen nem készülhetett a teljesség igényével, hiszen a Copernicus adatok alkalmazási területei szinte végtelenek. Biztosak vagyunk abban, hogy az elkövetkező években egyre többet találkozunk majd az európai földmegfigyelési adatok alkalmazásaival, hasznosításaival itthon is!

Irodalom

- Almár Iván: ESA-szolgáltatások és -alkalmazások áttekintése. *Európával a világűrben. Természet Világa 2014/2. különszám*, 61. old.
 Űrvilág asztronautikai hírportál (urvilag.hu) cikkei
 Sentinel blog (geo-sentinel.hu/blog) cikkei



A Sentinel-3A műhoddal 2017. március 29-én készült kép a Kárpát-medencéről és földrajzi szomszédságáról (Copernicus Sentinel adatok 2017/Geo-Sentinel Kft.)

dak, valamint azok földi követőállomás-hálózata. A Copernicus számára a Sentinel (a szó jelentése: órszem) műholdak hat családja dolgozik, tagjaik kifejezetten a program keretében álltak (vagy állnak hamarosan) pályára. Ezek a látható, infravörös és ibolyántúli fény tartományában vagy radaros technikával végeznek megfigyeléseket: képet alkotnak a Föld felszínéről, mérik az óceánfelszín magasságát, színeképeket készítenek. A második pillért a földi vagy légi adatgyűjtésre alkalmas mérőhálózatok jelentik. Végül a Copernicus fontos eleme az adatok alapján a felhasználóknak nyújtott szolgáltatások kiterjedt rendszere.

Ami a Copernicus program keretében működő vagy épülő űreszközöket illeti, a Sentinel név mögött álló sorszám

holdak napszaktól és időjárástól függetlenül is képesek a felszín leképezésére. A Sentinel-1A – a Copernicus program számára készült műholdak közül legelsőként – 2014 áprilisában, a Sentinel-1B két évvel később, 2016 áprilisában állt pályára. Azonos alakú, alacsony, a pólusok fölött húzódó pályán, egymással „szemben” keringenek a Föld körül, így optimalizálják a visszatérési időt a földfelszín egy adott területére vonatkoztatva. Már megkezdődtek az előkészületek két újabb műhold gyártására (1C és 1D), ami lehetővé teszi, hogy legalább a 2030-as évek végéig folyamatos legyen a mérések sorozata.

A Sentinel-2 műholdak a látható fény és a közeli infravörös hullámhosszak tartományában, összesen 13 sávban (szín-