

### *Irodalomjegyzék*

- BONDOR A. (1986): A bükk. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- KOLLÁR T. – VEPERDI G. – RÉDEI K. (2018): A NAIK Erdészeti Tudományos Intézet hosszúlejáratú fatermési, erdőnevelési és hálózati tartamkísérleteinek múltja, jelene és jövője. Erdészeti Lapok, CLIII. évfolyam 10. szám, 2018. október, 306-310
- MENDLIK G. (1983): Bükk fatermési tábla (1983). Erdészeti kutatások, Vol. 75.. kötet, pp. 189-198.
- NÉBIH E. I. (2017): Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon 2016-ben, Budapest: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
- SOLYMOS R. (2000): Erdőfelújítás és -nevelés a természetközeli erdőgazdálkodásban. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó
- SOPP L. (2013): Fatömeg számítási táblázatok. negyedik, változatlan kiadás szerk. Budapest: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Erdészeti Igazgatóság
- VEPERDI G. (1995): Állományfelvételi adatok feldolgozása, feldolgozó algoritmusok Exel 5.0 táblázatkezelő programra, kezelés útmutató. Budapest: Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Fatermési osztály
- VEPERDI G. (2005): Fatermestan gyakorlati feladatok. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem

## **A 2017. ÁPRILISI BÜKKI HÓKÁROK FELMÉRÉSE ÉS ELEMZÉSE ŰRFELVÉTELEK ALAPJÁN**

MOLNÁR TAMÁS<sup>1,2</sup> – BIRINYI MÁTYÁS<sup>1</sup> – SOMOGYI ZOLTÁN<sup>2</sup> – KIRÁLY GÉZA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

<sup>2</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

molnar.tamas@erti.naik.hu

### *Bevezetés*

A földrajzilag pontos és sokszor ingyenes űrfelvételek alkalmasak a nagyterületű, műhold alapú erdőtérképezésre. Erre a célra a NASA Terra (HLÁSNY *et al.* 2014), Landsat (ZHU 2014), és az ESA Sentinel-2 (BARKA *et al.* 2018) műholdképeit is felhasználhatjuk. Az űrfelvételeket feldolgozva és különböző vegetációs indexeket kiszámolva képet kaphatunk az erdők jelenlegi és múltbeli állapotáról, illetve ezek idősoros összehasonlításával a bekövetkezett változásokról is.

Az erdőállapotot különböző indexekkel fejezhetjük ki, ilyen a Normalizált Vegetációs Index (NDVI), a Továbbfejlesztett Vegetációs Index (EVI, KOVÁCS – GULÁCSI 2018), és a levélfelület-index (LAI, BARKA *et al.* 2018), melyek változásaiból ki lehet mutatni az éppen bekövetkező, vagy a már bekövetkezett erdőkárokat.

Korábbi elemzésekkel kimutattuk (MOLNÁR *et al.* 2019, nyomdai előkészítés alatt), hogy a 2017-es tavaszi erdőkárok leginkább az Északi-Bükköt és a Déli-Bükköt érintették. A legnagyobb összefüggő kárterület pedig az Északi-Bükkben található, ezért jelen tanulmányunkban erre a területre koncentráltunk. Elemzéseink során a Központi-Bükk erdészeti tájon belül Szilvásvár és Nagyvisnyó község határokra vizsgáltuk meg a 2017. áprilisi hótörés, széltörés és széldöntés okozta károk hatását a vegetációra, terepi és távérzékelési módszerekkel. Ezek segítségével a 2016-os bázisévhez, mint még egészséges erdőállapotához viszonyítva egyértelműen kirajzolódnak a sérült erdőrészek által határolt területek 2017 nyarán, mind a Terra közepes felbontású MODIS, mind az Sentinel-2 nagyfelbontású MSI műholdképein, mind a terepi felmérésből készült térképen. A közepes felbontású felvételekkel pontos térbeli káreloszlást nem lehet kimutatni, ezért szükséges nagyfelbontású műholdképeket is elemezni többféle módszerrel.

### *Anyag és módszer*

Távérzékelési módszerrel készítettünk erdőkár elemzést a NASA Terra műholdjának közepes felbontású MODIS és az ESA Sentinel-2 MSI nagyfelbontású műholdképeinek segítségével a káreset utáni, 2017.07.12-i (MODIS) illetve 2017. június 04. és 24-i időpontra (Sentinel-2). Az adott űrfelvétel a kárt követő első olyan felvétel, amely már a vegetációs időszak csúcán készült és nem nagy felhőborítottságú, de a felhő által kitakart képpontokat a 2017. június 24-i felvétel felhőmentes képpontjaival helyettesítettük. Ezután az űrfelvételek maszkolása következett; először a Szilvásváradi és Nagyvisnyó község határaitól kívüli területeket, majd az Országos Erdőállomány Adattár alapján az erdővel nem borított területeket is kivettük a felvételből, majd ezeken a felvételeken NDVI és EVI indexek segítségével vizsgáltuk az erdőt. Terepi bejárást végeztünk 2019 márciusában, amelynek tapasztalatai alapján osztályozott térképeket hoztunk létre.

Digitális domborzatmodell (DDM) alkalmazásával vizsgáltuk a káresemények domborzati elhelyezkedését, amelyhez a vízügyi HIDRODEM modellt alapul véve elemeztük a tengerszint feletti magasság, lejtés és kitértség értékeit a károsított területeknek. Ezen tulajdonságok térbeli változatosságát is megvizsgáltuk a károsodott erdőterületen, pixelszinten. Referenciaként az EGERERDŐ Zrt. Szilvásváradi Erdészetének erdőkárokra vonatkozó terepi felméréseinek adatait használtuk fel. Vonatkoztatási rendszernek az összes térképhez az Egységes Országos Vetületet (EOV) használtuk.

### *Terra MODIS űrfelvételek alkalmazása*

Ezek a műholdképek a NASA Terra műholdjának MODIS szenzora által 2017. július 12-én készített  $250 \times 250 \text{ m}^2$  felbontású MOD13Q1 vegetációs index (NDVI) felvételéből származnak, melyet 16-napos mozaik formájában lehet letölteni. A korábban leírt erdőterülettel maszkolt NDVI (Normalizált Vegetációs Index) és EVI (Továbbfejlesztett Vegetációs Index) térképek 1054 db pixelt tartalmaznak, ahol a fotoszintetikus aktivitást mutató skála segítségével kimutathatók a károsodott erdőterületek (5. ábra), ugyanakkor ezen területek erdőrézlet szintű, pontos azonosítását a módszer nem teszi lehetővé.

A vegetációs index (NDVI) képletében (1) (Justice et al 1998):

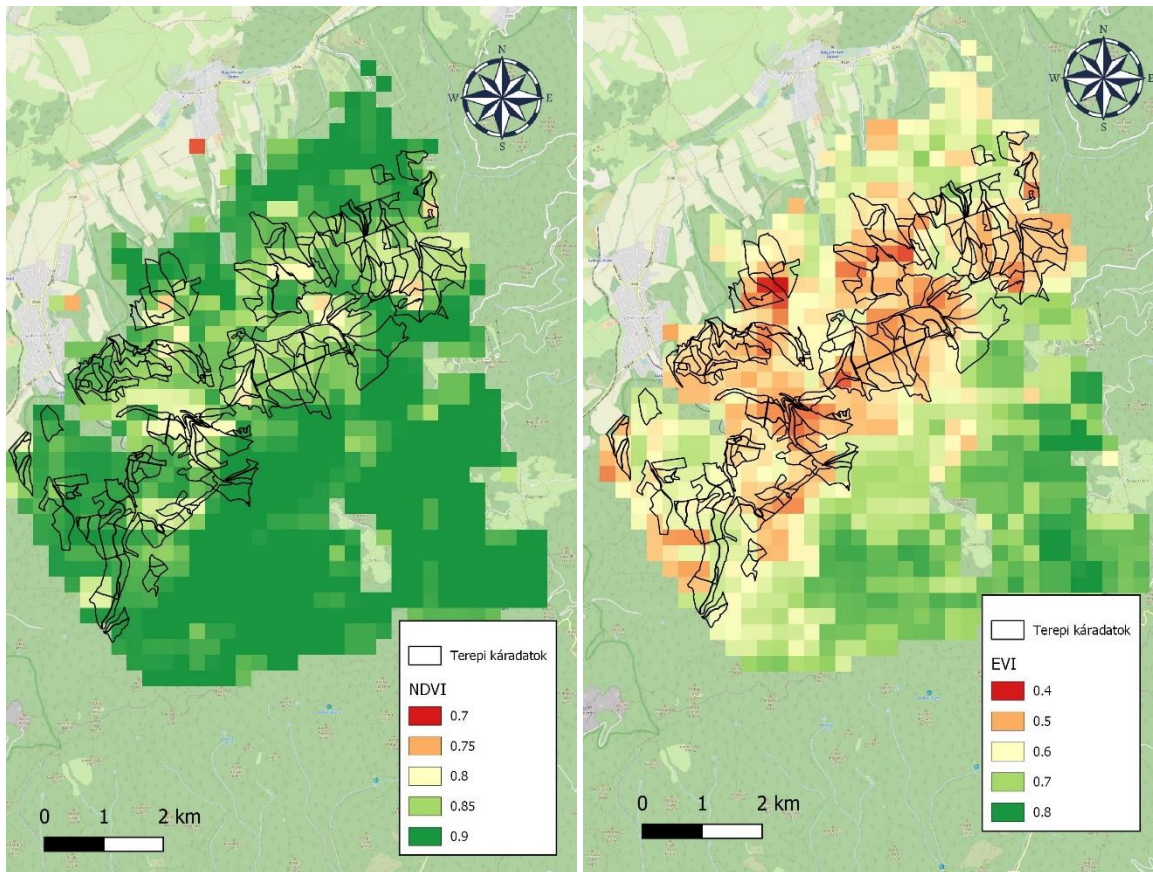
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

ahol a NIR a közeli infravörös, a RED pedig a vörös tartományt jelenteni, az NDVI pedig -1 és +1 közötti értékeket vehet fel. A skálán -1 a vízfelszínnek értéke, 0 a vegetáció mentes területé, és az egyhez közelítő értékek felelnek meg az egészséges növényzetnek.

A Továbbfejlesztett Vegetációs Index (EVI) képlete (2) (Flanagan et al 2002)

$$EVI = 2,5 * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)} \quad (2)$$

ahol a NIR, RED, BLUE a spektrum közeli infravörös, látható vörös, illetve kék tartományai; az L, a C1 és a C2 az aeroszol visszaverési koefficiensek a kék és vörös csatornákból, melyeket a csatornákat befolyásoló aeroszolok hatását csökkentik. Ezek az értékek a következők: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5 és G (szorzó) = 2,5. Ezen a skálán az egészséges növényzet 0,2-0,8 értéket vehet fel.



5. ábra: Szilvásvár és Nagyvisnyó MODIS NDVI (a) és EVI térképe (b) 2017.07.12.

#### Sentinel-2 űrfelvételek alkalmazása

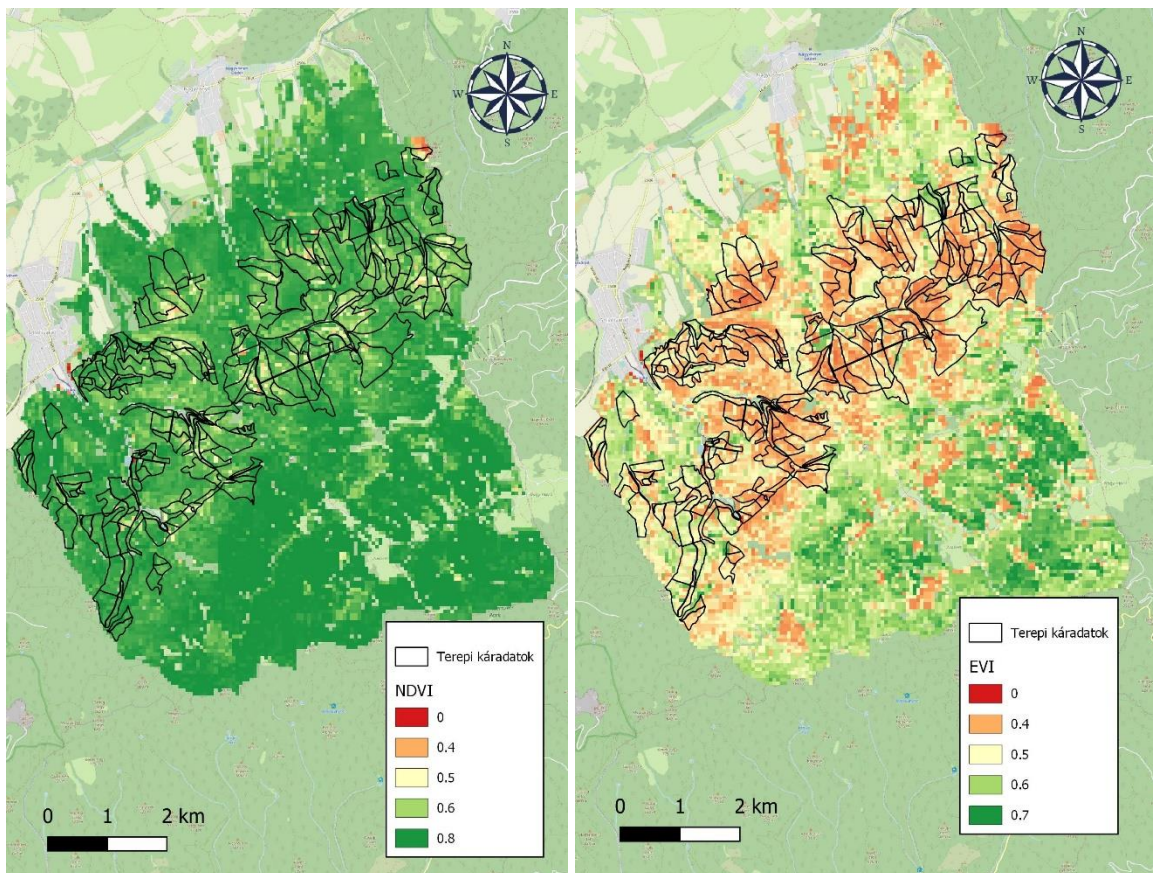
Az Európai Űrügynökség (ESA) Sentinel-2 L1C és L2A felvételei az ESA Copernicus Open Access Hub-járól származnak, előbbi csak egy globális, ún. PlanetDEM digitális domborzatmodellel, utóbbi egy fejlettebb eljárással, a Sen2Cor segítségével atmoszférikusan is korrigált. A letöltött, nagyfelbontású (10x10 m) raszterekből az NDVI index-térképeket a QGIS és a Sentinel Application Platform (SNAP) programok segítségével állítottuk elő.

Az elkészült 100 × 100 km<sup>2</sup>-es térkép az NDVI skála közel teljes terjedelmén mozgó értékeket vett fel, melyek önmagukban nem mutatják elég markánsan a bekövetkezett változásokat, ezért maszkolással és szűréssel pontosítottuk az eredményt. Az űrfelvételek maszkolása először a Központi-Bükk erdőgazdasági tájon belül Szilvásvár és Nagyvisnyó községhatárokra történt, majd az Országos Erdőállomány Adattár alapján az erdővel nem borított, következő kódjegyzékű területeken is: út, nyiladék és vezetékek védősávja, erdei vízfolyás és erdei tó, erdei tisztás, erdei épület, tározó, csatorna és halastó. A megmaradt 923 db erdőrészletre az NDVI skála pontosabb lett, hiszen csak a valóban erdővel borított területek maradtak bent az elemzésben (6. ábra).

A Sentinel-2 űrfelvételeken is alkalmaztuk a Továbbfejlesztett Vegetációs Indexet (EVI) is, azonban ezen felvételen más a dinamikai tartomány, mint a MODIS műholdképeken.

A Sentinel-2 űrfelvételeken továbbá képosztályozást is végeztünk. Ehhez a QGIS térinformatikai program SCP (Semi-automatic Classification Plugin) modulját használtuk. Először a 2016. augusztus 28-i felvételt osztályoztuk, mint hőtörés előtti állapotot, majd a 2017. június 4-i és 24-i felvételből készített kompozitot, mint hőtörés utáni állapotot. A felvételeket előkészítettük, a pixelértékek simítására Gauss-szűrőt használtunk. Az űrfelvételek 2-es kék, 3-as zöld, 4-es vörös, és 8-as közeli infravörös sávjai tartalmazzák a legtöbb, számunkra

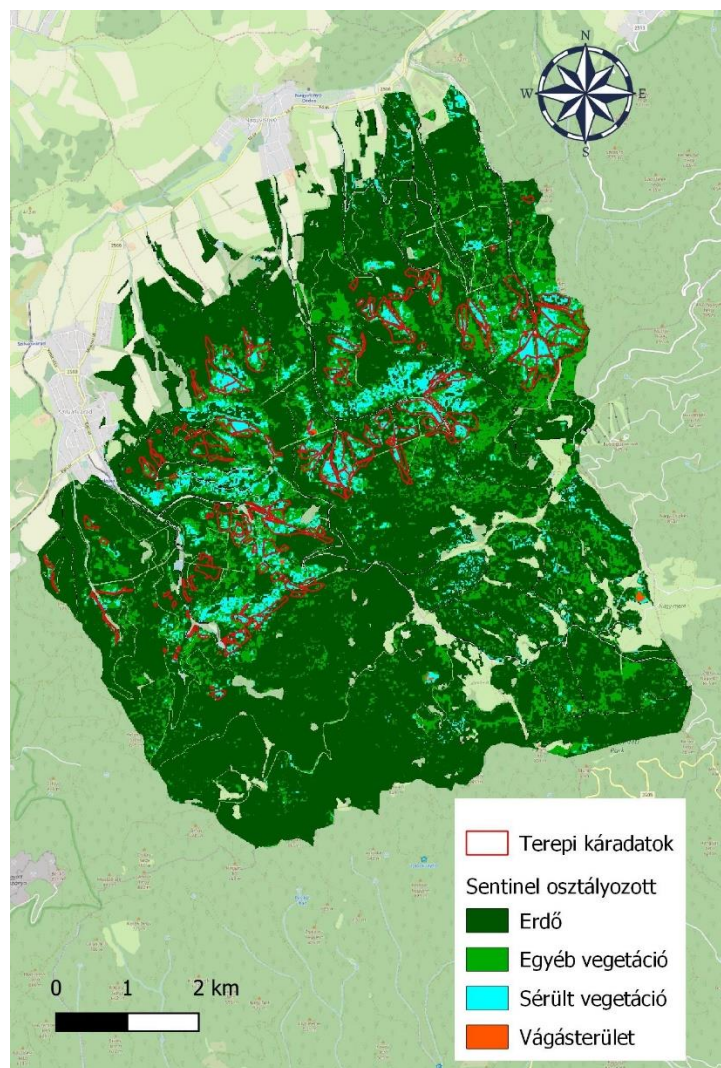
értékes információt, 10 m-es terepi felbontásuk lévén, így ezekből egy virtuális réteget hoztunk létre. Ezután a Központi-Bükk (211-es erdőgazdasági táj) térképével kivonatot készítettünk. Az SCP modulban felvettük a tanítóterületeket (ROI: regions of interest – érdeklődési területek) egy „scp” szöveges dokumentumba. A kijelölésnél nagy figyelmet kellett fordítani arra, hogy a jellemző osztályok (pl. erdő vagy rét) különböző színárnyalatait felvegyük. Így többek között a fenyőállományok és árnyékos domboldalak sötétebb színét, valamint a fiatal erdősítések világos színeit is figyelembe kellett venni. Négy fő felszínborítási osztályt hoztunk létre, amelyek közül kettőnek (erdő és sérült vegetáció) a területe a lényeges. A tanítóterületek kijelölése után lefuttattuk az osztályozást. Az osztályozott képet Szilvássvár és Nagyvisnyó községhatárokra a 211-es erdőgazdasági tájba tartozó térképével ismét méretre vágtuk. A „Sérült vegetáció” osztály azokat a területeket képviseli, ahol a zárt erdőtömbök 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 széldöntés által károsított vegetáció megjelenését (7. ábra).



6. ábra: Szilvássvár és Nagyvisnyó Sentinel-2 NDVI (a) és EVI térképe (b) 2017.06.04.

#### Referencia káradatok

A terepi káradatok az Egererdő Zrt. Szilvássvárad Erdészetétől származnak, ahol 193 erdőrészletben jeleztek sérüléseket, összesen 560 hektáron, ahol a károsodás átlagos területe a teljes erőrészlethez képest 46,33%-os. A sérülésnek két típusát lehet elkülöníteni; a szálankénti sérülés területi aránya 48,82%, míg a tömbös károsításoké 51,18%. A tömbös károsítások tartalmazzák a sérült fatérffogat 83,20%-át. Fafaj tekintetében csaknem 81% bükk, 11% tölgy és 8% gyertyán, EKL, ELL és fenyő fafajok voltak érintve a katasztrófában.



7. ábra: Szilvásvárad és Nagyvisnyó osztályozott Sentinel-2 térképe a terepi káradatok poligonjaival 2017. 06. 04.

#### *Digitális Domborzatmodell (DDM)*

A rendelkezésünkre álló  $10 \times 10 \text{ m}^2$ -es felbontású Digitális Domborzatmodell alapján vizsgáltuk meg a károsított területek tengerszint-feletti magasságát. Ebből a modellből továbbá levezetett modelleket állítottunk elő az inkrementális függvények segítségével. Meghatároztuk a lejtést ( $^\circ$ ), és a kitettséget ( $^\circ$  azimut), és elemeztük, hogy a károsított területek milyen lejtésű és kitettségű területeken voltak a leggyakoribbak.

#### *Vizsgálati eredmények*

Az Északi-Bükk általunk vizsgált 5435 ha-os területén az összes felhasznált kártérképezési módszert sikeresen alkalmaztuk. Mind a referenciaként vett terepi adatokból álló káradatok, valamint az ezekhez hasonlított űrfelvételek és elemzések is kimutatták a károsodásokat, bár eltérő mértékben és kiterjedésben. A közepes felbontású illetve nagyfelbontású műholdképeket elemezve 5,29-6,7%-os károsodást tapasztaltunk, melyek területe 297-364,03 ha között változott, a különbségek mértéke pedig 1,41% illetve 66,33 ha volt (1. táblázat). A Sentinel-2 alapú NDVI maximális 0,86-os értéke a sérülésnél 0,63 alá esett, ez több mint két tizedes eltérést mutat, míg a MODIS-nál ezek az értékek rendre 0,93 és 0,83, tehát egy tizedes az eltérés. Az EVI értékek közt is közel két tizedes eltérés van a két műhold adatainál.

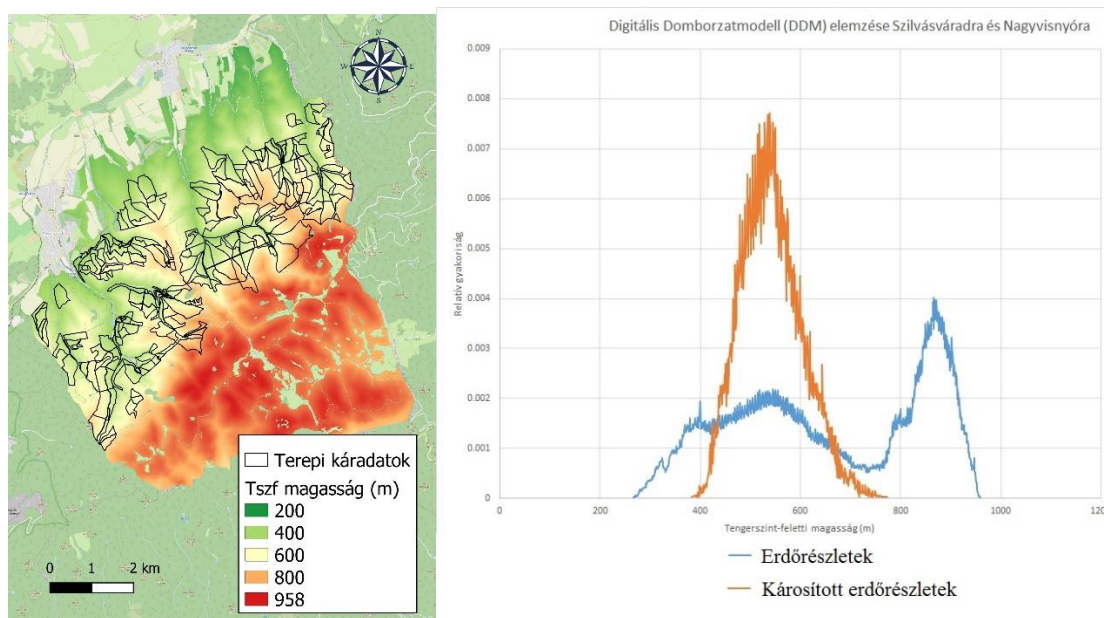
A károsítások definíciójának megválasztásánál problémát okozhatnak a műholdak időbeli és térbeli felbontásbeli, a feldolgozás (korrekció, szűrés, vágás) módszertani, az indexek

számításbeli, a terepi felvételezés módszerének különbségei. Ahhoz, hogy egységesebb, pontosabb képet kapjunk, a jövőben további kutatások szükségesek.

2. táblázat: A különböző módon kimutatott erdőkárok összehasonlítása

Forrásadat	Károsított terület részaránya (%)	Károsított terület nagysága (ha)	Károsítás definíciója
MODIS NDVI	5,3	298	NDVI < 0,82
MODIS EVI	6,2	346	EVI < 0,5
Sentinel-2 NDVI	6,7	364	NDVI < 0,63
Sentinel-2 EVI	6,0	329	EVI < 0,33
Sentinel-2 osztályozott	6,3	341	sérült vegetáció
Terepi káradatok	6,1	328	kárgyakoriság > 60%

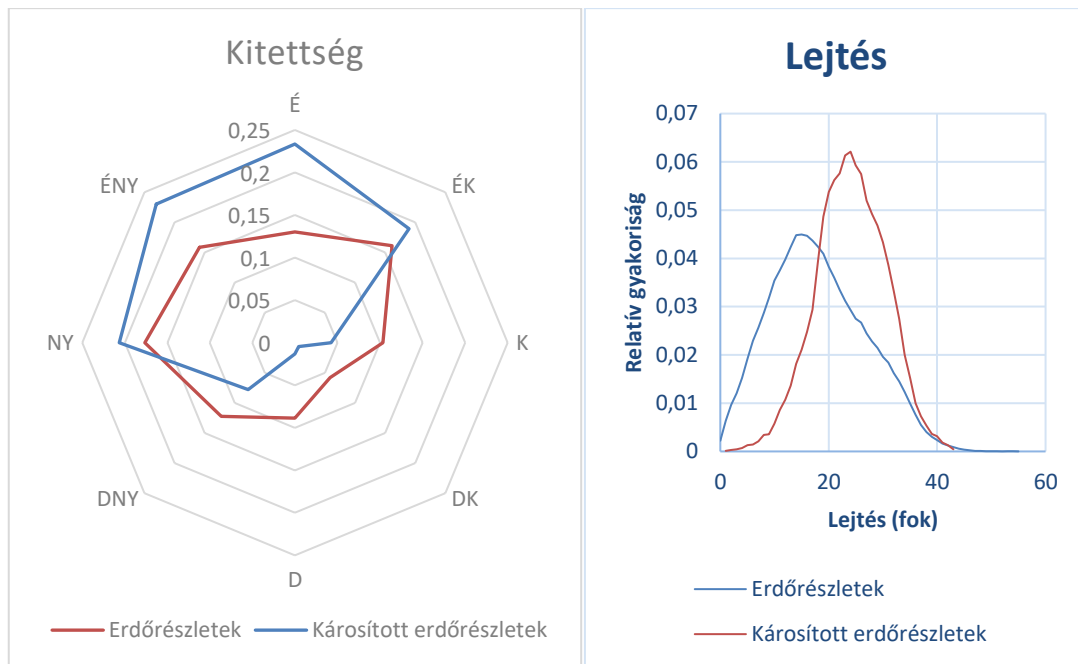
A Digitális Domborzatmodellből készült tengerszint-feletti magasság elemzését mutatja a következő ábra (8. ábra).



8. ábra: A tengerszint-feletti magasság és a károsított erdőrésztetek elhelyezkedése közti kapcsolat: (a) térképi, horizontális; és (b) a tszf. magassági, vertikális ábrázolásban

A gyakorisági eloszlás elemzése alapján a 420-676 m-es tszf. magasságú területeket érintett leginkább a káresemény (8. ábra), az eloszlás módusza 539 m-nél található. A 750 m-es tszf. magasság fölött már egyáltalán nem okozott kárt az áprilisi hó, a fennsíki területek épen maradtak. Ennek az a magyarázata, hogy a magas fekvésű területeken rövidebb a vegetációs időszak és a fák még nem voltak lombos állapotban, illetve ebben a magasságban a csapadék porhó formájában, nem pedig nedves hó formájában hullott. (Grédics, 2018.) A lejtés tekintetében 12°-36° fok közötti területek károsodtak leginkább, itt a módusz 24°-nál található. A kitettségek alapján pedig elsősorban az É-i és az ÉNY-i lejtők károsodtak, de még az ÉK-i és a NY-i kitettség esetében is gyakoriak voltak a káresemények (9. ábra).

A domborzatmodellek további, az űrfelvételekkel történő együttes elemzése is számos további lehetőséget takar, ez már azonban egy következő tanulmánynak lehet majd a témája.



9. ábra: A kitettség (a) és a Lejtés (b) a károsított és az összes erdőrészet esetében

**Köszönetnyilvánítás:** Köszönetünket fejezzük ki az Egererdő Zrt Szilvásváradai Erdészetének a terepi káradatok rendelkezésünkre bocsátásáért és a hasznos szakmai tapasztalatok megosztásáért.

#### Irodalomjegyzék

- BARKA, I. – LUKEŠ, P. – BUCHA, T. – HLÁSNY, T. – STREJČEK, R. – MLČOUŠEK, M. – KRÍSTEK, Š. (2018): Remote sensing-based forest health monitoring systems-case studies from Czechia and Slovakia. *Lesnícky Časopis*. 64. 259–275. 10.1515/forj-2017-0051.
- FLANAGAN, L. B. – L. A. WEVER, – P. J. CARLSON (2002): Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland, *Global Change Biol.*, 8, 599–615.
- GRÉDIC L. (2018): Diplomamunka. Hókárosított állományok fahasználatának vizsgálata az EGERERDŐ Zrt. Szilvásváradai Erdészetének területén. SOE EMK EMKI. 4.
- HLÁSNY, T. – BARKA, I. – SITKOVÁ, Z. – BUCHA, T. – KONÓPKA, M. – LUKAC, M. (2014): MODIS-based vegetation index has sufficient sensitivity to indicate stand-level intra-seasonal climatic stress in oak and beech forests. *Annals of Forest Science*. 72. 10.1007/s13595-014-0404-2. Lambert et al, 2013,
- JOHN, R. – CHEN, J. – OUYANG, Z. – XIAO, J. – BECKER, R. – SAMANTA, A. – GANGULY, S. – YUAN, W. – OCHIRBAT, B. (2013): Vegetation response to extreme climate events on the Mongolian Plateau from 2000 to 2010. *Environmental Research Letters*. 8. 035033. 10.1088/1748-9326/8/3/035033.
- JUSTICE C. O. ET AL., (1998): The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, no. 4, pp. 1228-1249, July 1998. doi: 10.1109/36.701075
- KOVÁCS F. – GULÁCSI A. (2018): MODIS EVI/NDVI alapú monitoring erdőterületeken 2000–2017 között a klímaváltozás földrajzi hatásának kimutatásában. *Geodézia és Kartográfia*. 19-27. 10.30921/GK.70.2018.5.3.
- MOLNÁR T. – BIRINYI M. – KIRÁLY G. – MÓRICZ N. – KOLTAY A. – HIRKA A. – CSÓKA GY. – SOMOGYI Z. (2019): Egy bükki hótörés távérzékelési elemzése MODIS és Sentinel-2 ürfelvételek alapján. *Geomatikai Közlemények* 22., 2019. (Megjelenés alatt)
- ZHU, Z. – FU, Y. – WOODCOCK, C. – OLOFSSON, P. – VOGELMANN, J. – HOLDEN, C. – WANG, M. – DAI, S. – YU, Y. (2016): Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Remote Sensing of Environment*. 185. 10.1016/j.rse.2016.03.036.