

EGY BÜKKI HÓTÖRÉS TÁVÉRZÉKELÉSI ELEMZÉSE MODIS ÉS SENTINEL-2 ŪRFELVÉTELEK ALAPJÁN

Molnár Tamás^{*,**}, Birinyi Mátyás^{**}, Király Géza^{**}, Móricz Norbert^{*},
Koltay András^{***}, Hirka Anikó^{***}, Csóka György^{***}, Somogyi Zoltán^{*}



Snow-damage analysis in the Bükk Mountains based on MODIS and Sentinel-2 satellite images – After heavy snow and windfall in 19.4.2017 in the Bükk Mountains, 4409 hectares forest area was damaged. The severe damage effected mostly the forests at 500-600 m altitude. We investigated the effects by remote-sensing methods based on MODIS and Sentinel-2 satellite images, then compared the results to the Hungarian National Forest Damage Registration System data and to field survey. Damage is clearly detectable on the moderate-resolution standardized NDVI (NDVI Z) maps of Remote-sensing Based Forest Health Monitoring System (TEMRE) of NARIC Forest Research Institute, and analysis of high-resolution Sentinel-2 NDVI. Classified maps also confirmed that moderate (250m×250m) and high resolution (10m×10m) satellite images are suitable for forest damage survey by 92.325% overall accuracy.

Keywords: remote sensing, satellite image, MODIS, Sentinel-2, snow damage, Bükk Mountains

A 2017. április 19-i bükkii hótorés és széldöntés nyomán 4409 hektáron keletkezett erdőkár. A kalamitás leginkább az 500-600 m tszfm. régióban érezte hatását. Ebben a magasságban vizsgáltuk a Bükk-hegységet sújtó károsodást távérzékelési módszerekkel, MODIS és Sentinel-2 műholdképeken, majd összehasonlítottuk az eredményeket az erdővédelmi kárbejelentő lapokkal és terepi felméréssel. A NAIK Erdészeti Tudományos Intézetének Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszerének (TEMRE) közepes felbontású, 2017 nyarán készült MODIS alapú erdőállapot-térképein egyértelműen kimutathatóak a standardizált NDVI eltérések és a nagy felbontású, osztályozott Sentinel-2 felvételek elemzései is alátámasztják, hogy a közepes- és nagyfelbontású ūrfelvételek alkalmasak a káresemények utáni nagyterületű kárfelmérésre, amit a 92.3%-os pontosság is alátámaszt.

Kulcsszavak: távérzékelés, műholdkép, MODIS, Sentinel-2, hótorés, Bükk

1 Bevezetés

A földmegfigyelő műholdak nyújtotta távérzékelési lehetőségeket az erdészetben is eredményesen lehet alkalmazni. Lausch et al. (2016) és Saarinen et al. (2018) a Landsat, Kovács és Gulácsi (2018) a Terra MODIS és Barka et al. (2018) a Sentinel-2 műholdak adatait használták fel erdőmonitoringra. Ezen műholdak adatai ingyenesen, a Landsat esetében 16, a Terra esetében 1 - 2, míg a Sentinel-2 esetében 2 - 3 naponta frissítve elérhetőek az egész Föld területére, és az előfeldolgozottságnak (radiometriai és geometriai korrekció, továbbá ortorektifikáció) köszönhetően, geoinformatikai szoftve-
rekkel (GIS) feldolgozva az adatokat alkalmasak a nagyterületű erdőket érintő földhasználati, éghaj-
latváltozási és erdészeti célú adatfeldolgozásra.

Tanulmányunkban mi a Bükk-hegységben bekövetkezett károk felmérésének távérzékelési mód-
szerekkel történő megvalósítását tűztük ki célul. Vizsgálati területünkön az utóbbi évtized legnagyobb
területű hótorés és széldöntés okozta kárait jelezték 2017 áprilisában, összesen több mint 4409 hek-
tárról a Központi-Bükkből (http://www.erti.hu/images/erti/Publikaciok/EV-Prognzis-2017-2018_3.pdf, 2019-12-05), ami az erdőgazdasági táj 52713 hektáros területének 8.36%-át jelenti. A káresemény nagy földrajzi kiterjedése miatt célszerűnek ítéltük a műholdas távérzékelés alkalmazását a terepi felvételezés kiegészítésére. Ehhez több műhold közepes és nagyfelbontású ūrfelvételeit fel-
használtuk fel.

2 Anyag és módszer

Az erdőkár elemzéshez a NASA Terra műholdjának közepes felbontású MODIS, az ESA Sentinel-2 MSI nagyfelbontású műholdképeit, illetve terepi referenciának a NÉBIH Erdészeti Igazgatósága és a NAIK ERTI által közösen működtetett Országos Erdőkár Nyilvántartási Rendszer (OENyR) Kárbejelentő Lapjainak adatait használtuk fel. Továbbá terepi bejárással is felmértünk sérült erdőterületeket. Kiválasztottunk két űrfelvételt (2016.08.28-i és 2017.06.04-i), melyek a káresetet (2017.04.19.) megelőző, illetve az azt követő két nyarat jelentik, és ezekre az időpontokra elemeztük az űrfelvételeket többféle módszerrel, majd a terepi referencia adatokhoz hasonlítottuk őket.

2.1 Terra MODIS felvételek alkalmazása

A MODIS műholdképek a NAIK ERTI Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszerből (TEMRE) származnak, mely alapját a NASA Terra műholdjának MODIS szenzora (<https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>, 2019-12-05) által készített $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ felbontású MOD13Q1 termékéből előállított vegetációs index standardizált változatát (Peters et al. 2002) tartalmazó felvételek alkotják. A hazai erdőterületre vonatkozó adatok begyűjtése, hibaszűrése és térképi megjelenítése automatikusan, (ún. R nyelven írt) számítógépes programmal történik a TEMRE-ben. Az így létrejött, a vegetációs időszak alatt az ország teljes erdőterületére 16 naponta folyamatosan frissített térképek 241830 db pixelt tartalmaznak, ahol minden legalább 75%-ban erdővel borított pixel mérete 6.25 ha. Az ország erdeiben bekövetkező múltbeli változások a 2000-ig visszamenőleg elkészült térképeken esetenként folyamatukban is tanulmányozhatók (Somogyi et al. 2018). A TEMRE térképek felhasználása a közepes felbontású műholdképek alkalmazhatóságát hivatott megvizsgálni a bükki hőtörés hatásainak felmérésében.

Vizsgálati területünkre, a Központi-Bükkre 7723 db pixel esik közel 48270 hektáros területtel. A 2017. áprilisában bekövetkezett hőtörés hatásait végig lehet követni ezen a területen az egész vegetációs időszakban, áprilistól októberig. Az erre az időszakra elérhető nyolc felhőmentes felvételen a vegetáció állapotának változásait elemeztük a Normalizált Vegetációs Index (Huete 2002):

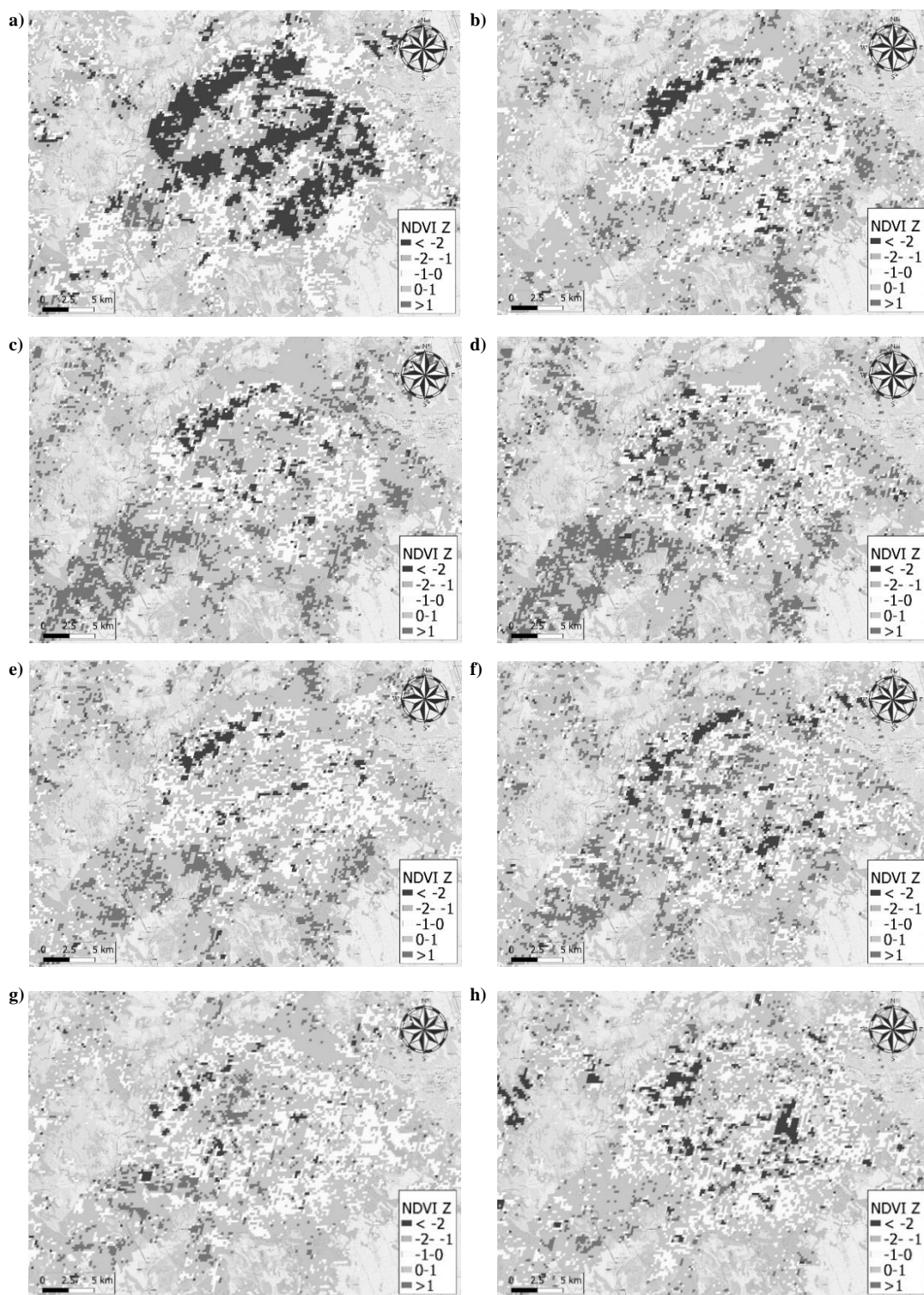
$$NDVI = \frac{NIR+RED}{NIR-RED} \quad (1)$$

és standardizált változatának használatával:

$$NDVI Z = \frac{NDVI - \overline{NDVI}}{\sigma_{NDVI}}, \quad (2)$$

ahol az NIR a közeli infravörös, a RED a vörös csatatorna intenzitásértéke, az $NDVI$ az év adott időszakában mért érték, $NDVI$ az adott időszaknak megfelelő sokéves átlag (2000-2018), σ_{NDVI} pedig az adott időszak szórása (2000-2018). Az $NDVI Z$ értékek színskáláján a negatív eltérések mértékét citromsárgával ($Z < 0$), narancssárgával ($Z < -1$), illetve vörössel ($Z < -2$), a pozitív eltéréseket világos ($Z = 0 - 1$), illetve sötétzöld színekkel jelöltük ($Z > 1$).

A térképeken (1. ábra) a tartósan átlagostól alacsonyabb fotoszintetikus aktivitású ($NDVI Z < -2$) területek vörös színnel jelennek meg, melyek kiterjedése bár változik, de végig nagy területen jelentkezik az egész vegetációs időszakban. Ezek alapján kimutathatók a legnagyobb mértékben károsodott területek, melyek a Központi-Bükk két kistáját, az Északi-Bükköt és a Déli-Bükköt érintik leginkább.

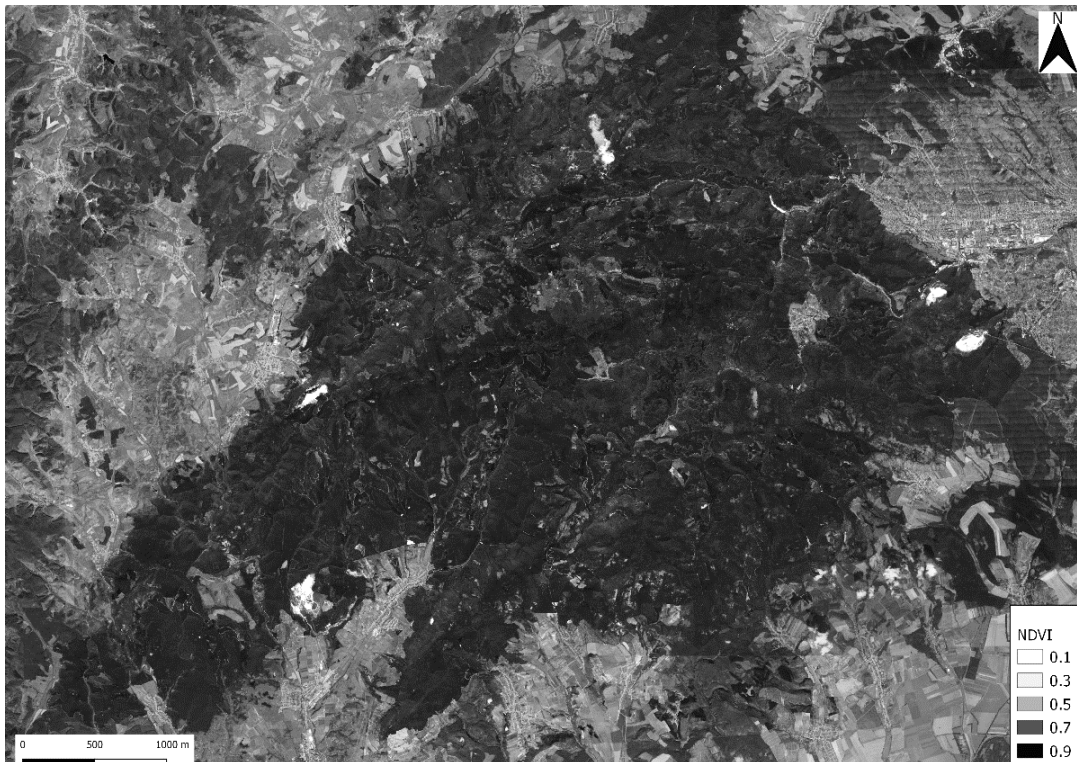


1. ábra. A Központi-Bükk egészségi állapotának változása 2017-ben Z NDVI alapján, 2017.05.16. (a), 2017.05.31. (b), 2017.06.16. (c), 2017.07.02. (d), 2017.07.18 (e), 2017.08.03. (f), 2017.08.19. (g), 2017.09.02 (h)

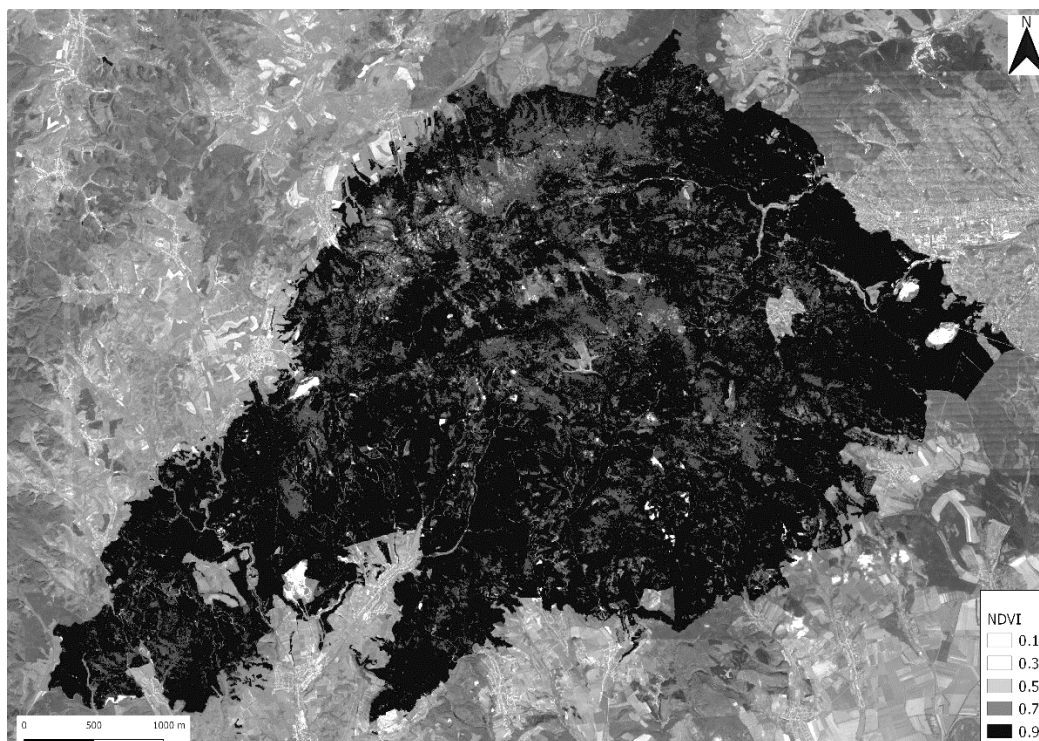
2.2 Sentinel-2 úrfelvételek alkalmazása

Az Európai Űrügynökség (ESA) Sentinel-2 L1C és L2A felvételei az ESA Copernicus Open Acces Hub-járól származnak, előbbi csak a PlanetDEM digitális domborzatmodellel, utóbbi a Sen2Cor segítségével atmoszféricusan is korrigált (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, 2019-12-05). A L1C felvételből az L2A felvételt a Sentinel Application Platform (SNAP) Sen2Cor pluginjának segítségével állítottuk elő. Az így elkészült nagyfelbontású (10m × 10 m) L2 raszterekből az *NDVI* térképeket a QGIS programmal készítettük el, ahol vetületi rendszernek az Egységes Országos Vetületet (EOV) használtuk, raszter vetület konverziós módszerrel. A Sentinel-2 felvételek felhasználását a magasabb térbeli és időbeli felbontás indokolta, habár hosszú standardizált *NDVI - t* (*Z NDVI*) a műhold működésének rövid ideje miatt (négy év) még nem indokolt számolni.

A *NDVI* skála (-1 - + 1) segítségével az előzőekhez hasonlóan kimutatható a károsodással leginkább érintett terület. A káreset előtti képen (2. ábra) és a káresetet követően (3. ábra) jelentős eltérések mutatkoznak. Utóbbin főként az Északi-Bükkben lehet összefüggő, nagyterületű hótörésre utaló *NDVI* különbséget kimutatni, de kisebb területen a Bükk-fennsík, illetve a Déli-Bükkben is megjelenik a hótörés hatása. A nagyfelbontású műholdkép segítségével a károk kiterjedése is pontosabban kirajzolódik pl. a sérült hegyoldalak, völgyek alakja egyértelműen azonosítható, ahol az *NDVI* az egészséges erdő átlagos 0.9-et elérő értékéhez képest csak 0.5-et ér el (2. ábra). Továbbá a vegetációmentes vágásterületek is szépen kirajzolódnak a Dél-Bükkben (*NDVI* < 0.1). A felhők által kitakart pixelek számának csökkentésére a 2017.07.04. és a 2017.07.24-i felvételekből kompozitot készítettünk.



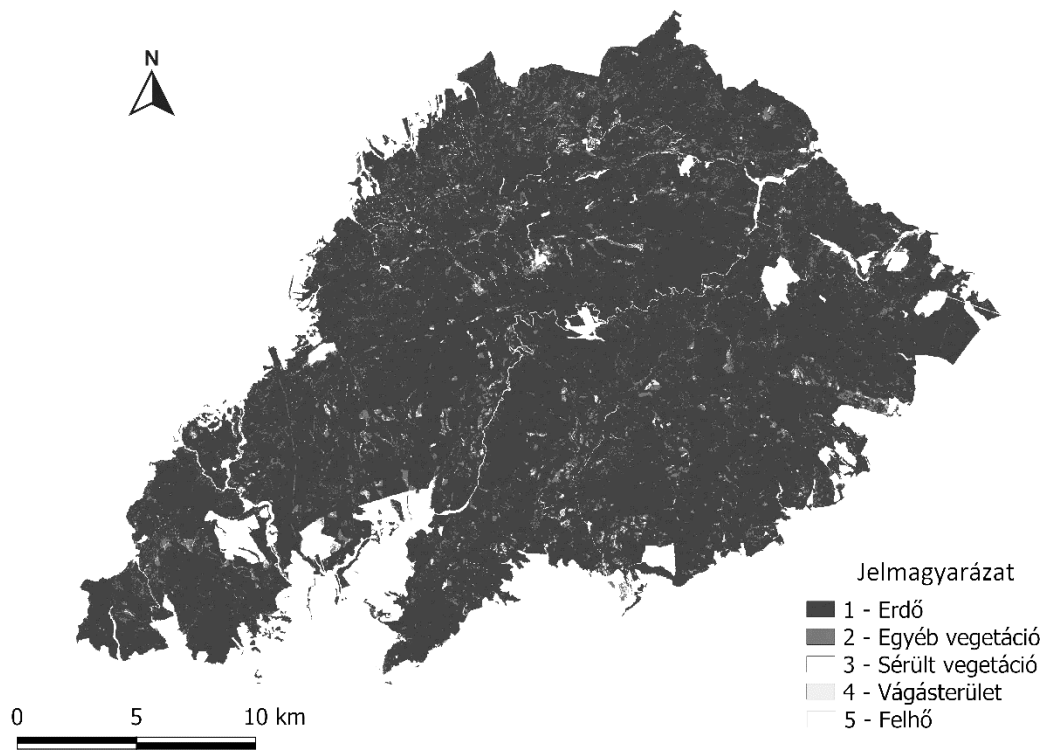
2. ábra. Központi-Bükk, Sentinel-2 *NDVI*, 2016.08.28.



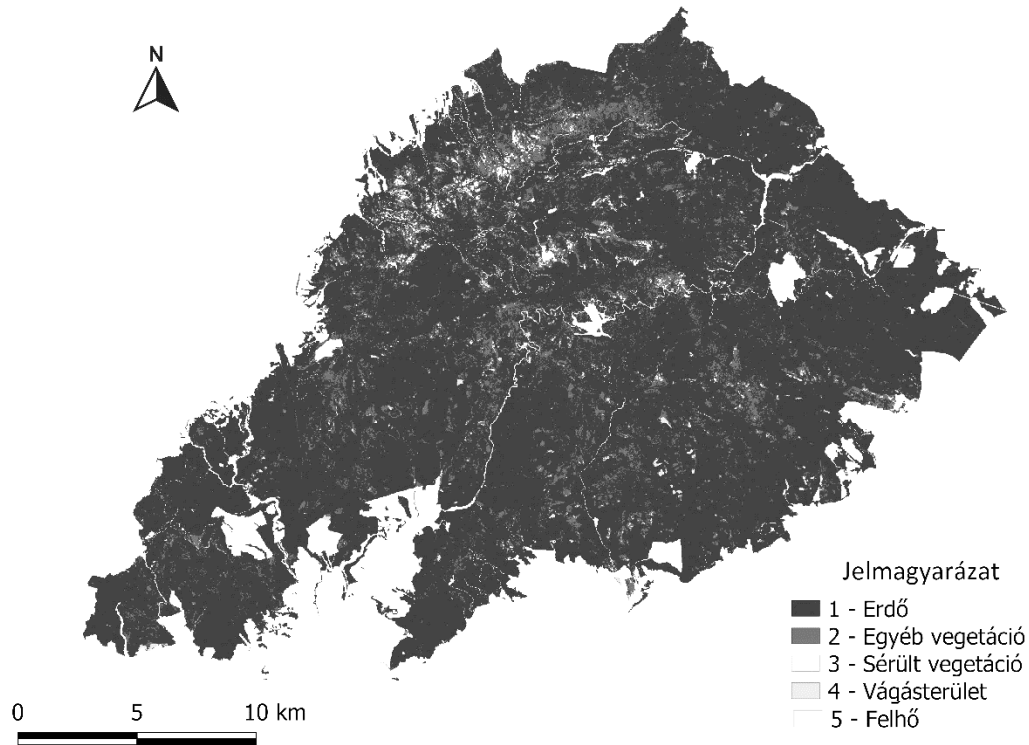
3. ábra. Közvizi-Bükk, Sentinel-2 2017.07.04-ei és 2017.07.24-ei felvételeinek NDVI kompozitja

A Sentinel-2 űrfelvételek vizsgálatára a felügyelt osztályozás is lehetőséget ad. Ez a képfeldolgozási technika a különböző tematikus kategóriák elkülönítését teszi lehetővé, az ún. tanító területek segítségével gyűjtött spektrális jellemzők alapján. Az osztályozás elvégzéséhez a QGIS 3 térinformatikai program SCP (Semi-automatic Classification Plugin) modulját használtuk. Először a 2016.08.28-i felvételt osztályoztuk, mint hótörés előtti állapot, majd a 2017.06.04-i képet, mint hótörés utáni állapot. A hótörés utáni felvételen az Északi-Bükkben kis területen felhő található. Ennek kimaszkolását a 2017.06.24-i felvétel megfelelő részével végeztük el. Az űrfelvételek B2-es kék, B3-as zöld, B4-es vörös, és 08-as közeli infravörös sávjait használtuk, mivel ezek tartalmazzák a legtöbb, számunkra értékes információt, 10 m-es terepi felbontásuk lévén. A 4 sávból egy virtuális réteget hoztunk létre, majd abból a Közvizi-Bükk (211-es erdőgazdasági táj) térképével kivonatot készítettünk. A célunk négy osztály elkülönítése volt. Ezek az erdő, egyéb vegetáció, sérült vegetáció és a vágásterület kategóriák. (A hótörést megelőző felvételen egy felhő osztály is kijelölésre került). A tanító területeket főként a terepi bejárások során gyűjtött tapasztalataink alapján választottuk ki a térképen. Ezeket szabadkézi kijelöléssel, illetve a program Regin Growing Algorithm elnevezésű, tanító terület generáló funkciójával rögzítettük. A tanítóterületek kijelölése után lefuttattuk az osztályozást. Az osztályozás módja az átlagtól való legkisebb távolság módszere (minimum distance to mean osztályozó) volt. Ez az eljárás a képi pixelek és a tanító területek spektrális jellemzőinek Euklideszi távolságát számítja ki. A távolság a felvétel összes pixelére számításra kerül, hozzárendelve a közelebbi spektrális jellemző osztályát. Szembetűnő a differencia a két állapot között, mivel a „Sérült vegetáció” osztály jelentős növekedést mutat a hótörés utáni felvételnél (4. és 5. ábrák).

A „Sérült vegetáció” osztály azokat a területeket képviseli, ahol a zárt erdőtümbök folytonossága megszakad, és a csupasz talajfelszín, valamint a dőlt törzsek színe láthatóvá válik a képen. Az osztály tanítóterületeit főként terepi bejárásaink tapasztalatai alapján vettük fel. Akár egy terepi bejárás is elegendő ahhoz, hogy később a műholdfelvételen önállóan felismerjük a hótörés és szélöntés által károsított vegetáció megjelenését.



4. ábra. Kézponti-Bükk, Sentinel-2 osztályozott, 2016.08.28.

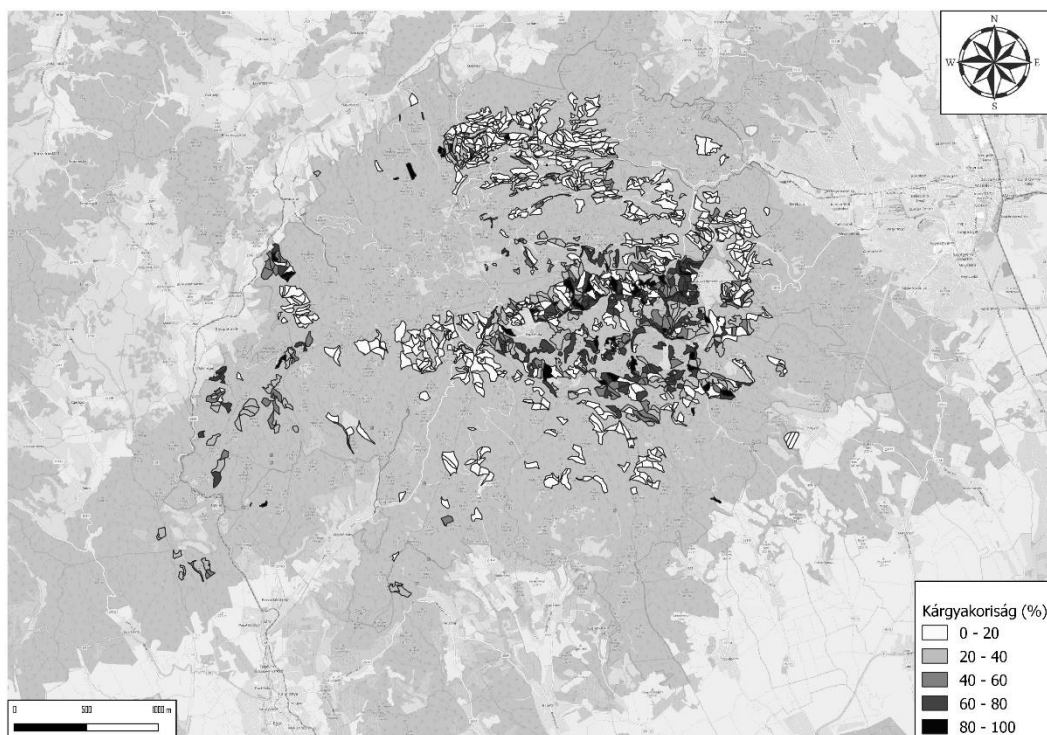


5. ábra. Kézponti-Bükk, Sentinel-2 osztályozott, 2017.06.04 és 06.24-i kompozit

3 Erdővédelmi kárbejelentő lapok

A terepi káradatok a NÉBIH Erdészeti Igazgatósága és a NAIK ERTI által közösen működtetett Országos Erdőkár Nyilvántartási Rendszer Kárbejelentő Lapjaiból származnak. Ezen bejelentések alapján 4409 hektáron károsodott az erdő a Központi-Bükkben (6. ábra) (http://www.erti.hu/images/erti/Publikaciok/EV-Prognzis-2017-2018_3.pdf, 2019-12-05). A károk közt szerepel a hótörés (3232 ha), a széldöntés (1174 ha) és a széltörés (3 ha). A károsodott erdő meghatározásánál az ONyER Útmutató 2018-as kiadásának (https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/1047730/Erdővédelmi+kárbejelentő_Útmutató_új_20180604.pdf/96c53f3a-89ca-967f-f40a-98b059115fad, 2019-12-05) károsodással érintett terület fogalmát vettük alapul: „Az összefüggő, vagy egyben kezelt, kárral érintett területet nevezzük érintett területnek. A károsítással érintett faállományt körülhatárolva, annak mért vagy becsült területét jelenti hektárban, 0.01 ha pontossággal. A lehatárolás nem kell, hogy megegyezzen a megadott erdőrészlet területével, de akkor annál csak kisebb lehet. Ha egy részleten belül több kis területű, de azonos kárral és kárérélyvel érintett terület található, akkor ezek területe összevonható.” A teljes Bükk területére kizárólag az ONyER-ből kaphatunk terepi káradatokat.

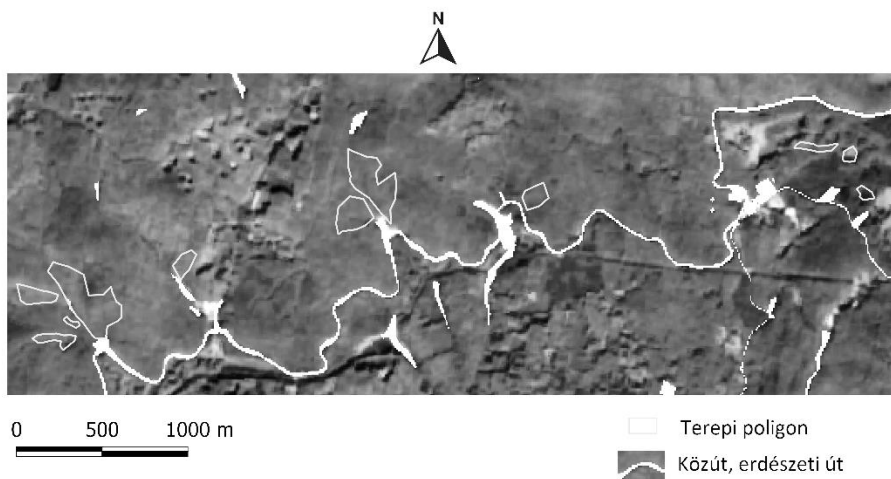
A súlyosan károsodott erdőterületek nagysága 245 ha, ahol a kárgyakorosság eléri, vagy meghaladja a 60%-ot erdőrészletenként. A gyakoriság: „Az érintett területen, egy adott fafaj károsodással érintett egyedeinek aránya az érintett területen található ugyanazon fafaj összes egyedeihez képest, százalékban kifejezve. (Pl.: 100 db KTT található az érintett terület lehatároló vonalán belül, melyből 60 db egyeden van pl.: lombrágás, akkor e káresemény leírásakor a gyakorisághoz 60%-ot kell beírni akkor is, ha az érintett területen van még 50 db egészséges CS egyed is.)”.



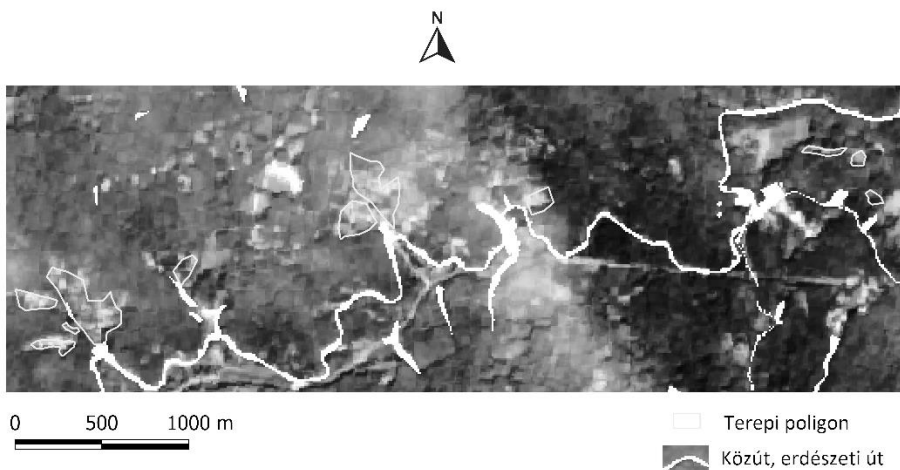
6. ábra. Hótörés, széldöntés és széltörés összesített kárgyakorossága a Központi-Bükk területén 2017 tavaszán az Erdővédelmi Kárbejelentő Lapok alapján

4 Terepi bejárás

A műholdfelvételek elemzése irodai körülmények között, a megfelelő technikai háttér segítségével elvégezhető. A kiértékeléshez azonban elengedhetetlen a terepi bejárás, amelynek során felmérjük az erdő aktuális állapotát. A terepi bejárást és adatrögzítést korlátok közé kényszerítették az erdőben jelen lévő fizikai akadályok. A kidőlt törzsek, a kifordult gyökértányérok, a gödrök, az elszaporodott aljnövényzet és a törzsekből kiálló hegyes ágcsomók balesetveszélyessé tették a mintaterületeket. Ezek a körülmények negatívan befolyásolták a terepi felmérés pontosságát. A terepen mintaterületek kerültek kijelölésre GNSS alkalmazásával, ezt ábrázoltuk a káreset előtti (7. ábra), illetve utáni (8. ábra) kompozitokon. Az említett kaotikus állapotok mellett szembesültünk még egy nehezítő tényezővel: amíg a „tömbös” jellegű károsításoknál viszonylag egyszerűen elhatárolható a károsítás területe, addig a „szálankénti” döléseknél nem állapítható meg egyértelműen a sérült és az egészséges területek közötti határ (9. ábra).



7. ábra. Terepi poligonok a hótörés előtti állapotot mutató űrfelvételen (Bükkszentkereszt és Répáshuta között)



8. ábra. Terepi poligonok a hótörés utáni állapotot mutató űrfelvételen (Bükkszentkereszt és Répáshuta között)



9. ábra. Az erdőkárok terepi felmérése a Répáshuta 6G erdőrészletben (2018.11.01.)

5 Eredmények

A Bükk központi részében 52713 ha-os területére végzett elemzések során mindegyik alkalmazott módszerrel sikeresen tudtunk erdőkárokat kimutatni. Az erdővédelmi kárbejelentő lapok terepen felmért adatai szolgáltak referenciaként, ezekhez hasonlítottuk a műholdképen kimutatott károsodások kiterjedését. A közepes felbontású, illetve nagyfelbontású műholdképeken a kár előtt, illetve után képeket elemezve (0.4-2.2) %-os károsodást tapasztaltunk, melyek területe (301.3-1048.9) ha között változott, a különbségek mértéke pedig 1% és 1.8 % közé esett (1. táblázat).

1. táblázat. Erdőkárok különböző módszerekkel felmérve

	Dátum	összterület [ha]	súlyosan sérült [ha]	sérüléssarány [%]	sérülés definíció
Kárbejelentő lapok	2017.4-6. hónap	52713	245	0.5	Kárgyakoriság > 60 %
MODIS	2016.08.28	48272	187	0.4	Z < -2.5
MODIS	2017.08.28	48516	1048	2.2	Z < -2.5
MODIS eltérés	-	244	861	1.8	kategória = 3, sé- rülés
Sentinel osztályozott	2016.08.28	52705	301	0.6	kategória = 3, sé- rülés
Sentinel osztályozott	2017.06.04 . és 24.	52704	986	1.9	kategória = 3, sé- rülés
Sentinel o. eltérés	-	1	685	1.3	NDVI < 0.81
Sentinel NDVI	2016.08.28	52703	534	1.0	NDVI < 0.81
Sentinel NDVI	2017.06.04 . és 24.	52695	1037	2.0	NDVI < 0.81
Sentinel N. eltérés	-	8	503	1.0	NDVI < 0.81

A pontosságvizsgálatot hibamátrix előállításával végeztük, aminek alapját a raszterizált erdészeti kárbejelentő lapok és a 2017.07.04-24. Sentinel-2 *NDVI* térkép adta. A rasztereket QGIS-ben újraosztályozva 1 és 2 értékkel (1: nem sérült, 2: sérült, ahol az kárgyakoriság > 60%) láttuk el. Majd az *NDVI* raszter 1 és 2 értékei 20 és 30-as értéket kaptak (20: nem sérült, 30: sérült, ahol az *NDVI* < 0.81). Az így elkészült két rasztert összeadtuk, ami négy kategóriát eredményezett: 21 (1+20), 22 (2+20), 31 (1+30), 32 (2+30). Ezekből területstatistikát számolva kaptuk meg a mátrixot (2. táblázat), melyben 1031.5 hektáron, az összterület 2.0 %-án tudtunk mindkét módszerrel kimutatni sérüléseket.

2. táblázat. Hibamátrix az erdészeti kárbejelentő lapok és a Sentinel-2 felvétel alapján

Osztály (pixelérték)		Sentinel-2 <i>NDVI</i> [ha és %]	
		Nem sérült (20)	Sérült (30)
Kárbejelentők [ha és %]	Nem sérült (1)	4261 ha (8.1%)	47168.31 (89.8%)
	Sérült (2)	56.8 ha (0.1%)	1031.5 (2.0%)

Az osztályozott 2017.07.04-24-i Sentinel-2 felvételnél pedig az általunk sérültnek megjelölt és a program által sérültnek osztályozott kategóriák összevetéséből készült a mátrix (3. és 4. táblázatok).

3. táblázat. Hibamátrix az osztályozott Sentinel-2 felvétel alapján

Osztály	Erdő [ha]	Egyéb vegetáció [ha]	Sérült vegetáció [ha]	Vágásterület [ha]	Összesen [ha]
Erdő	6856	49	245	0	7150
Egyéb vegetáció	329	2231	139	57	2756
Sérült vegetáció	115	0	1082	29	1226
Vágásterület	0	0	18	388	406
Összesen:	7300	2280	1484	478	11542

4. táblázat. Pontosságvizsgálat az osztályozott Sentinel-2 felvétel alapján

Osztály	Gyártó „producer” pontosság [%]	Felhasználói „user” pontosság [%]
Erdő	95.3	98.9
Egyéb vegetáció	97.8	83.8
Sérült vegetáció	87.3	94.2
Vágásterület	81.2	100.0

A pontossági vizsgálat eredményeként a teljes pontosság: 92.3%. Az eltérés oka az lehet, hogy a mintaterületen a sérült vegetáció a teljes területhez képest kisméretű és igen mozaikos, néhol nehezen elkülöníthető a környezetétől.

6 Következtetések

A térképek területének különbségei (8-18 ha a Sentinel-nél, illetve 244 ha a MODIS-nál) az eltérő felbontásból, a geoinformatikai algoritmusok módszertani eltéréseiből, a felhőszűrésből, illetve az ezekre visszavezethető adatvesztésből adódnak. Továbbá célszerű az Sentinel-2 felvételeken is további felhőszűrést végezni, hogy kiválthassuk a nem használható, kitakart pixeleket egy másik, közeli időpont felhőmentes pixeleivel. Ez az *NDVI* értékek precízebb skálázását teszi lehetővé, ami jobban megközelíti az erdő valós fotoszintetikus aktivitási mértékét, továbbá hozzájárul az osztályozás továbbfejlesztéséhez.

A képosztályozás pontosítása érdekében célszerű a felvételen egy olyan szűrőt beiktatni (pl. Gauss vagy Kálmán-félt), amely a pixelértékek simítását végzi el. Ennek következtében egyértelműbb lehet a változások nyomon követése. További fejlesztési irány a raszterből az olyan területek kivágása, amelyek az adott témában nem jelentősek. Így például a rétek, legelők egy része, vagy a terméketlen területek. Ezen kívül szűkebb területre – néhány községhatárra fókuszálva – is célszerű vizsgálatokat végezni a jövőben.

A növekvő erdőkárok okán egyre nagyobb teret kaphatnak a távérzékelésen alapuló erdőmonitoring módszerek, hiszen a műholdképek használatával nagy területen, objektíven és közvetlenül a káresetet követően lehet a térképezést elvégezni. Továbbá a korábbi adatokkal összevetve az erdőegészségi változásokat ki lehet mutatni különböző indexek, illetve osztályozási módszerek segítségével, majd a terepi valamint a nagyfelbontású űrfelvételekből készült távérzékelte kártérképek térbeli átfedését is vizsgálni lehet, mely segítségével mindkét módszer fejleszhető.

Köszönetnyilvánítás – A szerzők megköszönik a NÉBIH Erdészeti Igazgatóságnak az Országos Erdőkár Nyilvántartási Rendszer Kárbejelentő Lapjainak rendelkezésre bocsátását.

Hivatkozások

- Barka I, Lukeš P, Bucha T, Hlásny T, Strejček R, Mlčoušek M, Křístek Š** (2018): Remote sensing-based forest health monitoring systems-case studies from Czechia and Slovakia. *Lesnícky Časopis*, 64(3-4), 259–275, doi: 10.1515/forj-2017-0051.
- Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez E, Gao X, Ferreira LG** (2002): Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213, doi: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2.
- Kovács F, Gulácsi A** (2018): MODIS EVI/NDVI alapú monitoring erdőterületeken 2000–2017 között a klímaváltozás földrajzi hatásának kimutatásában. *Geodézia és Kartográfia*, 50(5), 19-27, doi: 10.30921/GK.70.2018.5.3.
- Lausch A, Erasmí S, King DJ, Magdon P, Heurich M** (2016): Understanding Forest Health with Remote Sensing—Part I—A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics. *Remote Sensing*, 8(12), doi: 10.3390/rs8121029.
- Peters AJ, Walter-Shea EA, Andrés Viña LJ, Hayes M, Svoboda MD** (2002): Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(1), 71-75.
- Saarinen N, White JC, Wulder MA, Kangas A, Tuominen S, Kankare V, Holopainen M, Hyypä J, Vastaranta M** (2018): Landsat archive holdings for Finland: opportunities for forest monitoring. *Silva Fennica*, 52(3), 11, doi: 10.14214/sf.9986.
- Somogyi Z, Koltay A, Molnár T, Móricz N** (2018): Forest health monitoring system in Hungary based on MODIS products. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.: theory meets practice in GIS : Debreceni Egyetem, IX. Térinformatika Konferencia és Szakkiállítás. Szerk. Molnár Vanda Éva. Debrecen, ISBN 978-963-318-723-4.