

SOPRONI EGYETEM

ERDŐMÉRNÖKI KAR

**ROTH GYULA ERDÉSZETI ÉS VADGAZDÁLKODÁSI
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

E7 GEOINFORMATIKA PROGRAM

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**ÚRFELVÉTEL IDŐSOROZATOK ALKALMAZÁSA A HAZAI
ERDŐMONITORINGBAN**



**SOPRONI
EGYETEM**

**ERDÉSZETI
TUDOMÁNYOS
INTÉZET**

Készítette: Molnár Tamás

Sopron

2023

DOKTORI ISKOLA: ROTH GYULA ERDÉSZETI ÉS
VADGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ: PROF. DR. FARAGÓ SÁNDOR

PROGRAM: E7 GEOINFORMATIKA

VEZETŐ: DR. CZIMBER KORNÉL

TÉMAVEZETŐK:

DR. KIRÁLY GÉZA (SOPRONI EGYETEM, ERDŐMÉRNÖKI KAR) ÉS

DR. SOMOGYI ZOLTÁN (SOPRONI EGYETEM, ERDÉSZETI
TUDOMÁNYOS INTÉZET)

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. Kutatási hipotézisek.....	6
4. Anyag és módszer	7
5. Eredmények és következtetések.....	9
6. Tézisek.....	12
7. Publikációk	14

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben megnőtt az erdőkárok gyakorisága Magyarországon. A klímaváltozás mind a biotikus, mint az abiotikus károk súlyosságát fokozza, így a szél, aszály, árvíz, rovarok, vírusok, gombák okozta károk száma és intenzitása megnőtt. Ezeket az erdőt ért bolygatásokat úrfelvételeken alapuló távérzékelési technológiákkal monitorozni tudjuk.

Az erdők fontossága és nagy kiterjedése miatt, illetve az egyre gyakoribb erdőkárok okán ez a módszer a terepi kárfelmérések kiegészítőjévé vált, hiszen nagypontosságú és gyakran frissülő adatot szolgáltat, sokszor ingyenesen. Jelenleg is elérhető számos űrprogram képi adatbázisa, melyek monitorozásra felhasználhatóak. A szisztematikus és automatizált monitorozás megvalósítható komplex erdőmonitoring rendszerekkel, melyek távérzékelte és terepi adatokat is felhasználnak.

A távérzékeléshez kapcsolódó technológia a felhőalapú informatika, ami erőforrásokat és szolgáltatásokat biztosít az interneten keresztül, mely lehetővé teszi monitoring rendszerek futtatását komoly informatikai infrastruktúra, illetve nagy méretű adatok letöltése és feltöltése nélkül, mely által a folyamat gyorsabb és rugalmasabb.

A nagyléptékű erdőmonitoring rendszerek ezen technológiákra támaszkodnak, hiszen az állományok gyakran szétszórtan helyezkednek el és az állapotváltozásukat is csak hosszabb időtávon lehet tanulmányozni. A műholdképek felhasználhatóak az erdő kiterjedésének és egészségi állapotváltozásának detektálására. A műholdképekből számított, fotoszintetikus aktiváson alapuló vegetációs (pl. Normalizált Vegetációs Index - NDVI) és vízindexekkel (Normalizált Víz

Index - NDWI) monitorozni lehet ezen változásokat és erdőkárokat. A biotikus és abiotus károkon túl, az emberi hatásra bekövetkező bolygatásokat is észlelhetjük az űrfelvételeken, melyek az erdőállomány tulajdonságait befolyásolják, pl. a koronazáródás csökkenését egy tarvágás vagy egy gyérítés után. Ezek a bolygatások ideiglenesen csökkentik az index értékeket, így ezek különválasztása fontos feladat. A monitoring rendszerbe beépített mesterséges intelligencián alapuló algoritmus képes észlelni, mind a természetes, mind az antropogén bolygatásokat. Bár a távérzékeléssel nem lehet a bolygotottság okát közvetlenül megmondani, elindíthat egy terepi felmérési igényt, ami már a konkrét okokat is azonosítani tudja.

Magyarországon 2017 óta működteti az Erdészeti Tudományos Intézet a Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszert (TEMRE), ami erdeink egészségi állapotát a környezetük és a klíma változásával összefüggésben monitorozza. A rendszer közepes térbeli felbontású (250x250 m) MODIS űrfelvétel idősorozatból készült 16 naponta frissülő, szűrt és erdőmaszkolt térképek használatán alapszik. Az erdő egészségi állapotát a Z NDVI (Standardizált Normalizált Vegetációs Index) írja le pixelenként, ami a aktuális és a hosszú távú (2000-2020) átlagon, illetve szóráson alapszik. A Z NDVI térképek rendszeresen frissülnek a honlapon, melyeket fafaj és termőhelyi térképek támogatnak.

A jövőben a rendszer lényeges továbbfejlesztésére lesz szükség. Ennek oka, hogy a jelenleg használt műholdak élettartama korlátozott és hogy az új Sentinel műholdakkal jelentősen növelhetjük a feldolgozott műholdképek mennyiségét, információ-tartalmát és pontosságát, tehát a

doktori értekezésem első célja kifejleszteni ezt az új, TEMRE-ben is alkalmazható módszertant.

Ezek a fejlesztések lehetővé teszik a nagyfelbontású, rendszeres időközönként frissített űrfelvételek használatát, melyeket a felhőalapú megoldások, a mesterséges intelligencia és a teljes hazai erdőállományra készült terepi adatbázisok is támogatnak, megvalósítása a PhD értekezés második célja. Továbbá a jövőben hasznos lenne ezt a rendszert egy új, európai léptékű erdőmonitoring rendszerbe is beépíteni.

2. Kutatási hipotézisek

1. Az űrfelvételek felhasználhatóak az erdők kiterjedésének és egészségi állapotának monitorozására. A távérzékelésen alapuló erdőmonitoring rendszerek képesek észlelni a változásokat és támogatni a terepi monitoringot. Ilyen rendszerek működnek Európában (Csehország, Norvégia, Németország) és szerte a világban (USA, Kanada, Ausztrália).
2. Az erdők egészségi állapota monitorozható Magyarországon a Sentinel-2 L2A, 10x10 m-es terepi felbontású felvételein, a 2017-2020 közötti időszakra készült indexeken.
3. Felhőmentes éves és havi űrfelvétel kompozitokat lehet előállítani a vegetációs időszakra (áprilistól novemberig), térbeli, időbeli és felhőszűréssel.
4. Kimutathatóak az erdő egészségi állapotában bekövetkezett évközi bolygatások, melyeket biotikus és abiotikus károk okoznak, a különböző vegetációs és

vízindexekkel, mint a Normalizált Vegetációs Indexel (NDVI), az NDVI változással (NDVlch), a standardizált NDVI-al (Z NDVI), a Továbbfejlesztett Vegetációs Indexel (EVI) és a Normalizált Víz Indexel (NDWI), melyek az éves/havi Sentinel-2 L2A kompozitokból számíthatóak.

5. Egy specifikus számítógépes program fejlesztésével új monitoring rendszer alakítható ki egész Magyarországra a Google Earth Engine felhőrendszerében, felhasználva a fent említett Sentinel-2 adatokat és az azokból számított indexeket.
6. A Copernicus erdőtérképek hatékonyan tudják támogatni a rendszert az új, űrfelvétel alapú erdőmaszkokkal, mind a mintaterületekre, mind egész Magyarországra. Ezek a rendszeresen frissített maszkok növelni tudják a monitoring pontosságát az erdőterületek pontos megjelölésével.
7. Az Országos Erdőkár Nyilvántartási Rendszer terepen gyűjtött adatai felhasználhatóak a távérzékelt adatok validálásra, összehasonlítva a sérült erdőrészeket, melyekre terepi és távérzékelt adat is elérhető.

4. Anyag és módszer

A PhD értekezésemben három mintaterület vizsgáltam: a Debreceni Nagyerdőt, a Sárvári Farkas-erdőt és a Központi-Bükköt. Ezek a területek különböznek a méretükben (1092-5665-49152 ha), domborzatukban (síkvidéki ill. hegyvidéki), elhelyezkedésükben (az ország keleti, nyugati és északi részein vannak), és tipikus növénytakarásaikban is (kocsányos-tölgyes (*Convallario-Quercetum roboris*),

gyertyános- kocsányos tölgyes (*Quercus robur-Carpinetum*), szubmontán bükkös (*Melittio-Fagetum*)).

Ezen területek vizsgálatára az Európai Űrügynökség Copernicus programjának Sentinel-2 műholdjait használtam fel. Ezek a műholdak gyakori, (2-5-napos) visszatérési idővel és nagy, 10x10 m-es terepi felbontásban pásztázzák a Föld felszínét.

A Sentinel-2 szatellitképek feldolgozására a Google Earth Engine (GEE) felhőrendszerét használtam, melynek interaktív felülete nagy mennyiségű térinformatikai adat feldolgozására lett megalkotva. A többcélú alkalmazás magába foglalja a felszín monitorozását: a felszínborítás és a földhasználat változásait is nyomon lehet követni.

A GEE-ben a program egy virtuális felhőben fut, ami nem igényli a nagy mennyiségű adat letöltését és az ahhoz szükséges informatikai infrastruktúrát. Az általam írt program egy új monitoring rendszer alapja lehet, mely olyan módszertani elemekből épül fel, melyekkel elérhetőek a monitoring céljai.

Az ESA Sentinel-2 MSI L2A (felszíni reflektancia) űrfelvétel mozaikokat kérdeztem le a GEE adatbázisából, melyekből kompozitokat készítettem a 2017-2020 közötti vegetációs időszakokra. Minden felvételen használtam felhősűrűséget és erdőmaszkolást, hogy a felhős pixeleket (metaadat és quality band alapján) és a mintaterületen (három terület és Magyarország) kívüli területeket kiszűrjem, hogy csak a valóban erdővel borított területek maradjanak meg, a víz, út, épület, nyiladék, csemetekert, stb. ne. Hasonlóképpen az időablakot is beállítottam a vegetációs időszakra (áprilistól október végéig), amikor az erdők aktívan fotoszintetizálnak.

A maszkolt és szűrt kompozitokból vegetációs (VI) és vízindexeket számítottam minden évre, pl. NDVI-t, NDWI -t és EVI-t. Változástérképeket is készítettem az állapottérképekből, melyek két év különbségét mutatják kivonással, illetve standardizációval, az NDVI esetében ezek az NDVI változás és a Z NDVI.

A GEE számítási korlátai miatt adat-aggregációra is szükség volt az indexek számítása során, amit reduktorokkal (átlag, középérték, átlagtól való eltérés) oldottam meg, mielőtt megjelenítettem és exportáltam volna a térképeket. Valószínűs (RGB) kompozitokat is készítettem.

A teljes 2017-2020 közötti idősort felhasználva NDVI grafikonokat állítottam elő, szintén medián reduktorral. Ezekon a görbéken a fő fafajok adatsorai láthatóak, és ezeket exportáltam ki a Google Drive-be CSV formátumban, illetve georeferált TIFF formátumban a képek esetében, melyek további offline elemzési és még részletesebb megjelenítési lehetőséget rejtenek magukban.

A kiexportált VI térképeket a terepi kárbejelentőkkel vettem össze pixel szinten, ahol az erdőkárok a terület (ha), kárgyakoriság (0-100%) és intenzitás (0-100%) alapján vizsgáltam. A kárgyakoriság az adott fafaj sérült egyedeinek számát mutatja az összes egyedhez képest az adott erdőrészletben, százalékban kifejezve. Míg a kárerély a kár súlyosságát jelzi, az egészséges állapottól való eltérés mértékével, szintén százalékban megadva.

5. Eredmények és következtetések

A GEE-alapú erdőkármonitoring rendszer űrfelvételekből készült vegetációs index térképek és a terepi kárbejelentők alkalmasnak bizonyultak az erdők egészségi állapotának értékelésére.

A **Debreceni Nagyerdőn** a távérzékelési módszer 94,3%-os pontosságot mutatott képpont szinten, amikor a terepi kárbejelentőket az újraosztályozott Z NDVI értékekkel vetettem össze. A Z NDVI térképek elemésével kimutattam, hogy a 2017-es bázisév kompozitja alapvetően magas Z NDVI értékeket mutatott, egészséges növényzettel, bár látszottak a tarvágások és a gyéren erdősült részletek is. 2018-ban általános Z NDVI csökkenés volt tapasztalható az erdő nagy részén a szárazság és a fagykár miatt. Míg 2019-ben és 2020-ban többnyire pozitív anomáliákat tapasztalhattunk a térképeken a véghasználat utáni felújítás és a gyérebberdősült területek regenerációja lévén. A többnyire pozitív változások ellenére, negatívakat is észleltem, 2020-ban az erdő északkeleti része kevésbé volt egészséges, alacsonyabb Z NDVI értékeket mutatott, ahol egy nagyobb kocsányos tölgyes tömb van, ami közismerten szárazság-stresszről szenved már évtizedek óta.

A Random Forest (RF) gépi tanulási módszer felhőrendszerben való alkalmazásával kimutattam a különböző főfafajok elterjedését 82,1%-os pontossággal, amikor a távérzékelte eredményeket erdőrészlet szinte hasonlítottam össze az adattári adatokkal, melyek tartalmazzák a faj adatokat is.

A **Farkas-erdőre** készült kompozitok érdekes eredményeket adtak önmagukban és összehasonlításban is, 2017 és 2020 között. Elmondható a 2017-es Z NDVI térképek elemzése kapcsán, hogy bár számos erdőrészletben tapasztaltam alacsonyabb fotoszintézist főként a jégkárak

miatt, többnyire egészséges képet mutatott az erdő. A sérült erdőrészek javulást mutattak 2018-ban és 2019-ben, amit magasabb index értékek jeleztek, ugyanakkor más részek az aszály miatt pont csökkenő vitalitást mutattak. 2019-ben újfent jelentkeztek erdőkárok, ami index érték csökkenéssel is járt. Ez 2020-ban is látható volt, bár kisebb intenzitással, ugyanakkor új károsodások is megjelentek.

A **Központi-Bükkben** a legsúlyosabb erdőkárokat a hótörés és széldöntés okozta 2017 áprilisában, de májusban, júniusban illetve 2018 és 2019 áprilisában is hasonló károkat jelentettek be. Míg az aszály 2017 és 2018 augusztusában és szeptemberében, illetve 2019 és 2020 szeptemberében és októberében jelentkezett.

A **GEE-alapú módszerrel** készült térképek részbeli egyezést mutattak a korábbi tanulmányainkkal, a sérülés 2017-ben látható volt az új térképeken is, bár kisebb kiterjedésben és mértékben. Az új módszer szerint 0,56%-a sérült a Központi-Bükknek, ahol a Z NDVI -0,5 alatt volt. Ez hasonló a kárbejelentőkben regisztráltakhoz, de más módszerekkel korábban 1,8-2,2%-os sérülést kaptunk eredményként. Ezeknek a különbségeknek több oka is volt, a Sentinel-2 finomabb felbontása a MODIS-hoz képest, a vizsgálati időszak csak 4 év a korábbi 20 évhez képest, ami a Z NDVI számításakor fontos, ahol a hosszú távú átlag az egyik fő tényező.

Az **eredményeim**et mások tanulmányaival összevetve elmondható, hogy nagy változatosságot lehet tapasztalni: a műholdtól, mintaterülettől és fafajtól függően. Még Közép-Európából is csak elfogadható eredményeket ($R^2=0,5-0,6$) jelentettek hasonló termőhelyi adottságú helyekről származó, Sentinel-2 felvételekből számolt hagyományos indexeken

alapuló német, lengyel, cseh, szlovák, stb. tanulmányok, melyek erdőkár felméréssel foglalkoztak.

6. Tézisek

1. Az erdő egészségi állapotát sikeresen monitoroztam a nagyfelbontású, Sentinel-2 űrfelvétel idősorozatokon 2017 és 2020 között, három hazai mintaterületen (Nagyerdő, Farkas-erdő, Központi-Bükk), a Google Earth Engine felhőrendszerében. A mintaterületek eltértek elhelyezkedésükben (kelet, nyugat és észak), domborzatukban (sík és hegyvidék), méretükben (1092-5665-49152 ha) és állományalkotó fafajösszetételükben (gyöngyvirágos-tölgyes, gyertyános- kocsánytalan tölgyes, bükkös).
2. Az erdőkárokat vegetációs és vízindex (NDVI, Z NDVI, NDWI, EVI) térképek és grafikonok segítségével mutattam ki, melyeket közel felhőmentes, Sentinel-2 kompozitokból számítottam a teljes vegetációs időszakra (április-október). Mind az abiotikus (széldöntés, hótörés, jégkár, aszály), mind a biotikus (fenyőpusztulás, rovarrágás) károk negatív változásokat okozott az index értékekben. A Z NDVI esetében $-0,5$ lett az a határérték, amivel megegyező vagy kisebb értékek sérülésre utalnak, míg a terepi adatoknál ez a legalább 30%-os értékeket jelentette.
3. A távérzékelte erdőkárokat rendszeresen gyűjtött, terepi, erdővédelmi kárbejelentő lapokkal validáltam, melyek a kár-területen, -erélyen és -gyakoriságon alapultak. A műholdképekből számított indexértékeket ezekkel a paraméterekkel vettem össze, beleérve a káránynt is. A

kárárány egy új adattípus, ami a károsodott erdőterület és a teljes erdőterület arányán alapszik. Mindhárom mintaterületet megvizsgálva a kárgyakoriság bizonyult a legpontosabbnak átlagosan 78%-kal, ezt követte a kárárány 46%-kal, majd a kárerély (30%-kal). Az egyes mintaterületeket illetően a Nagyerdő esetében 94%-os teljes pontosságot sikerült elérnem a négy év alatt átlagosan, míg a Farkas-erdő esetében 80%-ot és a Központi-Bükk esetében 61%-ot.

4. A Google Earth Engine alapú módszer alkalmas országos erdőmonitoring rendszer futtatására. A Sentinel-2 felvételeket sikeresen teszteltem országos szinten a Copernicus erdőtérképekkel kiegészítve. A műholdkép alapú erdőtérképek naprakészebbek, de kiterjedésükben átlagosan 1-20%-al eltértek az Országos Erdőállomány Adattári adatokból készült térképtől vagy a Nemzeti Ökoszisztéma térképtől mintaterülettől és országos szinttől függően. Az eltérés okai között szerepel, hogy különböző módszerrel készültek, eltér a formátumuk (vektor ill. raszter, 10x10 ill. 20x20 m-es felbontás) és a készítési dátumuk is. Az erdő definíciója is eltér, illetve a erdőmaszkolási módszer is.
5. A Google Earth Engine rendszerben alkalmazható a gépi tanulás a fafajok osztályozására. A Random Forest módszerrel a fajösszetétel pixelszinten térképezhető a Sentinel-2 kompozitokon és validálható terepi adatokkal. A Nagyerdő esetében 82%-os teljes pontosságot ért el az osztályozás a négy főfafaj (csertölg, vörös tölgy, erdeifenyő és fehér akác) esetében.
6. Az új monitoring módszer integrálható a már működő TEMRE rendszerbe vagy a Földmegfigyelési Információs Rendszer Erdészeti Szakrendszerébe, mivel mindkét

rendszer használ Sentinel űrfelvételeket és vegetációs, illetve vízindexeket.

7. Publikációk

Lektorált folyóiratcikkek:

- Somogyi, Z., Koltay, A., Molnár, T., Móricz, N. (2018): Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszer (TEMRE). Erdészeti Lapok CLIII. évf., 2018. szeptemberi szám, p. 277-279.
- Barka, I., Bucha, T., Molnár, T., Móricz, N., Somogyi, Z., Koreň, M. (2019): Suitability of MODIS-based NDVI index for forest monitoring and its seasonal applications in Central Europe. Central European Forestry Journal. 66. 206-217. DOI: 10.2478/for-2019-0020.
- Szabó, A., Bolla, B., Molnár, T., Somogyi, Z. (2019): Az erdők vízháztartásával kapcsolatos monitoring rendszer és annak fejlesztési lehetőségei a Kiskunságban. Erdészeti Lapok, vol. 154, no. 10, p. 320, 2019.
- Molnár, T., Birinyi, M., Király, G., Móricz, N., Koltay, A., Hirka, A., Csóka, Gy., Somogyi, Z. (2020): Egy bükki hótörés távérzékelési elemzése MODIS és Sentinel-2 műholdképek alapján. Geomatikai Közlemények XXII. (2020). Sopron.
- Molnár T., Király G. (2021): A Sárvári Farkas-erdő Sentinel-2 űrfelvétel alapú erdőmonitoring terve. Erdészettudományi Közlemények, 11(2): 83-94. DOI: 10.17164/EK.2021.009
- Molnár, T., Király, G. (2022): Comparative analysis of ice break damage in 2014 in two valleys of Börzsöny Mountains in Hungary based on Airborne Laser Scanning. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, Vol. 18, Nr. 2 (2022) 103–117, DOI: <https://doi.org/10.37045/aslh-2022-0007>
- Molnár, T., Móricz, N., Borovics, A. (2022): A Magyarország erdeit 2022 nyarán sújtó aszály távérzékelési felmérése. Erdészeti Lapok CLVII: 10. 330-333, 4 p.
- Bolla, B., Molnár, T., Horváth, B., Szabó, A. (2023): Erdők egy ingatag világban. Erdészeti Lapok 158: 1 pp. 10-11., 2 p.

Molnár, T., Király, G. (2023): A satellite-based forest monitoring system based on Sentinel-2 imagery, Google Earth Engine cloud computing, and Machine Learning. iForest. (bírálat alatt)

Konferencia kiadványban megjelent cikkek:

Molnár, T. (2017): A modern finn erdőgazdálkodás az erdőosztályozás megalkotásától a teljes gépesítettség és a térinformatikáig. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap XXIII. Tudományos eredmények a gyakorlatban, 184-190., ISBN 978-615-80594-1-1

Molnár, T. (2018): A térinformatika alkalmazása az erdőállapot monitoringban és a klímaváltozás kutatásában. NAIK Kutatói utánpótlást elősegítő program II. szakmai konferenciája, 88-93., ISBN 978-615-5748-09-7

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, 2018. ISBN 978-963-318-723-4

Molnár, T., Koltay, A., Móricz, N., Somogyi, Z. (2018): Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszer (TEMRE). Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap 2018. Tudományos eredmények a gyakorlatban. Lakitelek, 2018.

Molnár, T., Birinyi, M., Somogyi, Z., Király, G. (2019): Bükki erdőkárok felmérése és elemzése űrfelvételek alapján IN Facskó, F., Király, G. (szerk.) (2019): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia – a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonatai. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. pp 20. ISBN 978-963-334-320-3.

Molnár, T., Birinyi, M., Somogyi, Z., Király, G. (2020): A 2017. áprilisi bükki hókárok felmérése és elemzése űrfelvételek alapján. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia. Sopron.

- Molnár, T., Somogyi, Z., Király, G. (2021): A Debreceni Nagyerdő Sentinel-2 űrfelvételeken alapuló erdőmonitoring rendszer terve. IN Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: theory meets practice in GIS: Debreceni Egyetem, XII. Térinformatika Konferencia és Szakkiállítás. Szerk. Molnár Vanda Éva. Debrecen, 2021. ISBN 978-963-318-977-1
- Molnár, T., Király, G. (2022): A Soproni-hegységet 2017-2020 között sújtó szűkárók távérzékelési felmérése Sentinel-2 műholdképeken. IN Erdészeti Tudományos Konferencia Sopron. Szerk. Czimer Kornél. Sopron, 2022.
- Szabó, O., Molnár, T., Németh, T. M., Illés, G. (2022): Agrárerdészeti rendszer megalapozása digitális domborzatmodell segítségével. IN Erdészeti Tudományos Konferencia Sopron. Szerk. Czimer Kornél. Sopron, 2022.
- Cseke, K., Ábri, T., Köbölkuti, Z. A., Tóth, E. Gy., Benke, A., Molnár, T., Porcsin, A., Keserű, Zs. (2022): Új kutatási irányok a hazai akácnevesítésben. In: Polgár, Zsolt; Karsai, Ildikó; Bóna, Lajos; Matuz, János; Taller, János (szerk.). Keszthely, Magyarország: Magyar Növénynevesítők Egyesülete (2022) 122 p. p. 98, 1 p.
- Molnár, T., Király, G., Solberg, S. (2022): European satellite-based forest monitoring systems. ForestSAT 2022, Berlin, Németország

Könyv, könyvrészlet:

- Molnár, T., Somogyi, Z. (2019): A távérzékelés alkalmazása az erdőgazdálkodásban és a precíziós gazdálkodásban. IN Gyuricza, Cs., Borovics, A. (szerk.) (2019): Lendületben az agrárinnováció. Mezőgazda Kiadó, Gödöllő, 2019, pp. 111-119, ISBN 9786155748134.

Egyéb folyóiratok

- Somogyi, N., Molnár, T., Borovics, A. (2019): Fenntartható erdőgazdálkodás Francia-Guyanában. FATÁJ Online. Online: http://www.fataj.hu/2019/06/192/201906192_Francia-Guyana.php

Szöbeli előadások:

- 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, 2018. ISBN 978-963-318-723-4
- Somogyi, Z., Koltay, A., Molnár, T., Móricz, N. (2018): Remote sensing-based Forest health monitoring system in Hungary. 2018.9.4. Zólyom, Szlovák Nemzeti Erdészeti Központ.
- Molnár, T., Somogyi, Z. (2018): A távérzékelés alkalmazása az erdőmonitoringban és a precíziós mezőgazdaságban. NAIK Kutatói Nap, 2018.11.14. Erdészeti Tudományos Intézet, Szombathely.
- Molnár, T., Koltay, A., Móricz, N., Somogyi, Z. (2018): Távérzékelésen alapuló Erdőállapot Monitoring Rendszer (TEMRE). Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap 2018. Tudományos eredmények a gyakorlatban. Lakitelek, 2018.11.13.
- Molnár, T., Birinyi, M., Somogyi, Z., Király, G. (2018): Egy bükki hőtörés távérzékelési elemzése MODIS és Sentinel-2 űrfelvételek alapján. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia. Sopron. 2018.11.8
- Molnár, T., Koltay, A., Móricz, N., Somogyi, Z. (2019): Remote sensing Based Forest health monitoring system in Hungary. UMR EcoFoG szeminárium. Kourou, Francia Guyana 2019.2.4.
- Molnár, T., Birinyi, M., Somogyi, Z., Király, G. (2018): Bükki erdőkárok felmérése és elemzése űrfelvételek alapján. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karának VII. Kari Tudományos Konferenciája, Sopron, 2019.2.12
- Molnár, T., Király, G., Somogyi, Z. (2019): Műholdak szolgáltatott adatok használata a gyakorlatban. Országos Erdészeti Egyesület Szombathelyi Helyi Csoportjának rendezvénye. Szombathelyi Erdészet, Szombathely. 2019.3.28.

- Molnár, T., Koltay, A., Móricz, N., Somogyi, Z. (2019): Hungarian Remote sensing Based Forest health monitoring system. Remote sensing seminar of CzechGlobe. Brno, Csehország, 2019.10.8.
- Somogyi, Z., Molnár, T., Koltay, A., Móricz, N. (2019): Budapest Erdőállapot-monitoring távérzékelési módszerekkel. [EMMRE 30 konferencia, Agrárminisztérium, Budapest, 2019.11.5.
- Molnár, T., Somogyi, Z., Móricz, N., Király, G. (2019): Távérzékelésen alapuló erdőállapot monitoring rendszer. Fény-Tér-Kép konferencia, Tihany, 2019.11.15.
- Molnár, T., Somogyi, Z., Móricz, N., Király, G. (2020): forest health and remote sensing in Hungary. NIBIO seminar, Ås, Norvégia, 2020.8.19
- Molnár, T., Solberg, S. (2020): Forest damage monitoring on Sentinel-2 images in Norway and Hungary. NIBIO seminar, Ås, Norvégia, 2020.10.28.
- Molnár, T. (2021): Távérzékelésen alapuló erdőmonitoring rendszerek. Debreceni Erdészet, Debrecen, 2021.1.22
- Molnár, T. (2021): A Debreceni Nagyerdő távérzékelési erdőmonitoring terve. Debreceni Erdészet, Debrecen, Debrecen 2021.1.29
- Molnár, T., Móricz, N., Somogyi, Z. (2019): A Sentinel-2 alapú erdőállapotváltozás monitoring. ÉCST záró rendezvény, Budapest (online), 2021.5.26
- Molnár, T., Somogyi, Z., Király, G. (2021): A Debreceni Nagyerdő Sentinel-2 űrfelvételeken alapuló erdőmonitoring rendszer terve. Debreceni Egyetem, XII. Térinformatika Konferencia és Szakkiállítás. Debrecen, 2021.11.11.
- Molnár, T., Király, G. (2022): A Soproni-hegység 2017-2020 között sújtó szűkárók távérzékelési felmérése Sentinel-2 műholdképeken. Erdészeti Tudományos Konferencia. Sopron, 2022.2.10.
- Szabó, O., Molnár, T., Németh, T. M., Illés, G. (2022): Agrárerdészeti rendszer megalapozása digitális domborzatmodell segítségével. [Agroforestry system modelling based on digital terrain model]. Erdészeti Tudományos Konferencia. Sopron, 2022.2.10.

- Molnár, T. (2022): A Debreceni Nagyerdő műholdkép és mesterséges intelligencia alapú erdőmonitoring rendszer terve. Debreceni Erdészet, Debrecen, 2022.02.24.
- Molnár, T., Solberg, S., Király, G. (2022): European satellite-based forest health monitoring systems. ForestSAT 2022 konference, Berlin, Németország, 31.08.2022
- Molnár, T., Király, G. (2023): Felhőszolgáltatásokon alapuló távérzékelési erdőmonitoring rendszer. I. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2022.02.24

Poszter prezentációk:

- Molnár, T. (2017): A térinformatika alkalmazása az erdőállapot monitoringban és a klímaváltozás kutatásában. [Application of geoinformatics in forest state and climate change monitoring]. NAIK fiatal kutatói napok II. szakmai konferencia, Szeged 2017.12.14-15.
- Bolla, B., Szabó, A., Molnár, T., Horváth, B. (2022): Have heavy impact of the local forest stands on water crisis in Hungarian sandy drylands? IN All-IUFRO Conference: Forests in a Volatile World – Global Collaboration to Sustain Forests and Their Societal Benefits. Bécs, Ausztria.