

A műholdas távérzékelés felhasználási lehetőségei a katasztrófák megelőzésében és kezelésében

Possibilities of using satellite remote sensing in the prevention and managing of disasters

dr. Nóta József
SZSZB VMKI Fehérgyarmati Katasztrófavédelmi Kirendeltség,
kirendeltség-vezető
Email: jozsef.dr.nota@katved.gov.hu
ORCID: 0009-0008-0612-6639 

Absztrakt:

Jelen munka célja, hogy bemutassa a műholdas távérzékelés által kinyerhető adatok felhasználási lehetőségeit, korlátait és várható jövőbeni fejlesztési irányait a természeti és civilizációs katasztrófák megelőzése, korai előrejelzése és rugalmas, hatékony kezelése terén. A munka áttekintést ad a rendszerben használt műholdak képességeiről, használhatóságáról, a katasztrófa-elhárítás terén eddig szerzett tapasztalatokról. Javaslatokat tartalmaz a Katasztrófavédelem szervezetében az egyes szakterületek általi közvetlen felhasználásra is. A bemutatás különös figyelemmel terjed ki az Európai Bizottság COPERNICUS Programjára, melyben a SENTINEL műholdcsalád által elérhető távérzékelési adatok a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF) által közvetlenül lekérhetőek, beavatkozási stratégiák kidolgozásához, valamint a helyreállítás irányításához egyaránt felhasználhatóak. Az anyag bemutatja továbbá az Európai Unió támogatásával, több szervezet, köztük a BM OKF partnerségével megvalósított Földmegfigyelési Információs Rendszer eredményeit és fejlesztési lehetőségeit is.

Kulcsszavak: Földmegfigyelési Információs Rendszer, műholdas távérzékelés, Copernicus, katasztrófa-elhárítás, világűr.

Abstract:

The aim of this work is to present the possibilities, limitations and expected future development directions of the data that can be extracted by satellite remote sensing in the field of prevention, early prediction and flexible, efficient management of natural and civilized disasters. The work provides an overview of the capabilities and usability of the satellites used in the system, as well as the experiences gained so far in the field of disaster prevention. It also contains recommendations for direct use by individual specialties in the organization of the Disaster Management. The presentation covers with special attention the COPERNICUS Program of the European Commission, in which the remote sensing data available by the SENTINEL satellite family can be directly requested by the National Directorate-General of Disaster Management of Hungary (NDGDM), and can be used both for the development of intervention strategies and for the management of restoration. The material also presents the results and development possibilities of the Earth Observation Information System implemented with the support of the European Union and the partnership of several organizations, including the NDGDM.

Keywords: Earth-observation Information System, satellite remote sensing, Copernicus, disaster response, outer space.

1. BEVEZETÉS

A társadalom és a gazdaság ma már egyszerűen nem működhet hatékonyan a műholdas távérzékeléssel nyert adatok nélkül. Mindennapi életünk részei, a navigáció, a távközlés, vagy a meteorológiai előrejelzések, műholdak használata révén működnek, de számos további terület is használja azokat: ipar, bányászat, mezőgazdaság, régészet, halászat, nemzetbiztonsági és katonai szféra. A műholdas távérzékelés révén nyerhető adatok felhasználása rendkívüli lehetőségeket nyit meg a természeti és civilizációs katasztrófák megelőzése és hatékony kezelése terén is.

2. A MŰHOLDOK RÖVID TÖRTÉNETE

A világűrbe küldött mesterséges testek első ötlete 1728-ból, Sir Isaac Newtontól ered, aki (részben Kepler munkáját folytatva) a földi gravitációs mezőt egy, az űrbe kilőtt ágyúgolyóval¹ szemléltette, mely, ha elég energiával indul, nem zuhan vissza a Földre, hanem a gravitációs teret követve Föld körüli pályára állva, „körbeesí” a bolygót [1, p. 56]. Ilyen képességű ágyú persze nem létezett, a megvalósítással a II. világháború végéig várni kellett, amikor a rakéta-technika már képes volt szilárd testeket stabil, Föld körüli pályára juttatni. A sort 1957-ben a szovjet Szputnyik műhold nyitotta meg, mely után az űrverseny felpörgött. 1960-tól az amerikai TIROS műholdak, (majd 1966-tól az EROS műholdak [2, p. 1034] már a Föld megfigyelését végezték. 1961-ben már 115, Föld körül keringő szatellitet tartottak nyilván. Napjainkra a működő műholdak száma meghaladja a hatezretet, mely szám 2030-ig meg is tízszeresződhet [3, p. 1].

3. A KATASZTRÓFÁK ELLENI VÉDEKEZÉS SZOLGÁLATÁBAN

A műholdak felhasználhatósága a katasztrófavédelem területén eléggé közismert, így például a meteorológiai műholdak használata a közelgő viharok, hurrikánok jelzésére. Korunk technológiája azonban ettől jóval sokrétűbb alkalmazásokat is lehetővé tesz [4, p. 430]. A műholdas távérzékelés legnagyobb előnye, hogy igen nagy felbontású képeket, több érzékelési tartományban (látható-, infravörös- és mikrohullámú tartomány stb.), nagy földrajzi területet lefedve biztosít. A műholdak szinte minden spektrumban vizsgálják Földünket [4, p. 417], fő megfigyelési eszközeik: televíziós kamera, radar, lidar², spektrométer. A lehetőségeket veszélyeztető hatásonként veszünk górcső alá.

3.1 Tűzmegelőzés, tűzoltás

A műholdas megfigyelés felhasználásának egyik legfiatalabb területe a tűzoltás. A műholdképek a tűz terjedési irányának, kiterjedésének pontos kimutatásával, oltóvíz-források feltüntetésével segíthetik a tűzoltási stratégia meghatározását (természetesen az áthaladási és képfeldolgozási idő, valamint a földrajzi lépték figyelembevételével).

A műholdkép kimutathatja például a növényzettel borítottságot, a talaj és a növényzet nedvesség-tartalmát. Az infravörös tartomány feltárja az optikai felvételek számára takarásban lévő tűzfészkeket (1. sz. ábra). Ezek a beavatkozási stratégia meghatározásában nagyban segíthetik a tűzoltás-vezetőket.

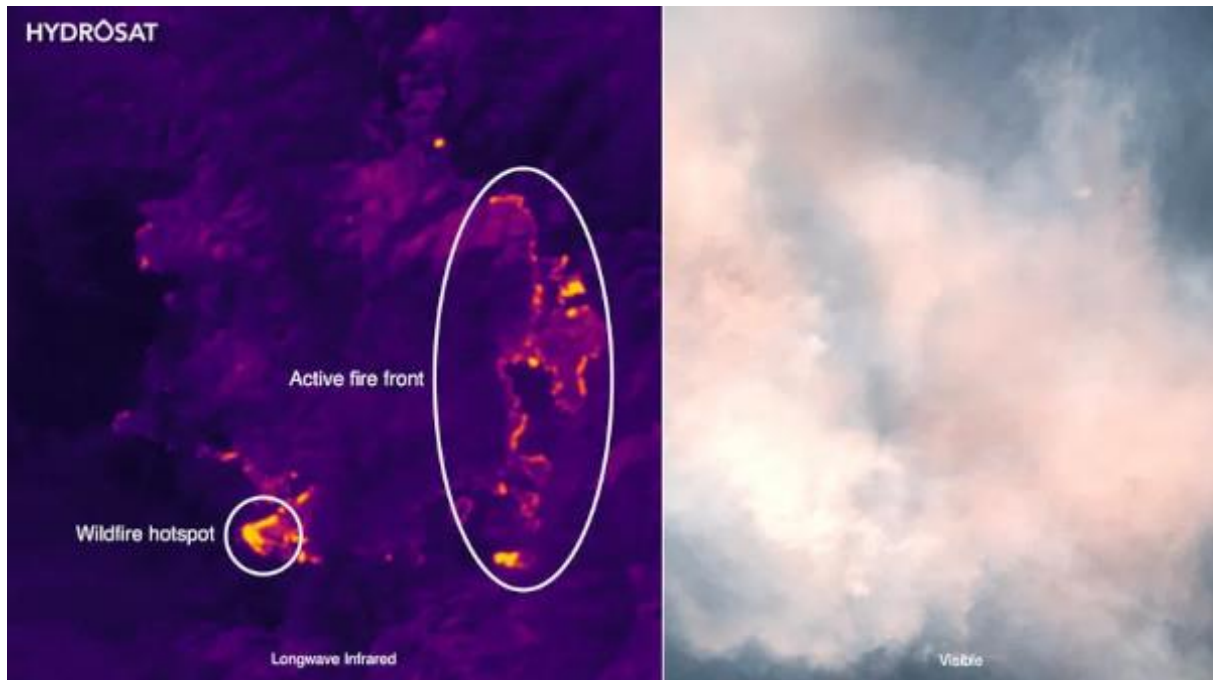
A tűz megfékezését követően lehetőség nyílik a leégett terület pontosabb meghatározására [5, p. 6], akár helyrajzi számokhoz társítva. Így jelentős helyszín-bejárási költségtől mentesülhet a tüzesetet vizsgáló hatóság.

¹ A stabil pályán mozgó test (ágyúgolyó) sebessége 7.000-10.000 méter/sec közötti kell, hogy legyen. Kisebb sebességnél visszaesik a Földre, nagyobb sebességgel eltávolodik attól [1, p. 24].

Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_cannonball (2023.11.01)

² „Light Detection and Ranging” - Lézeres távolságmérő, mely a kibocsátott jel visszaérkezési idejéből számolva 3 dimenziós képet alkot a megfigyelt területről. (Néhol „3D lézer szkennert”-ként is hivatkoztak.)

A terület műholdképek általi vizsgálata lehetőséget ad a nehezen elérhető helyek megismerésére is, rendszeresen (kb. hetente) frissülő térképi alkalmazásokkal. A **tűzmegelőzés** köréhez tartozik továbbá, hogy a növényzettel borítottság és víztartalom (száraz, gondozatlan növényzet) kimutatása a technológiával szintén, terület-bejárás nélkül lehetséges.



1. ábra Ugyanazon tüzeset érzékelése infravörös és optikai tartományban. (Kép: Hydrosat³).

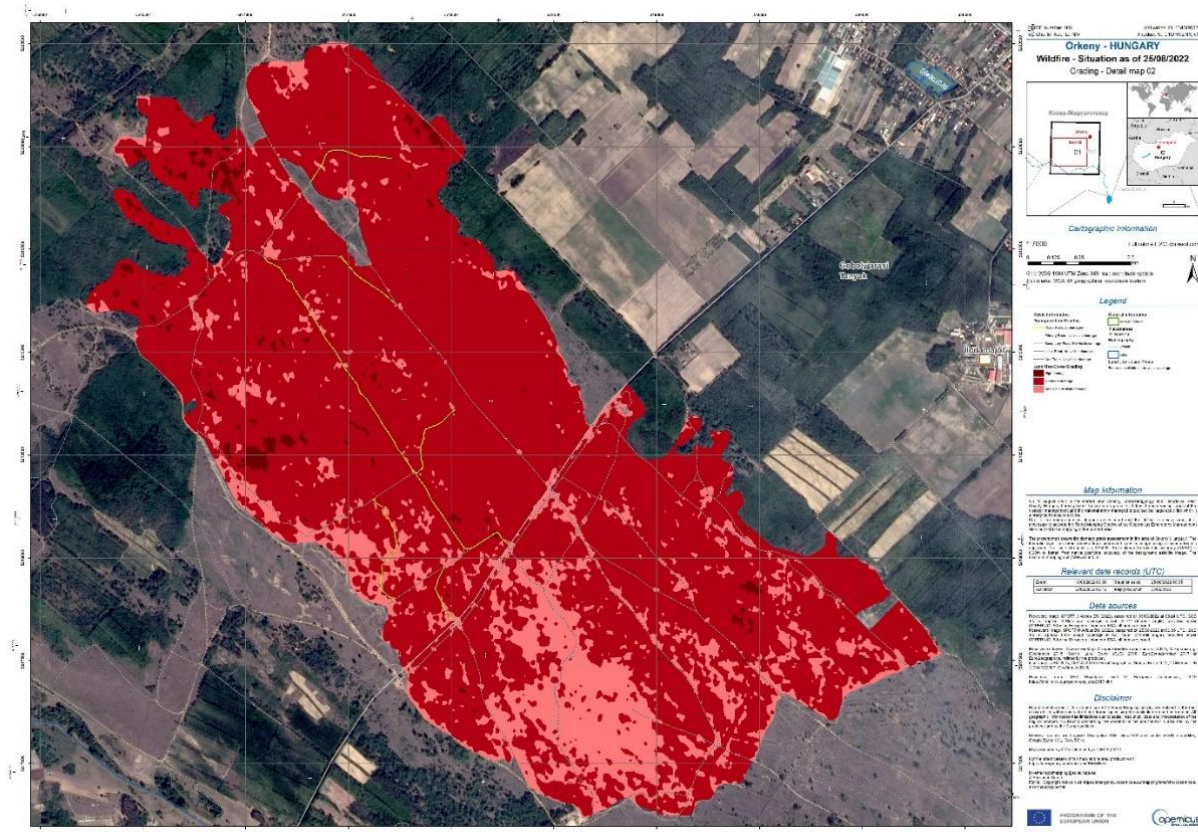
A NASA Terra és Aqua műholdjain működő MODIS⁴ eszközök 1-2 nap követési idővel képet alkotnak a teljes földfelszínről, 36 spektrális sávban vizsgálva azt. A korábbi évek erdőtüz-adatait felhasználva, igen nagy beválási eséllyel figyelmeztetnek vegetációs tüzek kialakulására. A technológia, főleg drónok alkalmazásával kiegészítve, lehetőséget ad a valós vagy közel valós idejű képalkotásra a tüzek intenzitásáról és terjedési irányáról.

Egy példa a műholdtechnika hazai, gyakorlati használatára: a 2022. augusztus 18.-án, Tatárszentgyörgy mellett keletkezett tűz eloltásához, majd a tűzvizsgálathoz a BM OKF aktiválta a Copernicus EMS⁵ rendszert, mely műholdképekkel segítette a tűzzel kapcsolatos felméréseket és vizsgálatokat (2. sz. ábra).

³ Forrás: https://www.urvilag.hu/kornyezetunk_vedelme/20230828_termikus_infravoros_foldmegfigyeles

⁴ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Forrás: (<https://www.gislounge.com/real-time-fire-mapping-and-satellite-data/?nowprocket=1>)

⁵ Emergency Management Service – COPERNICUS Veszélyhelyzet-kezelési Szolgáltatás. (Lentebb bemutatva.)
Forrás: <https://emergency.copernicus.eu/>



2. ábra Örkény erdőtűz⁶

3.2 Ipari katasztrófák elleni védekezés

2010. október 04-én az ajkai timföldgyár X. számú vörösiszap-tároló kazettájának gátja átszakadt, közel 700 ezer m³ erősen lúgos zagykiömlést okozva, melynek következtében 10 ember halt meg, 150-en megsérültek, és közel 400 ház sérült meg vagy vált lakhatatlanná. A műholdas távérzékelés révén, a korábban eltárolt adatokból megismerhetővé vált a kazetta stabilitásának változása, melynek vizsgálatára az Európai Űrügynökség (ESA) révén, radar - interferometrikus PSI-módszer⁷ segítségével volt lehetőség. A műhold, minden áthaladásánál képet készített a felszínről, melyek összevethetők. Az interferometrikus technika lehetővé teszi, hogy a felvételek közötti elmozdulások meghatározhatók legyenek, és így azokról idősor készüljön. A mérések eredményeként megállapították, hogy a gátrendszer évről évre, gyors tempóban (évi több, mint 1 cm) süllyedt. A megsüllyedés egyenetlensége is problémát okozott, mely belső mechanikai feszültséget keltett a gátfalakban. A kis területen játszó nagy mozgáskülönbség okozta a gátfal repedését, majd átszakadását. A gát a kimutatott maximális süllyedés és legnagyobb differenciális mozgás helyén szakadt ki. Ha a technológia már korábban rendelkezésre állt volna, a gátak stabilitásának monitorozásával a mozgások a gátzakadás előtt kimutathatók lettek volna. A vizsgálati módszer önmagában is nagy jelentőségű, hiszen a felvételek kronológiai vizsgálata nem jár terepmunkával, azt nehezen megközelíthető helyeken is sikerrel lehet alkalmazni.

⁶ Forrás: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR627>

⁷ Differenciális és állandó szórópontú apertúraszintézis műholdradar-interferometria.

Forrás: http://www.urvilag.hu/katasztrofak_ellen/20101115_evek_ota_sullyedt_az_ajkai_vorosizsap_tarozo_gatja

3.2.1 Ipari balesetek, radiológiai és nukleáris káresemények; a tevékenységek felügyelete

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek (pl. Flixboroguh, Seveso, Bhopal, Toulouse) és nukleáris létesítmények (pl. Csernobil, Fukusima) balesetei az elmúlt évtizedekben megmutatták, hogy a vegyi és nukleáris ipar, igen jelentős veszélyeket hordoz magában. A balesetek sok ezer ember halálát, sérülését okozták, és a következő generációk életére is rányomták bélyegüket (stochasticus hatások⁸, genetikai rendellenességek). Mind a szabályozást, felügyeletet, megelőzést, mind a bekövetkezett események elhárítását és a kárfelszámolást nagyban segítheti a műholdas technológia.

Először is, a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek felépítése előtt (**engedélyezés**), a térség geológiai stabilitásának meghatározását segíti a radar-távérzékelés és idősoros mozgásvizsgálat (*földtani veszélyforrások rész*). Az üzem így nem épülhet olyan helyre, ahol nagy valószínűséggel fog bekövetkezni szeizmikus esemény. A lehetséges árvízveszély kiküszöbölését a műholdas altimetriai mérések, árvíz-terjedési modellek segíthetik. (A nukleáris létesítményeket szintén fenyegetik földtani és hidrológiai események⁹).

Az üzemek **felügyelete** kapcsán, a műhold-technológia révén felderíthetők pl. engedély nélkül bővített üzemek, akár jelenleg is: szabad hozzáférésű optikai műholdképeken (pl.: Google Earth) felfedezett „gyanús” tartályok, felhalmozott anyagok, új létesítmények máris alapját jelenthetik egy tűzvédelmi és iparbiztonsági helyszíni ellenőrzésnek. Maga a felderítés így nem kerül kiszállási költségbe, másrészt, a nehezen bejárható helyszínekre is kiterjedhet.

Veszélyes anyagok kiszabadulásánál a légkörbe kerülő veszélyes gázok mennyisége, terjedési iránya pontosan meghatározható, ami segíti pl. a veszélyességi övezetek meghatározását. A hamarosan felbocsátásra kerülő Sentinel-4 és -5 műholdak már megfelelő berendezésekkel rendelkeznek a kifinomult légköri észlelésekhez, megfelelő léptékű eseménynél. (Fontos szempont persze a műhold áthaladási ideje is.) A műholdak alkalmazása (főleg kiterjedt kárhelyszínen, elhúzódó káresemény kapcsán) tehát jól kiegészítheti a Katasztrófavédelmi Mobil Laborok (KML) döntés-támogató, helyi méréseit.

3.3 Árvízvédelem

A felszín részletes (altimetriai mérésen alapuló) ismerete, a mélységi tagoltság akár milliméteres pontosságú feltérképezése, fejlett számítástechnika (mesterséges intelligencia) alkalmazásával, páratlan lehetőséget nyújt arra, hogy az egyes árvízvédelmi szakaszok részletes megismerésével a számítógépes képalkotás olyan árvízi előntési változatokat modellezzen (jelenlegi modelleket kiegészítsen), melyekkel a víz mozgását, kiterjedését, áramlási sebességét nagy valószínűséggel előre lehet jelezni.

3.3.1 Árvíz-megelőzés

Az ártéri öblözetekre modellezett „előntés-változatoknak” igen komoly jelentősége van a polgári védelmi tervezés szempontjából. A modellek segítségével pontosabban lehet tervezni a víz útját, dinamikáját, várható mélységét: így az érintett települések védelmét, kitelepítését pontosabban lehet megtervezni. A lakosságot befogadó település is csak olyan lehet, amelyet ugyanazon árvíz terjedése nem érint. A modellezés segítségével nyilvánvalóvá válhatnak olyan területek, ahol az árvízbetörés

⁸ A stochasticus jelenségek esetében valószínűségi, küszöbdózisok nélküli hatásról van szó, ahol az elnyelt dózissal a változás bekövetkezésének a valószínűsége lesz arányos, s nem azok nagysága (súlyossága).

Forrás: https://www.doki.net/tarsasag/radiologia/upload/radiologia/document/sugarved1_c.html

⁹ A fukusimai reaktor-leolvadások közvetlen kiváltó oka a nem várt nagyságú szökőár volt, mely a reaktor-hűtés biztonsági tápellátását is megszüntette, és a tartalék dízel-generátorokat is leállította. Forrás: Kulacsy Katalin: Fukusima: mi történt és mi várható? (MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, 2011) [11, p. 38].

kritikusan rövid idő alatt, és/vagy rendkívüli rombolóerővel történhet meg, így lokalizációnak, vagy tervezett kitelepítésnek nincs realitása: előre fel kell készülni a lakosság kimenekítésére. A tervezéssel pontosítani lehet a kitelepítési útvonalakat is. Felmerülhet a határon átnyúló tervezés is, amikor a kitelepülőknek egy szomszédos ország területén kell áthaladniuk. Ebben a vetületben felértékelődik a műholdas képalkotás, mely a határok fölött is át tud tekinteni, és objektív, valós képet tár fel az ottani terepviszonyokról, árvízi helyzetről. A vízügyi szakemberek előtt a modellezés korábbi változata jól ismert, de a műholdas távérzékelés és a mesterséges-intelligencia alkalmazása révén jelentősen továbbfejleszhető. A gépi tanulás módszerével már a megelőzés körében feltárhatók a védművek gyenge pontjai, modellezhető azok védelmi képessége és e képesség határa. A védmű területén végzett geológiai vizsgálatok is feltárhatnak gyenge pontokat (talajtípus változása, holtmeder-keresztelés stb.), melyet a műholdas „letapogatás” jól kiegészíthet. Az összesített modell választ adhat a védmű mechanikai terhelhetőségének kérdéseire. A modellek rugalmasan módosíthatók, amennyiben több ponton is gátszakadás történik, azaz több változat egyidejűleg valósul meg, és a modellek gyors frissítése szükséges. Az árvíz levonulása után a mérési eredmények összevethetők a modellek adataival, ami segít mind a modellek fejlesztésében, mind a műholdas mérések újrapalibrálásában.

Fejlett számítások elvégzésére nyílik lehetőség az árapasztó tározók megnyitásának legoptimálisabb időszakára is, mely egy rendkívül kritikus kérdés: a túl korán, indokolatlanul nyitott tározó, jelentős károkat okozhat a mezőgazdaságban és az élővilágban, viszont az elkésett nyitás nem fogja a szükséges mértékben csökkenteni az árhullám nagyságát, a tározó nem tölti be szerepét.

A műholdas távérzékelés, lehetőséget biztosít az árvízvédelmi tervezés alábbi, kritikus fontosságú bemeneti adatainak minden eddiginél pontosabb feltárására (logikai sorrendben haladva):

Hóban tárolt vízkészlet nagysága a vízgyűjtő területeken

A vízgyűjtő területen felgyülemlett hó mennyisége, olvadási intenzitása nagyban befolyásolja a várható árhullám nagyságát. Az olvadási intenzitás fő összetevői: az altalaj fagyottsága (vízbefogadó-képesség), és a várható csapadék nagysága, halmazállapota. A hóvízkészlet felbecsülésében két módszer is segíthet. Gravimetriai¹⁰ mérésekkel valamely terület víztartalma is felderíthető, de – esetünkben - a hegyeken felgyülemelő hótömegekre is végezhető számítások [6, p. 13]. Az altimetriai mérési adatok pedig, összevetve a hó nélküli értékekkel, különbözetként kiadják a hótömeg nagyságát¹¹ (a sűrűség további, helyszíni mérése pontosíthatja a számításokat) [6, p. 10].

A növénytakaró változása

A műholdas megfigyelés (pl. vegetációtérképezés a Sentinel-2 műholdakkal) szintén alkalmas a növénytakaró összetételének, méretének, változásainak kimutatására, ami fontos tényező a vízgyűjtő területen a csapadék áthatolási ideje szempontjából, így a modellezést tovább pontosíthatja. Például a Kárpátokban történt intenzív fakitermelés révén, a Felső-Tisza vízgyűjtőjén gyorsan lefutó vizek jelentősen növelik az árhullám nagyságát, és ami kritikus, hogy órákra, legfeljebb 1-2 napra csökkenthetik a védekezéshez rendelkezésre álló időt, mire az előrejelzéstől számítva a tetőző árhullám a határszelvényben megjelenhet.

Az árvízi védművek strukturális változásai

¹⁰ A gravimetriai mérés a Föld gravitációs terének apró ingadozásai mérésén alapul, mely a tömegek átrendeződésére utal. Ilyen tömegváltozásokat okozhat például a talajvíz mennyiségének változása, a jégtakaró illetve a gleccserek változása. Forrás: <http://www.urvilag.hu/article.php?id=9096>

¹¹ Természetesen ez csak az egyik összetevő: a 2001-es tiszai árvíz előtt sem volt jelentős hótömeg a vízgyűjtő területen.

A gátmozgás-adatok (vörösiszap-katasztrófánál már említett) idősoros összevetése figyelmeztethet a gáttestek „megcsúszására”, süllyedésére, szerkezeti feszültségeire, melyek a gátszakadás biztos előjelei. A felmérést segíthetik ún. reflektorok, a gáttestre helyezett, kalibrálást pontosító eszközök. A módszer alkalmazható pl. bányameddő gátfalain is, melyek szakadása igen komoly természeti katasztrófákhoz vezetett (tiszai ciánszennyezés, egyéb nehézfém-szennyezések).

A talaj nedvességtartalma

A védekezést nagyban segíti a talaj - vízelnyelési képességét befolyásoló - víztartalmának ismerete is. A káros ár- és belvízi jelenségek kialakulására, elhúzódási időtartamára lehet ebből következtetéseket levonni, illetve a modelleket pontosítani. A műholdas megfigyelés ebben is segítséget nyújthat.

Belvízi kitérítés

Egyes műholdak képesek a felszíni vízzel borítottságot nagy pontossággal mérni [5, p. 4]. Ez a képesség a káros ár- és belvízi jelenségek elleni védekezésben is jelentős. Magyar példát tekintve, az ország észak-keleti részén, az ezredforduló környékén egyidejűleg volt jelen jelentős belvízi fedettség (1999) és árvízveszély (1998, 2001). Mivel a belvíz-elvezető rendszerek a térségben, leginkább gravitációs úton vezetik le a vizeket a folyókba, amire árvíz esetén nincs lehetőség (zsilipkapuk lezárása): a belvízzel borított területek pontosabb ismeretében lehetőség nyílik a hatékonyabb tervezésre, vízkormányozásra (szivattyúk mobilizálása stb.).

3.3.2 Árvízi védekezés alatt

Az árvízi elöntéssel az idő elfogy, a katasztrófavédelem rendszere a kárelhárítás fázisába lép. A helyzetet a legátfogóbban ekkor is műholdképek tárják elénk. Az árvíz kiterjedésének pontos ismerete, az elzárt településrészek, járhatatlanná vált utak számbavétele vitális fontosságú a mentőcsapatok munkájának szervezése érdekében. (Fontos továbbá, hogy az űrtechnika pl. lehetőséget biztosít a kommunikációra, navigációra, mentőcsapatok követésére akkor is, ha a földfelszíni infrastruktúra tönkrement.) A Copernicus EMS (lentebb) által készített képtermekek, további információkkal egészülnek ki, melyek a mentést segítik: elárasztott terület nagysága, veszélyeztetett lakosság száma és elhelyezkedése, vízi műtárgyak, utak stb. [7, p. 6].

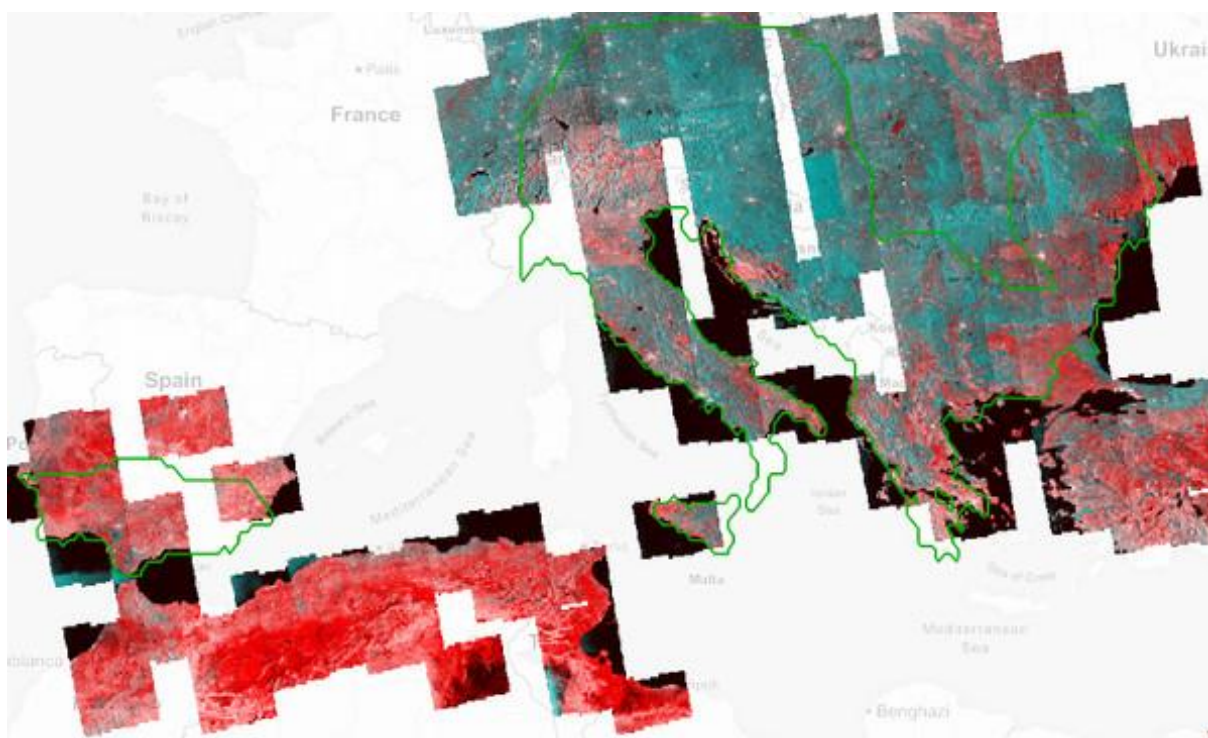
3.3.3 Árvíz után

Az árvíz levonulását követően a lakosság visszatelepülésének feltétele a veszélyforrások teljes megszüntetése, az elemi infrastruktúra helyreállítása, a fertőtlenítés megtörténte, közművek visszakapcsolása, a lakóházak felmérése. Ezt segítik a műholdkép-termékek is, például a *Copernicus EMS* „Kockázati és helyreállítási térképezés”, az elöntés előtti és utáni állapotok összevetésére. Ennek segítségével összesíthetők a károk, az infrastruktúra sérülései a nehezen megközelíthető helyeken is. Rekonstruálható továbbá, hogy mely területet érintett súlyosan az árvíz: ez segítséget nyújthat a jövőbeni építési engedélyezésben (pl. villámárvizek levonulási útja nem fog az évekkel feledésbe merülni, az ilyen holtmedrekre, melyek heves esőzésnél „aktiválódhatnak”, építési tilalom rendelhető el). Az adatok alapján újra meghatározhatók a mértékadó árvízszintek (MÁSZ), melyekre az árvízi védekezés épít, illetve a hidak magassága, áteresztő képessége kapcsán a modellek frissíthetők, a közműhálózat a minél gyorsabb vízlevezetés érdekében fejleszthető. Tanulmányozható a víztömeg levonulása a „nagyvízi” mederben (az árvízvédelmi gátak által határolt területen), így felbecsülhető, hogy a hullámtéren belüli erdők, üdülőövezetek, mennyiben befolyásolták az árhullám levonulását, szükséges-e további intézkedések meghozatala (pl. ilyen a Felső-Tisza-vidéken a „Tivadari szűkület” problémája, ahol a hullámtér kb. 400 m-re szűkül, és számos terepakadály nehezíti a víz levonulását).

3.4 Földtani veszélyforrások

3.4.1 Földrendések

A fentebb már említett PSI-technika lényege tehát, hogy a radar-megfigyelő műholdak két, egymás utáni átvonulásuk során letapogatják a földfelszín ugyanazon területét, és a radarképek (idősoros) összevetésével ún. interferogram állítható elő (3. sz. ábra), amely révén láthatóvá válnak a felszín apró elmozdulásai is.¹² Az ilyen típusú műholdak általában alacsony föld közeli pályán, kb. 800 km magasan repülnek, így nagy pontossággal dolgoznak [8, p. 27]. A módszer egyébként is a kibocsátott radarhullámok visszatérési idejének nagyon pontos mérésén alapul, így más a módszere, mint az optikai felvételeknek, melyek képfelbontása véges, a távolságtól függ a minőségük. A radarképek tehát milliméteres pontosságúak.



3. ábra Felszín-elmozdulásról készített interferogram. (Kép: Copernicus)

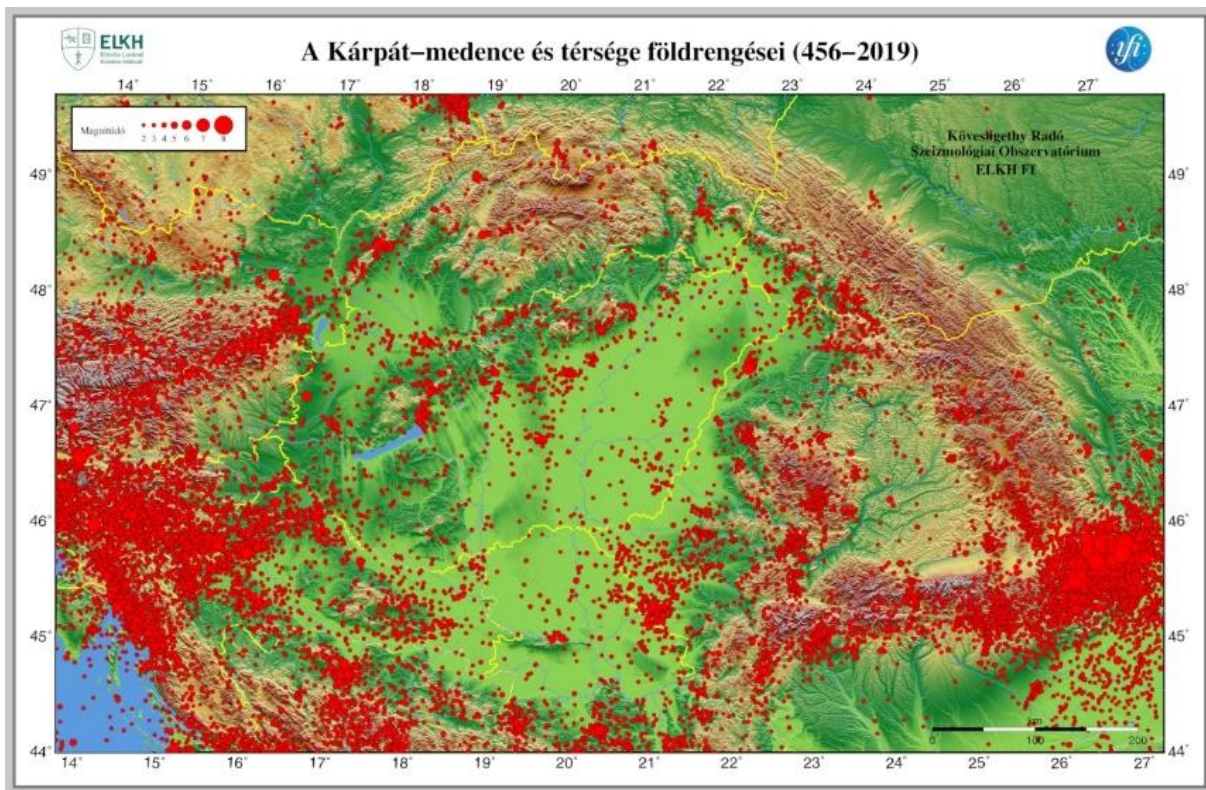
A radarméréseken alapuló automatikus szolgáltatás 2016 óta működik (*ESA Geohazards Exploitation Platform, továbbiakban: GEP*¹³). Automatikus rendszer, mely Európa földrengésveszélyes területeit veszi célba, kb. 3 millió km² folyamatos megfigyelésével. A közepes felbontású radarképek (200 m-es bontás) alapján 12 naponként¹⁴ 360 interferometrikus képpár állítható elő adott területről (a rendszer folyamatosan fejlődik). Amennyiben detektálható változás történik, a terület részletesebb vizsgálatára ad riasztást az automatikus, „felhő-alapú” rendszer.

¹² A módszert az 1980-as évek óta használják, a GPS-hálózat elterjedésétől, mely a kéreg cm-es elmozdulásait is detektálta.

¹³ Forrás: https://www.urvilag.hu/katasztrofak_ellen/20161104_sentinelekkel_a_foldrengesek_elojelzeseert

¹⁴ A Sentinel-1 műholdpár követési ideje 6 nap, vagyis legkésőbb 12 naponként kétszer haladnak el ugyanazon terület felett.

Az interferometrikus mérési eredmények kiválóan kiegészítik az adott térségre vonatkozó tektonikai¹⁵ ismereteket, melyek révén következtetések vonhatók le a területet érő földtani erők jellegére és irányára, a kőzeteket deformáló feszültségtér jellegére. Az eddigi ismeretek és történelmi tapasztalatok (4. sz. ábra) alapján, melyeket a magyar Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium közleménye¹⁶ is alátámaszt, megállapítható, hogy bár a környező országokban (főleg Ausztria, Szlovénia, Horvátország, Románia) a földrengésveszély sokkal fokozottabb, de Magyarország szeizmikus fenyegetettsége is valós. A térségben bárhol előfordulhat, akár súlyos következményekkel járó földrengés is¹⁷. Ennek oka, hogy a Kárpát-medence geológiai fejlődése napjainkban is aktív, a környező hegylancok mozgása, gyűrődése jelenleg is tart. Az ország átmeneti helyen van a szeizmikusan aktív mediterrán térség és a nyugodtabb kelet-európai platform között. 5-ösnél nagyobb magnitúdójú földrengések hazánkban 40-50 éves gyakorisággal várhatóak!



4. ábra A Kárpát-medence és térsége földrengései (456-2019) (Forrás: Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium)

2020-ban elkészült Magyarország első nagyfelbontású felszínmozgás-térképe¹⁸. A térkép, voltaképpen a radarműholdak jeleit reflektáló felületek színkódolt sebességtérképe, amely közel 12 millió pontban meghatározott mozgássebességet szemléltet Magyarországon. A zöld színkóddal jelölt, „nyugodt” területek erősen dominálnak a térképen, a pirosas árnyalatokkal jelölt felszínmozgások többnyire emberi tevékenységhez (vízkivétel, földgáz- és kőolaj-kitermelés, bányászat, építés) köthetők. Emellett megjelennek a természetes földmozgások (földcsuszamlás, partfalomlás, erózió) is. A térképet igazolja, hogy markánsan megjelennek rajta a térséget uraló

¹⁵ Szerkezeti földtan. A geológia egyik, a földkéreg mozgásaival, azok okaival és eredményeivel foglalkozó tudományág.

¹⁶ http://www.seismology.hu/data/src/tmp/KRSZO_kozlemenye_2021januar.pdf

¹⁷ 1763: Komárom, 1834: Érmellék, 1911: Kecskemét, 1925: Eger, 1956: Dunaharaszti, 1985: Berhida.

A regisztráció előtti időszak rengéseinek erejét jól példázza a Zsámbéki Templom romja is.

¹⁸ https://geo-sentinel.hu/wp-content/uploads/2021/03/Geo-Sentinel-Magyarország_felszinmozgasterkepe_Ground_Motion_Map_of_Hungary_v20201019.pdf

tektonikai erők is (észak-keleti irányú gyűrődés). A térképen látható elváltozások utalhatnak készülő jövőbeni katasztrófákra is, melyekre még megelőző intézkedésekkel reagálhatunk. Ilyen lehet például a földcsuszamlással fenyegetett területeken építési tilalom elrendelése, egyes területek lezárása. A területváltozásokra adott válasz lehet például a bányászat vagy a vízkivétel korlátozása olyan területeken, ahol a területváltozás valószínűsíthető oka a gázkitermelés, vagy a rétegvizek visszapótlás nélküli eltávolítása. Ennek aktualitását az elmúlt, aszályos évek is alátámasztják, vízügyi engedélyezési vonatkozásában pedig közvetlenül köthető a feladat a BM OKF hatásköréhez.

A műholdas képalkotás fontosságára szomorú és aktuális példa a törökországi földrengés következményeinek felszámolása. A mentőszervezetek munkáját nagyban segítette és biztonságosabbá tette a folyamatos műholdas képalkotás. A sérült vagy elpusztult épületek, közművek megjelenítése a képeken eltérő színekkel történt (5. sz. ábra).



5. ábra Törökországi földrengés (Törökoglu) leíró térképe. (Forrás: Copernicus EMS)

3.4.2 Földcsuszamlások

A földcsuszamlások előrejelzésére a NASA műholdas adatait használó számítógépes modell,¹⁹ 30 percenként el tudja készíteni a Föld földcsuszamlás-veszélyességi térképét. Mivel a földcsuszamlásokat általában jelentős esőzés előzi meg, a modell egyaránt kalkulálja a csapadékhozamot és a terepi adottságokból adódó veszélyeztetettséget (korábbi eseteket is figyelembe véve) [9, p. 510]. Az erre vonatkozó modelleket igazolta a 2017. május 20-i kaliforniai földcsuszamlás bekövetkezése, mely a korai előrejelzés miatt nem követelt áldozatokat. A Sentinel-1 műholdaknak a területről (2015-2017 között) készült adatai interferométeres²⁰ vizsgálatával megállapítást nyert, hogy ahol a katasztrófát megelőző időszakban a legnagyobb (akár 70 mm/év) volt a referenciapontok eltávolodásának sebessége, épp ott következett be a földcsuszamlás.²¹

4. NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK: MŰHOLDOK A KATASZTRÓFÁK ELLEN

A technikai fejlődést nemzetközi egyezmények és a formálódó joggyakorlat révén a világűrjog is igyekszik lekövetni, melynek legfontosabb terméke az 1967. évi világűr-egyezmény [10, p. 440], valamint a világűrbe juttatott tárgyak által okozott károkért való nemzetközi felelősségről szóló 1972. évi egyezmény. Esetünkben a legérdekesebb a katasztrófák elleni védekezés műholdas távérzékelésen alapuló nemzetközi intézményrendszere.

4.1 A „Megállapodás” szervezete

Az ENSZ 1999-es bécsi világűr-konferenciáján merült fel, hogy a távérzékelő műholdakat üzemeltető ügynökségeknek, nagyobb katasztrófa-helyzet során együtt kell működniük, és lehetővé kell tenniük, hogy a legfrissebb adatokat mielőbb a megelőzés és mentés szolgálatába lehessen állítani, még hozzá ingyenesen. Az elgondolást 2000. október 20.-án együttműködési megállapodás²² (*International Charter Space and Major Disasters*, továbbiakban: Megállapodás) követte, amit a kezdeményező ESA (Európai Űrügynökség - *European Space Agency*) [8, p. 121] és CNES (francia Űrügynökség) után Kanada, az USA, India, Argentína és Japán is aláírt.

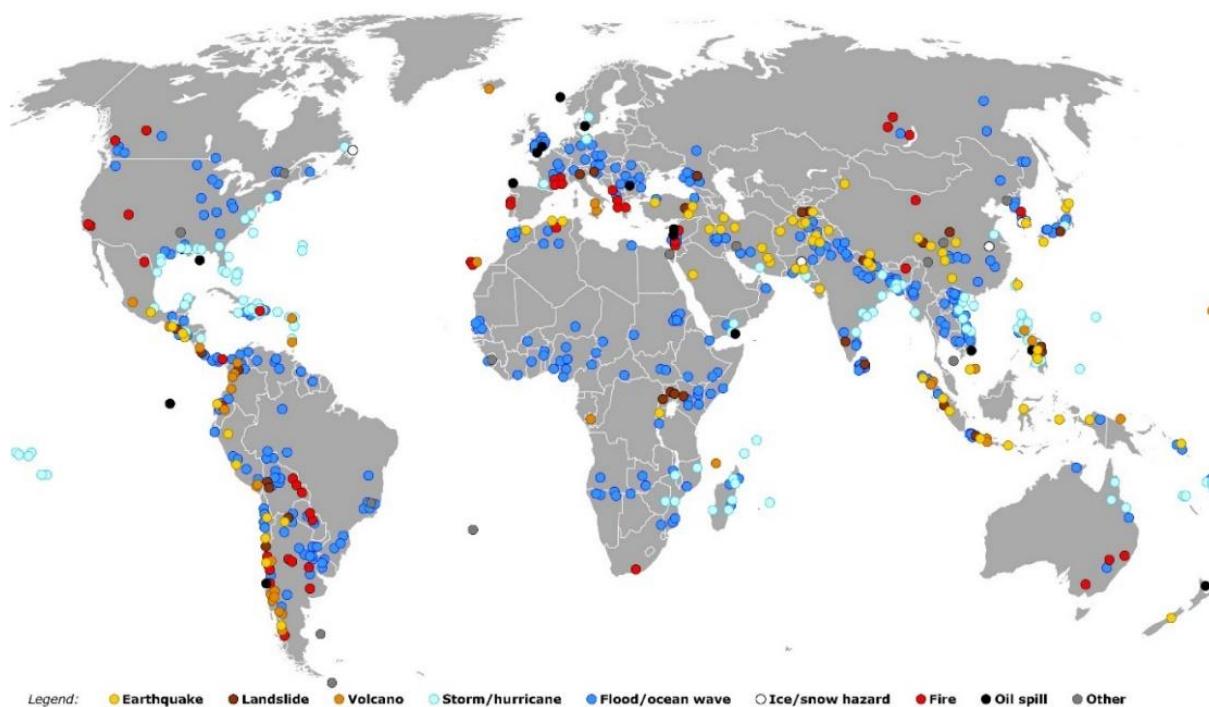
20 év alatt 126 ország összesen 680 alkalommal kérte a segítségnyújtás aktiválását (6. sz. ábra)! Az együttműködő Űrügynökségek száma 3-ról 17-re nőtt, melyek már 61 műhold képeivel segíthetik a katasztrófavédelmi szervezeteket világszerte. A teljes körű hozzáférés elve mentén, jelenleg 67 országból 73 nemzeti felhasználó rendelkezik hozzáférési joggal, köztük Magyarország is.

¹⁹ https://www.urvilag.hu/katasztrofak_ellen/20180416_foldcsuszamlasok_elorejelzese

²⁰ *Small Baseline Subset Interferometry*, SBAS

²¹ Forrás: www.urvilag.hu

²² <https://disasterscharter.org/web/guest/home>



6. ábra A „Megállapodás” igénylései (Forrás: www.thedisastercharter.com)

4.2 COPERNICUS, Európa szeme

Az Európai Unió 20 évvel ezelőtt elindított egy globális műholdas megfigyelési programot, melyet 2012 óta COPERNICUS Programként²³ ismer a tudományos világ. A Program irányítója az Európai Bizottság. Legnagyobb részt a SENTINEL²⁴ műholdcsaládra épül, melyeket az ESA üzemeltet. A Copernicus szolgáltatásai hat fő területre terjednek ki: atmoszféra (*atmosphere*), tengerészet (*marine*), földmegfigyelés (*land*), klímaváltozás (*climate change*), biztonság (*security*), veszélyhelyzet-kezelés (*emergency*).

A Program kiemelt opciója a veszélyhelyzeteket elemző szolgáltatás (*Copernicus Emergency Management Service, EMS*), mely műholdas adatok elemzésével folyamatosan figyelemmel kíséri a természeti vagy civilizációs katasztrófák következményeit. A szolgáltatás az EU tagállamai által elérhető. Magyarországon a feljogosított igénylő hatóság a BM OKF.

A CEMS 2 fő komponense: „Térképező” és „Korai előrejelző” komponens.

A Térképező Komponens a műholdas képek térképi megjelenítésével a katasztrófavédelmi mechanizmus bármely fázisát képes támogatni: megelőzés, felkészülés, kockázat-csökkentés, veszélyhelyzeti reakció és helyreállítás. 2 almodulja:

- *Gyors térképezés (Rapid mapping)*: rövid időn (akár pár órán) belül képeket és elemzéseket továbbít az érintett területről.
- *Kockázati és Helyreállítási Térképezés (Risk and Recovery Mapping)*: a felkészüléssel, kockázat-csökkentéssel, megelőzéssel, helyreállítással összefüggő képeket továbbít, nagyobb átfutási idő alatt. A különböző veszélytípusok emberekre gyakorolt várható hatását, a rezilienciát és kitértiséget lehet elemezni segítségével, illetve segít monitorozni a helyreállítás előrehaladását.

5. HAZAI VETÜLET: A FÖLDMEGFIGYELÉSI INFORMÁCIÓS RENDSZER

²³ A heliocentrikus világméretet megalkotó XV. századi tudós emléke előtt tisztelegve.

²⁴ A műholdcsalád által naponta megküldött adatmennyiség meghaladja a 12 terabyte-ot.

Magyarországon a Copernicus mérési adatai közigazgatás szervei általi hasznosítására, egy 7,35 MRD Ft támogatási nagyságrendű Európai Unió pályázat valósult meg 2022-ben. A *Földmegfigyelési Információs Rendszer* (a továbbiakban: FIR) névre keresztelt projektet megvalósító konzorcium egyik tagja a BM OKF volt. A FIR Projekt²⁵ egyik kiemelt célja tehát a közigazgatási folyamatok műholdas távérzékelési adatokkal történő támogatása volt, továbbá az adatokra épülő alkalmazás- és szolgáltatás-fejlesztés. Az űrfelvételek letöltése (SENTINEL-1, -2, -3 és 5P műholdak esetében) közel valós időben történik. Az adatok alapján előállított „eredménytermékek” 5 fő csoportja: vízborítottsági, mezőgazdasági, erdészeti, tűzmelegelőzési/tűzvizsgálati, valamint mozgásvizsgálati célú termékek.

A projekt a katasztrófák megelőzése és kezelése terén igen jelentős eredményeket ígér. Ezen területek, a teljesség igénye nélkül:

- a szabadtéri tüzek megelőzését szolgáló hatósági ellenőrzések;
- szabadtéri tüzek kapcsán tűzvizsgálati eljárások lefolytatása;
- tűzvédelmi felkészülés és beavatkozás-támogatás;
- kiemelt jelentőségű vízügyi létesítmények mozgás-figyelése.

A vízügyi létesítmények mozgás-figyelése és az eljárásrendek kidolgozása egyeztetési stádiumban van, a vízügyi szervek tesztelték a FIR rendszer képességeit, bevételek vizsgálatokat végeztek az ismert, más forrásból begyűjtött adatok alapján, különös figyelemmel a belvízi fedettségre. Esetükben, érdemes megfontolni a határon átnyúló együttműködést, mivel folyóink vízgyűjtő területe a szomszédos országokban található. Külön terület továbbá a vízjogi engedélyezéshez kapcsolódó felhasználási lehetőségek témaköre, amire terjedelmi okokból jelen munka nem tér ki.

6. KÖVETKEZTETÉS

Az 50-es évek vége óta látványos fejlődésen mentek keresztül bolygónk mesterséges kísérői. Nem maradt el ettől az emberi kreativitás sem, mely a legkülönbözőbb területeken is megtalálta a távérzékelés felhasználásának lehetőségeit, melyeket természetesen a katasztrófák elleni harcban is bevetett. A jövőben az egyre fejlettebb számítógépek (mesterséges intelligencia), önálló gépi tanulási folyamatokkal, egyre több adatot, egyre több szempontból fognak elemezni, így a modellek is pontosabban válnak majd be.

A távérzékelésnek természetesen vannak korlátjai. Az optikai felvételek esetén az időjárás vagy füstszennyezés jelent akadályt [5, p. 31] de valamennyi spektrumban meg kell várni a műhold áthaladási idejét, majd a képfeldolgozáshoz szükséges időt. Ennek áthidalására az űrügynökségek, a (bármely napszakban és minden időjárási körülmények között alkalmazható) radarműholdak további, sorozatos felbocsátását szorgalmazzák, hogy a műholdak áthaladási ideje, ezáltal a mérések közötti időintervallum csökkenjen²⁶. A technika fejlődésével, tömegesen bocsáthatók fel, megfelelő szenzorokkal ellátott mikro-műholdak (*cube-sat*) is [8, p. 32], melyek az áthaladási gyakoriságuk révén, a káresemények közel valós idejű követését teszik lehetővé. Különösen igaz ez, ha pl. drónok alkalmazása is kiegészíti a megfigyelést. A földmegfigyelésben további, potenciális lehetőséget rejt az IoT technológia²⁷ fejlődése, melyben automatizált kommunikáció segíti az adatok összegyűjtését, és a folyamatok monitorozását követően automatikusan küld riasztást a fenyegetett területre. Ezzel párhuzamosan, mobil applikációk révén, a lakosság figyelmeztetése jelentősen gyorsítható. E kérdésekben komoly lehetőségekkel kecsegtet az állami/államközi szféra együttműködése a magáncégekkel.

²⁵ Elérhető: <https://fir.gov.hu>

²⁶ „Ha 100-ra növelhetnénk a radar-műholdak számát, lehetségessé válna a képzés és analízis időtartamát mindössze fél napra csökkenteni.” - *Takakazu Ishii: 'SAR Technology Demonstrates Promise in the Fields of Disaster Prevention and Mitigation'*

Forrás: <https://www.nec.com/en/global/insights/article/2020091802/index.html> (Letöltés: 2023.04.25)

²⁷ Internet of Things: gép-gép kapcsolat, emberi beavatkozás nélkül.

A lehetőségek tárháza valóban óriási: a tudományos fejlődés eredményeivel a műholdas távérzékelés lehetőségei utat nyitnak egy sokkal biztonságosabb, élhetőbb jövő felé.

Köszönet illeti Frey Sándor urat az anyag megalkotásában nyújtott segítségéért.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. Varga és D. Varga, *Ég és Föld*, Móra, 1975, pp. 4, 45.
- [2] L. Szentpéteri, *Fél évszázada figyelik a Földet*, *Élet és Tudomány*, 2022, p. 1034.
- [3] J. Sillset et al, *Protect Earth's Orbit: Avoid high seas mistake*, *Science*, p. 1.
- [4] K. Kaku, „Satellite remote sensing for disaster management support: A holistic and staged approach based on case studies in Sentinel Asia,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, pp. 417, 430, 2018.
- [5] U. Donezar-Hoyos et. al, „The Copernicus EMS Validation service as a vector for improving the emergency mapping based on Sentinel data,” *Revista de Teledetección*, 56 kötet, pp. 4, 6, 31, 2020.
- [6] B. Davies, *Observing glacier change from space*, Royal Holloway University of London, 2018, pp. 10, 13.
- [7] C. P. F. A. Binh Pham-Duc, *Surface Water Monitoring within Cambodia and Vietnamese Mekong Delta over a Year, with Sentinel-1 SAR Observations*, 2017, pp. 417, 430.
- [8] G. Sulyok és B. Bartóki-Gönczy, *Világűrjog*, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022, pp. 27, 32, 121.
- [9] D. Kirschsbaum és S. Thomas, *Satellite-Based Assessment of Rainfall-Triggered Landslide Hazard for Situational Awareness*, *Advancing Earth and Space Sciences*, 2018, p. 510.
- [10] M. N. Shaw, *Nemzetközi jog*, Complex Kiadó, 2008, p. 440.
- [11] K. Kulacsy, *Fukusima: mi történt és mi várható?*, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, 2011, p. 38.

Felhasznált webcikk (ellenőrző letöltés: 2023.11.02):

1. Newton's cannonball (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_cannonball
2. Van Allen radiation belt (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt
3. Geostacionárius pálya (Wikipedia):
https://hu.wikipedia.org/wiki/Geostacion%C3%A1rius_p%C3%A1lya
4. Gabrielle Tylor: Using deep learning AI Algorithms to detect bushfires
<https://www.excite.com/using-deep-learning-ai-algorithms-to-detect-bushfires/>
5. The International Charter Space and Major Disasters
<https://disasterscharter.org/web/guest/home>
6. Európai Bizottság: Kopernikusz-program: <https://www.copernicus.eu/hu/kopernikusz-program/infrastruktura/ismerje-meg-muholdjainkat>
7. Földmegfigyelési Információs Rendszer hivatalos honlap: <https://fir.gov.hu/>
8. Frey Sándor: Évek óta süllyedt az ajkai vörösiszap-tározó gátja:
http://www.urvilag.hu/katasztofak_ellen/20101115_evek_ota_sullyedt_az_ajkai_vorosizsap_tarozo_gatja www.urvilag.hu, 2010.11.15
9. Copernicus: How to use the service? <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/how-use-service>
10. Both Előd: Jégolvadás és vízszint <http://www.urvilag.hu/article.php?id=9096> www.urvilag.hu, 2020.12.09
11. Both Előd: Sentinelekkel a földrengések előrejelzéséért
https://www.urvilag.hu/katasztofak_ellen/20161104_sentinelekkel_a_foldrengesek_eforejelzeseert www.urvilag.hu, 2016.11.04
12. Grenerczy Gyula, Farkas Péter, Frey Sándor: Magyarország Felszínmozgástérképe
https://geo-sentinel.hu/wp-content/uploads/2021/03/Geo-Sentinel-Magyarország_felszinmozgasterkepe_Ground_Motion_Map_of_Hungary_v20201019.pdf
13. Frey Sándor: Földcsuszamlások előrejelzése
https://www.urvilag.hu/katasztofak_ellen/20180416_foldcsuszamlasok_eforejelzese www.urvilag.hu, 2018.04.16

14. ESA: Security at nuclear plant improved by satellite telecommunications (2005.05.24)
https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Security_at_nuclear_plant_improved_by_satellite_telecommunications
15. Synspective: Our satellite constellation <https://synspective.com/satellite/satellite-future/>
16. Takakazu Ishii: SAR technology demonstrates promise in the fields of disaster prevention and mitigation <https://www.nec.com/en/global/insights/article/2020091802/index.html>
17. Both Előd: Termikus infravörös földmegfigyelés
https://www.urvilag.hu/kornyezetunk_vedelme/20230828_termikus_infravoros_foldmegfigyeles
www.urvilag.hu, 2023.08.28