

BOZSÓ ISTVÁN* – BACSA BALÁZS**

A MŰHOLDAS FÖLDMEGFIGYELÉS KATONAI ALKALMAZÁSAI

ESETTANULMÁNYOK AZ OROSZ–UKRÁN HÁBORÚBÓL

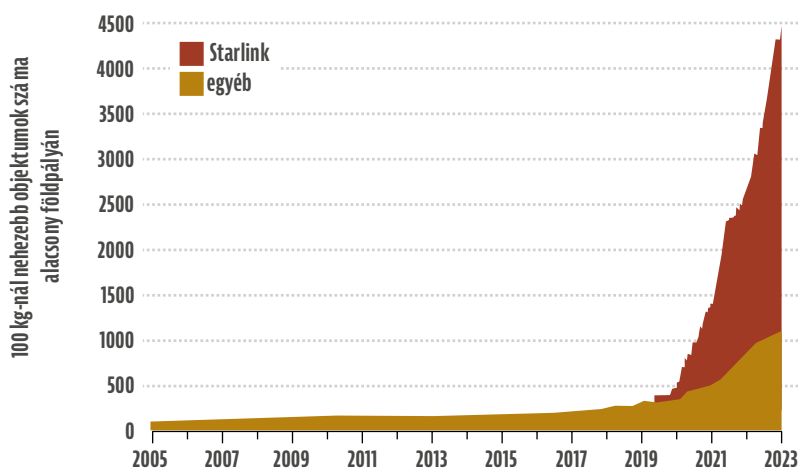
1. ÁBRA. Az alacsony pályára állított Starlink és egyéb műholdak kumulatív száma az idő függvényében (A szerzők szerkesztése a [2] alapján)

BEVEZETÉS

A jelenleg is tartó orosz–ukrán háborúban alkalmazott műholdas földmegfigyelési módszerekkel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a műholdas földmegfigyelés katonai alkalmazása nem újdonság, hiszen ennek a története egészen a hidegháborúig nyúlik vissza, ahogyan azt a Haditechnika 2024/2. számában is röviden összefoglaltuk. Napjainkra azonban több tényezőnek köszönhetően ez a terület is átalakult, illetve továbbra is átalakulóban van. Az esettanulmányok tárgyalása előtt érdemes ezt a kontextust röviden megvizsgálni.

Az űrtechnológia, a mérnöki és az anyagtudomány, valamint a számítástechnika hatalmas fejlődésen ment keresztül az utóbbi évtizedekben, melynek hatása több tekintetben is befolyásolta a műholdas földmegfigyelést:

- a technikai újításoknak köszönhetően a földmegfigyelést végző műholdak jobb felszíni felbontással és nagyobb pontossággal képesek a földfelszínt leképezni,



- az űrtechnológia fejlődése lehetővé tette egyre növekvő számú műhold pályára állítását és a meghibásodott műholdak pótlását,
- a számítástechnikai fejlesztések lehetővé tették az egyre növekvő távérzékelési adatmennyiség tárolását és feldolgozását.

A fent felsorolt változásoknak köszönhetően a műholdak pályára állítása és üzemeltetése mára már nem csak a kormányzati szervek és űrügynökségek „kiváltsága”, napjainkra már több

magáncég is megteheti ezt. Az egyik legismertebb cég a SpaceX, mely ma már képes eddig nem tapasztalt mennyiségű műholdat alacsony földpályára állítani. (1. ábra)

Nem meglepő, hogy az Egyesült Államok Nemzeti Felderítő Hivatala (National Reconnaissance Office – NRO) legalább 100 kéműholdat rendelt meg a SpaceX-től, melyek felhasználásával az NRO képes lesz az Egyesült Államok riválisainak katonai és gazdasági tevékenységét monitorozni. [1]

A gépi tanulási módszerek alkalmazása és továbbfejlesztése várhatóan a műholdképek feldolgozásában és értelmezésében fog áttörést eredményezni, sok esetben meggyorsítva a szakértői értelmezés folyamatát.

Ezt talán mi sem bizonyítja jobban, mint az, hogy a nagyskalájú orosz katonai hadműveletek megkezdése előtt műholdképek segítségével meg lehetett figyelni ahogyan az orosz hadsereg egységei felkészülnek az invázióra az orosz–ukrán határ közelében. [3] [4; 260. o.]

Mindezek a fejlemények azt jelzik, hogy beléptünk egy olyan korszak-

Összefoglalás: A műholdas földmegfigyelést tárgyaló cikkek sorozatában a földmegfigyelési alapismeretek és gyakorlati példák ismertetése után elérkeztünk a katonai alkalmazások bemutatásához. Polgári és kommersziális műholdrendszerek adatain alapuló alkalmazásokat szemlélünk, melyek a jelenleg is tartó orosz–ukrán háborúban alkalmazott távérzékelési módszereket mutatnak be.

Kulcsszavak: földmegfigyelés, távérzékelés, orosz–ukrán háború, FIRMS, SAR

Abstract: After the introduction of the basics of satellite Earth observation and presenting some practical applications of it, we discuss the military applications. We bring samples from case studies, based on the datasets provided by civil and commercial satellite systems, that provide insight into the still ongoing Russo-Ukrainian war through the application of satellite remote sensing.

Keywords: earth observation, remote sensing, Russo-Ukrainian war, FIRMS, SAR

* PhD, tudományos munkatárs, Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, HUN-REN. ORCID: 0000-0001-8254-1828

** Alezredes, Katonai Nemzetbiztonsági Szolgálat. ORCID: 0009-0008-5594-7708



ba, melyben nagy mennyiségben le-
gyártható és pályára állítható műhol-
dak segítségével kvázi valós időben
lesz lehetséges a földfelszín megfi-
gyelése. Fontos kihangsúlyozni, hogy
a legtöbb műhold által készített felvé-
tel továbbra sem lesz szabadon elér-
hető. Ebben a tekintetben a szabadon
hozzáférhető műholdfelvételek kisebb
szerepet játszanak, ezen felvételekkel
sokkal inkább a konfliktusok épített
és természetes környezetre gyakorolt
hosszútávú hatását lehet megfigyelni.
Ezeket a képeket tipikusan olyan mű-
holdak készítik, melyeket valamely or-
szág űrügynöksége üzemeltet.

A bemutatandó alkalmazáso-
kat tehát ebben a kontextusban kell
értelmezni.

A HÁBORÚ KÖRNYEZETRE GYAKOROLT HATÁSA: AKTÍV (ERDŐ-) TÜZEK MEGFIGYELÉSE

Először egy olyan tanulmányról lesz
szó, melynek szerzői elsősorban nem
katonai alkalmazásra szánták az ál-
taluk kidolgozott módszert: a hábo-
rú első évére (2022. március – 2023.
március) kiterjedően végezték el a kü-
lönböző erdő-, bozót- és lakott terüle-
ten fellobbant tüzeknek az adatbázis-
ba rendezését és további elemzését. [5]

Ehhez az Egyesült Államok Nemze-
ti Űrhajózási és Repülési Hivatalának
(National Aeronautics and Space Ad-
ministration – NASA) Tűzinformáci-
ós Rendszer az Erőforrások Kezelésére
(Fire Information for Resource Mana-
gement System – FIRMS) szolgáltatá-
sát [6] vették igénybe. A FIRMS több
műhold által készített felvételek alap-
ján működik:

- NASA/NOAA¹ Suomi NPP műholdon
operáló Látható Infravörös Képal-
kotó Sugárásmérő Eszköz (Visible
Infrared Imaging Radiometer Suite
– VIIRS), felszíni felbontása 375 mé-
ter; [7]
- az Aqua és Tera műholdak Közepes
Felbontású Képkalkító Spektorradi-
ométer (Moderate Resolution Im-
aging Spectroradiometer – MODIS)
eszköze, felszíni felbontása 250 mé-
ter; [8]
- a NOAA-20 és NOAA-21 VIIRS eszkö-
ze, felszíni felbontása 375 méter. [7]

A FIRMS a felsorolt műholdak által
szolgáltatott képek alapján számított
átlagos infravörös sugárzási térképen
detektálja az aktív égési folyamatok
által okozott termális anomáliákat, kö-
zel valós időben szolgáltatva adatokat
folyamatban lévő tüzesetekről.

A FIRMS által szolgáltatott adatokat
a szerzők kiegészítették Sentinel–2
képekkel és az Európai Űrügynökség
(European Space Agency – ESA) ál-
tal létrehozott WorldCover 2021 [9]
adatrendszerrel. A WorldCover 2021-
et a Sentinel–1 [10] és Sentinel–2 [11]
felvételek alapján állították össze, fel-
bontása 10 méter.

A WorldCover 2021 adatrendszer
segítségével be tudták azonosítani,
hogy milyen típusú területet (város,
erdő, szántó) érintettek a FIRMS által
detektált tüzek. Az adatrendszer se-
gítségével a szerzők meg tudták viz-
sgálni időben, hogyan változott a tűz-
veszéllyel érintett területek típusa.

Annak érdekében, hogy a FIRMS
által detektált tüzek megbízható-
ságáról meggyőződjenek, bizo-
nyos felszínborítottság-típusok ese-
tén Sentinel–2 műholdfelvételeket is
felhasználtak.

A szerzők Ukrajnán belül 15 admi-
nisztratív régiót vizsgáltak meg, ebből
11 régióban aktív harcok folytak, vagy
a régiót az orosz csapatok az ellenőr-
zésük alatt tartották a vizsgálat ideje
alatt. A további négy régió pedig közel
esett a frontvonalhoz.

A 2. ábra a FIRMS által azonosított
aktív tüzeket jeleníti meg Ukrajna
vizsgált területére. A forró pontok (vö-

rös pontok) olyan pixelek a műholdas
felvételeken, melyekben nagy intenzi-
tású infravörös sugárzást azonosított-
tak, ami valamilyen magas hőmérsék-
letű forrásra utal.

A FIRMS weboldalán az olvasó is
megtekintheti a 2. ábrán bemutatott
adatrendszert a lábjegyzetben² közölt
linken.

A 2. ábrán azonosított forró pontok
jól illeszkednek a front becslt vonalá-
hoz, a FIRMS-szolgáltatás így akár al-
kalmas lehet a frontvonal mozgásának
követésére is. A frontvonal azon sza-
kaszán, ahol intenzívebb harci tevé-
kenység folyik, jóval több forró pont
található, ezáltal a harcok intenzitásá-
nak követésére is használható.

A FIRMS alkalmazása aktív konflik-
tusok megfigyelésére nem újkeletű
dolog, korábban alkalmazták az Etió-
piában 2020 óta tartó polgárháború
monitorozására is. [12]

Az [5] szerzői hasonló módon a
FIRMS-ből nyerték ki az aktív tüzek
koordinátáit és a hozzájuk tartozó
időbélyegeket, melyekhez hozzátársít-
ották a megfelelő Sentinel–2 felvéte-
leket további elemzés és megjelenítés
céljából, illetve a forró pontok koor-
dinátáit Ukrajna adminisztratív egy-
ségei szerint csoportosították. Az így
elkészült adatbázist kiegészítették az
ESA WorldCover 2021 adatbázissal, és
az aktív tüzekhez felszínborítottsági
kategóriát is rendeltek.

Az elkészült adatbázis alapján ké-
szült térkép a 3. ábrán látható.

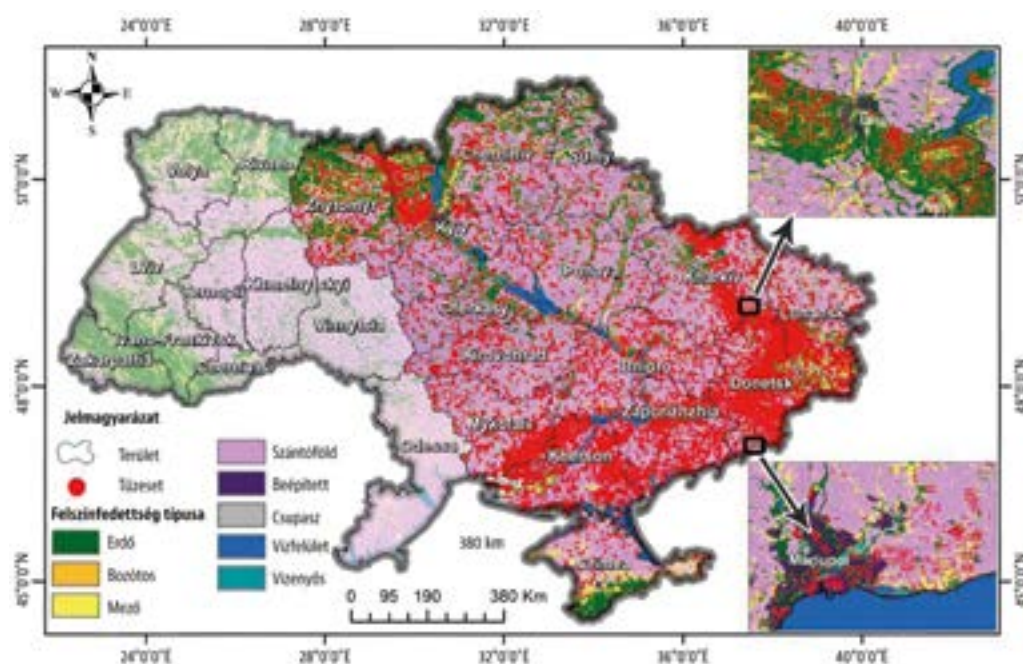
Az adatbázis alapján a szerzők meg-
vizsgálták, hogyan változott havi le-



2. ÁBRA. Azonosított aktív
tüzek 2022. július első két
hetében. A vörös pontok
- aktív tüzek (A képet
a szerzők készítették az
[5] segítségével)

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration – Az Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légtérkutató Hivatala.

² <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2022-06-23..2022-07-12;@35.1,48.1,6.2z>



3. ÁBRA. Felszínborítottsági térkép az ESA WorldCover 2021 adatbázis alapján és a FIRMS-szolgáltatásból kinyert aktív tüzek koordinátái a 2022. március és 2023. március közötti időszakban (A szerzők szerkesztése az [5; 82. o.] alapján)

bontásban a tűzvészsel érintett területek típusa a háború első évében. 2022-ben a füves tájak az érintett területek 20–30%-át tették ki. Erdős területeken az erdőtüzek a tüzek legnagyobb hányadát 2022 májusában (50%) és júniusában (40%) adták. Az erdőtüzek aránya szeptemberben 28%-ra, az év végére pedig 10%-ra csökkent. A mezőgazdasági területek tekintetében az arány júliusban és augusztusban is igen magas volt, kb. 60%, mely 2022 végére 20–30%-ra csökkent. Beépített területeknél a maximumot 2022 szeptembere és novembere között figyelték meg, mely érték kb. 10%-kal csökkent decemberben. [5; 84.o.]

A FIRMS forró pontok térbeli eloszlása a következőképpen alakult: a legtöbb azonosított tüzeset a donyecki területre esett (10 ezer), ezt követték a luhanszki, a herszoni, a zaporizzsjai, a harkivi és a kijevi területek (4–5 ezer), továbbá a dnyipropetrovszki és mikolajivi területek (kb. 3 ezer). [5; 88. o.] A kijevi területen a legtöbb tüzesetet erdei területen azonosították, Herszonban pedig mezőgazdasági területeken.

A fenti adatok alapján elmondhatjuk, hogy a FIRMS-adatbázis jól képezte le a harcok lefolyásának menetét a háború első évében. Az erdőtüzek arányának csökkenése 2022 nyarán utalhat arra, hogy a harcok intenzi-

tásának súlypontja átkerült Ukrajna északi, erdős területeiről a keleti, inkább mezőgazdasági területeket tartalmazó régiókra. A FIRMS általi forró pontok térbeli eloszlása pedig helyesen jelölte ki a donyecki területet, ahol a legintenzívebben folytak katonai tevékenységek.

A szerzők elsősorban polgári célokból hozták létre az adatbázist, ezek az adatok segíthetik a katasztrófavédelmi (tűztoltóság, rendőrség, mentők) erőforrások megfelelő elhelyezését, hiszen az adatbázis és a kidolgozott módszertan kijelöli, hol várható a harcokhoz kapcsolódóan a legnagyobb pusztítás. Az adatok továbbá segíthetik a háború utáni újjáépítési munkákat, illetve információval szolgálhatnak a harcokkal érintett területek ökoszisztémájának állapotáról is.

A módszertan alkalmazható a harcok intenzitásának és a frontvonal mozgásának követésére is, így segítheti a további hadműveletek stratégiai szintű tervezését, azonosíthatja azokat a szakaszokat a frontvonal mentén, ahol a legintenzívebb az összecsapás a harcoló felek között.

VÉDVONALAK, SÁNCOK MEGFIGYELÉSE, AZONOSÍTÁSA

A műholdas távérzékelés felhasználható különböző természetes folyamatok során kialakult és emberi tevékenységből eredeztethető felszíni formációk detektálására, melyek veszélyes geológiai folyamatokhoz kapcsolódnak. Ilyen természetes formációk lehetnek dűnék, szakadékok, szurdokok, melyeket újra aktiválhatnak vagy ki is alakíthatnak az aktív harci tevékenységek. [13]

A fent említett formációkat és a harcok során keletkezett becsapódási krátereket, (lövész-) árkokat, járművek által hagyott nyomvonalakat mind azonosítani lehet műholdas távérzékelési módszerekkel. Azonban igen jó felbontású felvételeket az említett felszíni formációkról csak alacsony pályás műholdakkal lehet készíteni, ilyenek például a Maxar Technologies által üzemeltetett műholdak [14] vagy az Airbus SkyWatch platformja. [15] A Maxar és az Airbus által üzemeltetett műholdak felvételei azonban nem érhetők el szabadon, a felvételekért fizetni kell.



4. ÁBRA. Orosz lövészárkok Donyeck város közelében 2023 elején [16] (Brady Africk szerkesztése)

A 4. ábrán egy Skywatch platformon keresztül elérhető műholdfelvételen az orosz erők által létrehozott lövészárkok láthatók Donyeck város közelében.

A 4. ábrán látható és más, hasonló felbontású műholdfelvételek megkönnyíthetik egy hadművelet megtervezését. Egyrészt a felvételek alapján meg lehet állapítani, hol, milyen kiterjedésben és minőségben vannak jelen a frontvonalon és a frontvonal mögött megerősített tüzelőállások, lövészárkok és egyéb akadályok. Meg lehet vizsgálni a lövészárkokrendszer felépítését, illetve, hogy milyen sűrűségben és távolságban találhatók a tüzéségi állások.

A tény, hogy ezek a műholdfelvételek valamilyen visszatérési idővel rendszeresen elkészülnek ugyanazon területről, lehetőséget ad arra, hogy időben megvizsgáljuk a lövészárkokrendszerek kialakulását, illetve akár a csapatmozgásokat is. Katonai szempontból fontos információval szolgálhatnak azok a műholdfelvételek, melyek például megmutatják az átcsoportosításokat a frontvonal mentén.

Szabadon hozzáférhető Sentinel-2 és kommersziális műholdfelvételek (Airbus, Maxar) alapján elvégezhető az egész frontvonal elemzése és a védvonalak azonosítása, melynek eredménye az 5. ábrán látható.

Az 5. ábra interaktív változata a lábjegyzetben³ feltüntetett linken keresztül elérhető.

A térkép szerzői kiemelik azonban az alkalmazott módszer korlátait is:

1. A térkép nem tartalmazza az összes orosz védvonalat.
2. Az összeállított adatbázis nem választja külön a különböző védvonal-típusokat, mint például árkok, lövészárkok és egyéb erődítmények.
3. A 2022 februárjától számított újonnan épített, már használt vagy kibővített védvonalakat azonosították.
4. Nem mindegyik védvonalban szolgálnak orosz katonák.

KOMBINÁLT RADAR-ÉS ELEKTRO-OPTIKAI TÁVÉRZÉKELÉS

Nem csak elektro-optikai képalkotási módszereket lehet katonai felde-



5. ÁBRA. Azonosított védvonalak az orosz-ukrán frontvonal mentén, 2024. november 3-i állapot (Forrás: a szerzők szerkesztése a [16] alapján)

ritési célokra használni, hanem olyan műholdakat is, melyek Szintetikus Apertúrájú Radarral (Synthetic Aperture Radar – SAR) végzik a távérzékelést. A SAR-módszerről a Haditechnika 2024/6. számában részletesebben volt szó, itt csak annyit említünk meg, hogy ez a távérzékelési módszer mikrohullámú jel felhasználásával felvételezi a földfelszínt. Előnye, hogy időjárási viszonyoktól (elsősorban felhőtakaró) függetlenül képes kiváló felbontású felvételt készíteni.

Általánosan elmondható, hogy katonai alkalmazások során a SAR-képeket elsősorban változások detektálására⁴ szokták felhasználni. A jobb felbontású SAR-képek alapján (ilyeneket szolgáltat a lengyel–finn ICEYE cég SAR műhold flottája [17]) lehetséges az eszközök felfedezése (pl. harckocsi, repülőgép), azonban a legtöbb esetben nem azonosítható maga az eszköztípus (pl. T-72-es vagy T-90-es harckocsiról van-e szó, az állóhelyen látható repülőgép vadász- vagy kisméretű szállító).

A SAR-képek feldolgozása általában a következő séma alapján történik:

1. Két SAR-kép letöltése, melyek azonos területet fednek le, de különböző időpontban készültek.
2. A SAR-felvételek alapján a változások azonosítása (ennek a részleteiről a fejezetben később lesz szó).

3. Amennyiben változás detektálható, olyan elektro-optikai kép beszerzése, amely időpontban legközelebb áll a későbbi SAR-felvétel készítésének időpontjához, és ugyanazt a területet fedi le.

4. Az elektro-optikai kép alapján az eszköztípus azonosítása, koordinátáinak meghatározása.

A fenti folyamatot akár automatizálni is lehet; a változások detektálását el lehet végezni például gépi tanulási módszerekkel. Amennyiben az automatizált algoritmus változást detektál, rendszerüzenet küldhető az elemzőnek, aki elvégezheti a további kiértékelési lépéseket (elektro-optikai kép letöltése és feldolgozása).

A SAR-felvétel alapú változásdetektálásra már korábban is fejlesztettek gépi tanuláson alapuló módszereket, [18] azonban lehetséges „kézi módon” is kiértékelni a SAR-felvétel párokat: a „korábbi” és „későbbi” SAR-felvétel intenzitásképét lehetséges egy képen ábrázolni úgy, hogy a „korábbi” kép intenzitásait kék, a „későbbi”-nek az intenzitásait piros színnel ábrázoljuk. Minél nagyobb volt az intenzitás az időben korábbi kép esetén, annál inkább kék színűbb lesz egy adott pixel, illetve minél nagyobb az intenzitás az időben későbbi kép esetén, annál pirosabb. Ha a két intenzitás között nincs

³ https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1rRKs40IEbGRsV0Fhky25l5OkPJ_vUvQ&ll=49.47459863025071%2C35.714045651856374&z=6

⁴ A szakirodalomban: change detection.

6. ÁBRA. Feltehetően légvédelmi rakétarendszer települési helye az ICEYE műhold SAR-felvételének intenzitásképén [19]



nagy különbség, a pixel sárgás színű lesz, melyet okozhat az, ha a felszínen az eszköz csak kicsit „mozdult el” (pl. egy teherautó kiállt a helyéről, majd visszaállt). Az intenzíven piros vagy kék pixelek jelölik a felszíni visszaverődés szempontjából nagyobb mértékben megváltozott területeket, pl. azokat, ahova beállt, vagy ahonnan elállt egy eszköz (teherautó, harckocsi).

Nagyobb felbontású SAR-felvételekkel akár az eszközök által hagyott nyomsvonalakat is lehet detektálni, illetve azok időbeli változását követni, amellyel

újonnan létesített katonai telephelyeket is fel lehet deríteni. Ebben az esetben a nyomsvonalak erősödése és sűrűsödése utalhat arra, hogy egy adott területen megnövekedett a teherautók, csapatszállítók vagy harckocsik forgalma. Ekor szintén lehetséges elektro-optikai kép feldolgozásával egy újonnan felállított telephely felfedezése.

Az orosz–ukrán háborúban az Ukrán Felderítő Főcsoportfőnökség által kiadott közlemény szerint 4173 ICEYE felvétel felhasználásával sikeresen azonosítottak 370 felszállópályát, 238 lég-

védelmi és radar harcálláspontot, (6. ábra) 153 olaj- és üzemanyag-tározót, 147 rakéta-, repülőgép- és lőszerraktárat és 17 haditengerészeti támaszpontot. [19] Ebben az esetben, a korábban leírtak szerint, valószínűleg nem kizárólag az ICEYE SAR-felvételeket használták fel az azonosításra, hanem az ICEYE SAR-felvételek alapján végeztek el változásdetektálást, és elektro-optikai felvételekkel azonosították a fent felsorolt eszközöket és objektumokat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott példák jól szemléltetik, hogy mára már a műholdas optikai és radarfelvételek felhasználása egy megkerülhetetlen eleme lett a katonai felderítés és hadművelleti tervezés folyamatának. Az utóbbi évek technológiai fejlődése eddig nem tapasztalt minőségű műholdfelvételek nagy mennyiségű és folyamatos előállítását tette lehetővé. Ez a fejlődés eredményezte azt, hogy napjainkra szinte valós időben lehet a frontvonalakat és aktív konfliktusokat szabadon elérhető és megvásárolható műholdas felvételek segítségével megfigyelni. Minden jel szerint a jövőben ez a technika csak tovább fog fejlődni, mind az elérhető műholdak, mind pedig a feldolgozási és értelmezési módszerek terén. ■

HIVATKOZÁSOK

- [1] NRO chief: “You can’t hide” from our new swarm of SpaceX-built spy satellites. *Ars Technica*. <https://arstechnica.com/science/2024/11/nro-chief-you-cant-hide-from-our-new-swarm-of-spacex-built-spy-satellites> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [2] Graham, Flora: Daily briefing: Why Roman concrete lasts for ages. *Nature* 2023. január. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00066-5>
- [3] Mezzofiore, G. – Lister, T.: New satellite images show buildup of Russian military around Ukraine. *CNN* 2022.02.02. <https://edition.cnn.com/2022/02/02/europe/russia-troops-ukraine-buildup-satellite-images-intl/index.html> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [4] Rothman, M. et al.: Reflections on the Russia-Ukraine War, Leiden University Press. 2024.02.24. <https://doi.org/10.24415/9789400604742>
- [5] Tomchenko, O. V. et al.: Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on Landscape scale. *Journal of Landscape Ecology* 2023/10., 76–97. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>
- [6] NASA-FIRMS. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [7] VIIRS I-Band 375 m Active Fire Data NASA. Earthdata. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/viirs/viirs-i-band-375-m-active-fire-data> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [8] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). LAADS DAAC <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/modis> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [9] Zanaga, D. et al.: ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>
- [10] S1 Mission. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [11] S2 Mission. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [12] Gonzales, C.: Scorched Earth: Using NASA Fire Data to Monitor War Zones. *Bellingcat* 2022. október. <https://www.bellingcat.com/resources/2022/10/04/scorched-earth-using-nasa-fire-data-to-monitor-war-zones> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [13] Orlenko T. et al.: Remote Monitoring of the Activation of Hazardous Natural Processes under the War in Ukraine. *European Association of Geoscientists & Engineers* 2024/1, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510060>
- [14] Maxar – Space Products Series. Overview. <https://www.maxar.com/maxar-space-systems/products/spacecraft-platforms> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [15] Home – SkyWatch. <https://skywatch.com> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [16] Africk, B.: Russian field fortifications in Ukraine. <https://read.bradyafrick.com/p/russian-field-fortifications-in-ukraine> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [17] Design Satellites. ICEYE. <https://www.iceye.com/satellites/design> (Letöltve: 2024.12.01.)
- [18] Gong, M. et al.: Change Detection in Synthetic Aperture Radar Images Based on Deep Neural Networks. *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.* 2015/1, 125–138. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2015.2435783>
- [19] Muczyński, R.: Polish-Finnish ICEYE satellites’ involvement in the Ukraine-Russia war. <https://milmag.pl/en/polish-finnish-iceye-satellites-involvement-in-the-ukraine-russia-war> (Letöltve: 2024.12.01.)