

- ✦ MODIS adatok alkalmazása Magyarországon
- ✦ Idősoros vegetációtérképek az éghajlatváltozás kutatásában
- ✦ Invazív növényfajok feltérképezése légi távérzékeléssel
- ✦ Hiperspektrális légi felmérés a vízminőség ellenőrzéséhez



A Távérzékelési technológiák és térinformatika a szolgáltatók és felhasználók folyóirata.  
Megjelenik évente két alkalommal.

Kiadja az **Eötvös Loránd Tudományegyetem Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszéke**  
(1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A Postacím: 1518 Budapest, Pf. 32.)  
és a **Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytani és  
Ökofiziológiai Intézete** (2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.)

**HU ISSN 2062-8617**

**Alapító főszerkesztő:**

Bakó Gábor

**Szerkesztők:**

Bartha Csaba	Lelleiné Kovács Eszter
Eiselt Zoltán	Licskó Béla
Kardeván Péter	Nagy János
Kovács Gábor	Szerdahelyi Tibor
Kristóf Dániel	Zentai László

**Hirdetésszervezés:**

Feldhoffer Zsófia - 06 70 327 4376

**További munkatársak:**

Mészáros János, Molnár Zsolt, Tóth Zsuzsanna

**Design:**

Göttinger Erika

**Szerkesztőség:**

2310, Szigetszentmiklós, Csokonai köz 1/1.

**Telefon:** 06 70 615 7223

**E-mail:** [magazin@rsgis.hu](mailto:magazin@rsgis.hu)

[www.rsgis.hu](http://www.rsgis.hu)

Címlapon: A Derült Kárpát-medence és térsége a tavasz kezdetén - (Aqua, 2014.03.13. 11:31) (Az ELTE TTK vevőállomása által rögzített felvétel a <http://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/modis.html> oldalról származik.)

[www.rsgis.hu](http://www.rsgis.hu)



## **Tartalom**

**5. Közvetlen vételű MODIS adatok alkalmazásai Magyarország térségére - Kern Anikó, Bognár Péter, Pásztor Szilárd, Timár Gábor, Lichtenberger János, Ferencz Csaba, Steinbach Péter, Ferencz Orsolya**

**14. Idősoros vegetációtérképek alkalmazási lehetőségei az éghajlatváltozás kutatásaiban - Soós Gábor, Martin Gizella, Kozma-Bognár Veronika, Anda Angéla, Szeglet Péter, Pomogyi Piroska**

**22. Invazív növényfajok feltérképezése nagyfelbontású légi távérzékeléssel – Huber Nóra**

**34. Klasszikus vízkémiai paraméterek módszertani vizsgálatának előkészítése hiperspektrális légi felméréssel felszíni víztestekben – László Gábor**



# Közvetlen vételű MODIS adatok alkalmazásai Magyarország térségére

**Kern Anikó<sup>1,\*</sup>, Bognár Péter<sup>2</sup>, Pásztor Szilárd<sup>3</sup>, Timár Gábor<sup>4</sup>, Lichtenberger János<sup>5</sup>,  
Ferencz Csaba<sup>6</sup>, Steinbach Péter<sup>7</sup>, Ferencz Orsolya<sup>8</sup>**

- <sup>1</sup> Tudományos munkatárs, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; anikoc@nimbus.elte.hu
- <sup>2</sup> Tudományos munkatárs, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; peti@sas.elte.hu
- <sup>3</sup> Tudományos munkatárs, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; szilard@sas.elte.hu
- <sup>4</sup> Tanszékvezető egyetemi docens, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék; timar@caesar.elte.hu
- <sup>5</sup> Kutató professzor, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; lityi@sas.elte.hu
- <sup>6</sup> Egyetemi magántanár, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; csaba@sas.elte.hu
- <sup>7</sup> Tudományos munkatárs, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; steinb@sas.elte.hu
- <sup>8</sup> Tudományos főmunkatárs, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék – Űrkutató Csoport; orsi@sas.elte.hu

**Abstract** — The Eötvös Loránd University (ELU) operates a polar orbiting satellite receiving station in Budapest since 2002. This station receives Earth observation data from polar orbiting satellites including MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Direct Broadcast (DB) data stream from satellites Terra and Aqua. The received DB MODIS data are processed real-time automatically to obtain several products mainly about the atmosphere, and non real-time investigating various features of the land surface and the atmosphere as well. Processing of the MODIS data is based on freely distributed software packages (created by the Space Science and Engineering Center (SSEC) at the University of Wisconsin Madison) supporting any DB ground station in meteorological and environmental researches. In the present overview we give a short description of the different applications at the ELU using the received MODIS data.

**Index Terms:** Remote Sensing, Direct Broadcast, MODIS data, Vegetation, Meteorology

**Kulcsszavak:** Műholdas távérzékelés, Közvetlen adatvétel, MODIS adatok, Vegetáció, Meteorológia

## 1. Bevezetés

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Űrkutató Csoportja 2002-ben telepítette műholdvevő-állomását Budapesten (Ferencz et al., 2003). Az állomás (1. ábra) jelenleg kvázipoláris és geostacionárius meteorológiai műholdak és a felsőlégkör vizsgálatára létrehozott CHIBIS műhold adatait egyaránt veszi. A meteorológiai műholdak adatainak vétele közül az állomást az amerikai Terra és Aqua műholdak MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) szenzor multispektrális adatainak közvetlen vétele (Direct Broadcast, DB) teszi különlegessé és a térségben egyedülállóvá (Timár et al., 2006), immár lassan 10 éve. Jelen írásunkban a MODIS adatok különböző valós idejű feldolgozását és a hosszabb adatsorokra épülő utólagos alkalmazásait mutatjuk be.



1. ábra. Az ELTE műholdvevő-állomása az Egyetem Északi-tömbjének tetején, Lágymányoson

## 2. A MODIS szenzor

A NASA EOS űrbázisú földmegfigyelő rendszer első képviselőjét az EOS-AM1/Terra (továbbiakban Terra) műholdat 1999 decemberében állították Föld körüli pályára. Fedélzetén öt, a tudomány akkori fejlettségének megfelelő szenzor (ASTER, CERES, MISR, MODIS és MOPITT) kapott helyet, melyek méréseire és azok pontosságára korábban űrbázisú eszköz esetén még nem volt példa. Ezzel lehetővé vált az óceánok, a szárazföld, a légkör és a bioszféra közötti kapcsolatok vizsgálata, mely kiterjed mind a természetes, mind az antropogén globális klíma- és környezetváltozásra is. A Terra fedélzetén lévő műszerek méréseit kiegészítve került felbocsátásra 2002 májusában az EOS következő műholdja, az EOS-PM1/Aqua (továbbiakban Aqua). Szenzorai (AIRS, AMSU-A, AMSR-E, CERES, MODIS, HSB) többségében különböznek a Terrától, azonban kettő (köztük a MODIS) a Terrán is megtalálható. A Terra és az Aqua műholdak pályája 98,2023°-os inklinációjú kvázipoláris napszinkron pálya ~705 km magasan a földfelszín felett. Ebből következően ~98,7 percenként kerülnek meg a Földet, adott térség fölött legalább naponta kétszer áthaladnak, és 16 naponként pontosan ugyanazon a pályán haladnak végig. A Kárpát-medence felett napközben a Terra megközelítőleg 9:25 UTC és 10:10 UTC között, míg az Aqua 11:25 UTC és 12:10 UTC között halad át.

Az amerikai NASA GSFC által létrehozott MODIS egy 36 spektrális mérési csatornával kialakított kétoldali forgótükros sugármérő műszer, mely méréseit mintegy 2330 km széles területről folyamatosan végzi 0,412 µm és 14,235 µm között (King et al., 1992). Kettő csatorna 250 m × 250 m, 5 csatorna 500 m × 500 m, a maradék 29 csatorna pedig 1000 m × 1000 m horizontális térbeli felbontással rendelkezik a nadírban. Tekintve, hogy a hordozó műholdak X-sávú közvetlen adattovábbító rendszerrel is rendelkeznek, mely megfelelő vevőberendezés esetén lehetőséget biztosít a MODIS adatok közvetlen vételére is, ezért adott földfelszíni pontban az aktuálisan mért adatok szinte azonnal (real-time) elérhetők. A műszerrel szemben támasztott igények egy nagy sugárzási érzékenységu, precíz georegisztrálású és magas kalibrációs pontosságú szenzor létrejöttéhez vezettek, mely számos kihívást keltett életre. Fedélzeti kalibrációs eljárása az egyik legösszetettebb és legszélesebb körű, mely valaha a műholdas távérzékelés történelme során működött.

A szenzor tervezett élettartama 6 év volt, melyet már mind a Terra/MODIS, mind az Aqua/MODIS túlteljesített. Jelenlegi műszaki állapotukat tekintve optimális esetben még legalább 2020-ig üzemképesek lesznek.

## 3. A vett MODIS adatok valós idejű alkalmazásai

A vevőállomás által vett MODIS adatok feldolgozásának első lépéséül a teljesen nyers, műholdról érkezett mérési adatáramot kell kalibrálni és georeferálni fizikai mennyiségekké, radianciákká és földrajzi koordinátákká alakítani. Az előfeldolgozás eredményeként létrejövő ún. 1B szintű MODIS adatok a kiindulási adatai a különböző alkalmazásoknak, melyeket a következőkben részletezünk.

1. A távérzékelési adatok legalapvetőbb vizsgálati módszere a vizuális elemzés, melyhez látványos, ún. valós színezésű képeket készítenek. A 250 méteres horizontális felbontású MODIS képeket az teszi élethűvé, hogy az RGB (Red-Green-Blue) színkeveréshez szükséges három csatorna ténylegesen beleesik a spektrum vörös, zöld és kék tartományaiiba (Gumley et al., 2003). Ráadásul ezeken a képeken a légkör homályosító hatásából a Rayleigh szóródás eltávolításra kerül, mely így még valóságosabb megjelenést kölcsönöz a képeknek. A nagy aeroszol töltöttségű

területek továbbra is láthatók maradnak. Az így készített valós színezésű műholdképekből folyamatosan válogatva létrehoztunk egy, az Interneten elérhető galériát (http://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/modis.html), mely 2004 óta mutatja be a legérdekesebb jelenségeket vagy pusztán csak a leglátványosabb műholdképeket Európa térségében. A korábbi évek további nagysikerű felhasználási területe volt, hogy ezekből a valós színezésű műholdképekből 3-4 közismert Internetes hírportálon is (pl. Origo, National Geographic Magyarország, Úrvilág) heti rendszerességgel mutattunk be érdekes és látványos aktuális felvételeket (összesen több mint 700-at), részletes magyarázó szöveg kíséretében. A 2. ábrán ilyen valós színezéssel megjelenített képeken láthatjuk a Balaton térségét 2010 telén és 2011 késő tavaszán.



2. ábra. Balaton télen és késő tavasszal valós színezésű MODIS-képeken (a Terra/MODIS felvételei rendre 2010.11.27-én és 2011.05.06-én készültek)

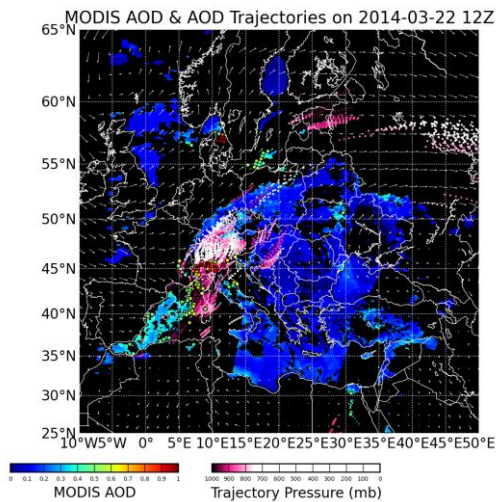
2. A valós színezésű MODIS képek a sokak által jól ismert térinformatikai szoftver, a Google Earth számára is kompatibilis formátumba hozhatók, az ún. KML (Keyhole Markup Language) nyelv segítségével (Gumley és Evan, 2009). Akár egy áthaladást is, de akár adott nap több áthaladásának szintézisét is tanulmányozhatjuk ily módon, ahol az aktuális légköri és felszíni állapotokat szintén 250 méteres horizontális felbontású valós színezésű képeken keresztül szemlélhetjük meg. A teljes Európát lefedő, 250 méteres felbontású georeferált, valós színezésű MODIS kompozitkép naponta elérhető külön a Terra és külön az Aqua műholdak vett MODIS adataira. Ezt szemlélteti a 3. ábra, ahol két egymást követő Aqua áthaladás MODIS adatai együttesen kerültek megjelenítésre a Google Earth szoftverrel.



3. ábra. Aktuális adatok a Google Earth megjelenítésében: Európa Aqua/MODIS adatok alapján 2014.03.13-án

3. A vizuális kiértékelésen túl számszerű meteorológiai információk kinyerésére is mód van. Ennek megfelelően számos, a légkörre vonatkozó származtatott mennyiségeket állítunk elő az ún. IMAPP (International MODIS and AIRS Processing Package) szoftver segítségével (Strabala et al., 2004, 2003; Huang et al., 2004). A származtatott 2-es szintű meteorológiai produktumok a teljesség igénye nélkül az alábbiak: aeroszol optikai mélység több hullámhosszra, összetett felhőmaszk, a felhőtető hőmérséklete és nyomása, a felhőzet effektív emisszivitása és optikai vastagsága, teljes kihullható vízgőz, stabilitási indexek, függőleges légoszlop ózontartalma, hőmérsékleti és nedvességi profilok, vízfelszínek hőmérséklete, stb.

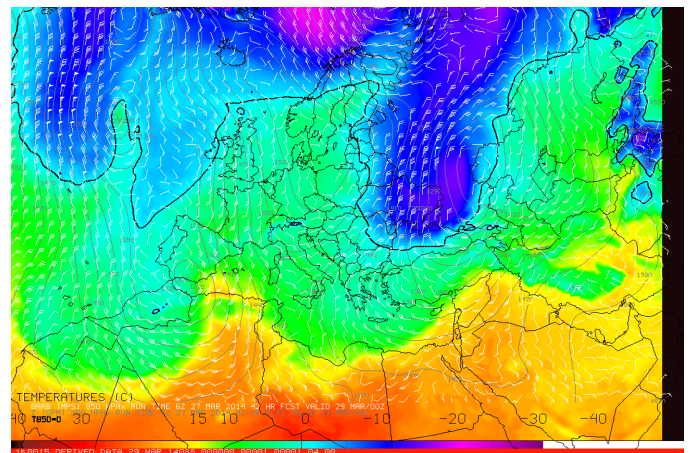
4. Az IDEA-I (Infusing satellite Data into Environmental Applications - International) szoftvercsomag az előállított 2-es szintű meteorológiai produktumok közül az aeroszol optikai mélység mezők alapján azonosítja a nagy aeroszol töltöttségű, vagyis magas aeroszol optikai mélységű területeket, majd ezekből trajektóriákat indít aznap 00 UTC-hez képest a következő 48 órára időben előre óránkénti felbontással ún. trajektória modell segítségével (Huang et al., 2004; Al Saadi et al, 2005). A modell futtatásához szükséges bemenő adatokat a saját származtatású aeroszol mezőkön túl az NCEP GFS (Global Forecast System) modell 0,5°-os horizontális és 6 óránkénti időbeli felbontású előrejelzési adatai szolgálják a futást megelőző nap éjféltől (00 UTC) az azt követő 60 órára. Eredményként az aeroszolok horizontális és vertikális mozgásáról áll elő egy előrejelzés, melynek legegyszerűbb interpretálása az animáció. Az így előállított előrejelzések szemléltetéseként szolgál a 4. ábrán bemutatott 2014.03.21-ei indítású előrejelzés egy képkockája, ahol a nagy aeroszol optikai mélységű légtestek mozgásának egy adott időpontra vonatkoztatott állapotát láthatjuk (sötétciklámen–fehér színiskálával megjelenítve a légtest magasságát (mbar-ban kifejezve)). A nagy aeroszol optikai mélységű Pó-síkságról származó szennyezőanyag útja jelen esetben Közép-Európa felé vezet.



4. ábra. MODIS aeroszol optikai mélység előrejelzés 2014.03.22. 12 UTC időpontra 2014.03.21. 00 UTC indítással

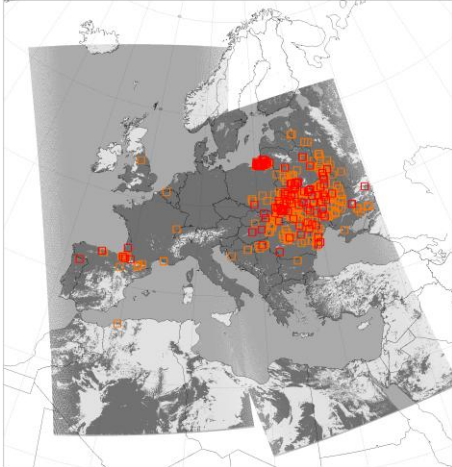
5. Az ELTE állomás által vett adatok valós idejű felhasználásának következő lépcsőfoka az ún. DBCRAS (Direct Broadcast CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison) Regional Assimilation System) korlátos tartományú időjárási előrejelző modell (Aune et al., 2008). A pseudo-nem-hidrosztatikus modellváltozat kifejezetten MODIS adatok asszimilálására és azok az időjárás előrejelzés minőségére gyakorolt hatásának

vizsgálatára készült. Az előrejelzés 48 km × 48 km horizontális felbontású rácson, 38 szigma-szinttel, 3 órás időlépcsővel 72 órás időszakra történik 00 UTC és 12 UTC időpontokban. A kezdeti értékeket egy 12 órás spin-up futtatás határozza meg, melyben NOAA NCEP (National Centers for Environmental Prediction) GFS előrejelzési modelleredmények, felszíni megfigyelések, NOAA hó- és jégtakaró mezők, tengerfelszín-hőmérséklet mezők és saját vételű MODIS adatok kerülnek asszimilálásra. A valós idejű 2-es szintű MODIS produktumok közül a modell a teljes kihullható vízgőz, a felhőtető nyomását és a felhőzet effektív emisszivitás paramétereit használja fel. Az előálló előrejelzési mezők közül példaként a 850 hPa-os légnyomási szint hőmérsékletének, magasságának és szélvektorainak mezejét mutatjuk be Európa térségére az 5. ábrán 2014.03.30. 00 UTC időpontra 2014.03.27. 06 UTC indítással. Az ábra színiskálája a °C fokban kifejezett 850 hPa-os légnyomási szint hőmérsékletének felel meg. Az adaptált modell ún. domain-területének közepén Magyarország értelemszerűen található. Az előrejelzésekből ún. meteogram is elérhető, melyeken az adott földrajzi pontra (jelenleg csak Budapestre) vonatkozó főbb meteorológiai paraméterek előrejelzései láthatók 72 órára 3 óránként időlépcsővel. Oktatási kereteken belül hallgatók dolgoznak jelenleg azon, hogy az előrejelzés webes kereteken belül tetszés szerint lekérhető legyen bármely földrajzi pontra a modell domain-területén belül. A durva felbontású DBCRAS modellbe ágyazva hozták létre a finomabb felbontású NDBCRAS-t (Nested DBCRAS), amelynek horizontális felbontása 16 × 16 km. A modell 48 órára, 3 órás időlépcsőkkel állítja elő ugyanazokat a meteorológiai elemeket, melyet a kezdeti és határfeltételeket adó DBCRAS is előállít.



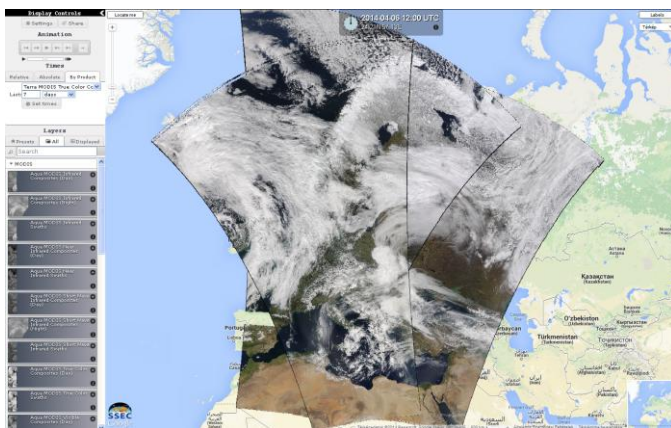
5. ábra. A 850 hPa-os légnyomási szint hőmérsékletének, magasságának és szélvektorainak előrejelzési mezeje Európa térségére 2014.03.30. 00 UTC időpontra 2014.03.27. 06 UTC indítással

6. A MODIS szenzor infravörös adatai alapján valós idejű tűzazonosításra is lehetőség van (Davies et al., 2004; Giglio et al., 2003; Justice et al., 2002), mellyel akár már 100 m<sup>2</sup>-es tűzforrás is detektálhatóvá válik, amennyiben annak pár km<sup>2</sup>-es környezete felhőtlen. Saját vételű adatainkra automata rendszerben minden vétel után közvetlenül meghatározzuk a tüzes koordinátákat. Az így azonosított tűzforrások leggyakrabban mezőgazdasági eredetűek (pl. tarlóégetések), vagy pedig nádas- és erdőtüzek. A 3. ábrán bemutatott, két egymást követő, többnyire derült Aqua áthaladás MODIS adatai alapján azonosított tűzforrások láthatók a 6. ábrán, ahol a piros színű négyzetekkel a magas bizonyosságú, míg narancssárgával a közepes bizonyosságú tűzforrásokat jelöltük. A kép alapkötőléteként megjelenő sötétszürke szín a derült, míg a világosszürke a felhővel vagy hóval fedett területeket jelenti.



6. ábra. MODIS adatok alapján azonosított tűzforrások (piros és narancssárga négyzetek) Európára Aqua/MODIS adatok alapján 2014.03.13-án

7. A saját vételű MODIS adatok legújabb alkalmazása az IMAPP RealEarth WMS (Web Mapping Service for Direct Broadcast), mely hamarosan publikusan is elérhető szoftverre válik (a cikk írásakor még csak béta verziója létezett). A szoftver egy virtuális gépnek felel meg, mely képes a vett valós idejű MODIS adatok különböző csatornáiból készített GeoTIFF képek Google Maps (vagy Google Earth) alapú megjelenítésére. Az alkalmazás keretein belül 7 napig visszamenőleg tekinthetők meg a látható, közeli infravörös, infravörös és vízgőz tartományokban mért adatok, illetve a látható csatornákból készített valós színezésű műholdképek. A GeoTIFF képek legyártása egy, az SSEC kutatói által szintén nemrég publikált másik szoftver (VIIRS and MODIS Reprojection Polar2grid) segítségével történik. A szoftvercsomag saját vételű MODIS adatokra történő automatikus alkalmazása (7. ábra) a <http://regcm.elte.hu:8001/> weboldalon érhető el.



7. ábra. Valós idejű MODIS adatok megjelenítése az IMAPP RealEarth WMS alkalmazással (Terra és Aqua MODIS kompozit 2014.04.06-án)

A vázolt produktumok kiépített rendszerben minden sikeresen rögzített áthaladás után automatikusan keletkeznek és többségük az interneten is elérhető (<http://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/>). A különböző produktumokat külön a közvetlen adatvételi (DB) MODIS adatok feldolgozására létrehozott szoftverekkel állítjuk elő, melyek többségét az amerikai Wisconsin-Madison Egyetem tapasztalt kutatói készítették és frissítik folyamatosan. A szoftverek egymás utáni, láncszerű és automatikus alkalmazása már saját fejlesztés eredményeként történik.

## 4. A MODIS adatok utólagos alkalmazásai

A MODIS adatok utólagos felhasználása az elmúlt években sokrétű volt, mely kiterjedt az egyetemi oktatásban való felhasználásra is. Részletesen megvizsgáltuk szinte mindegyik származtatott meteorológiai produktumot. Behatóbb vizsgálatok a következőkben bemutatásra kerülő területeken történtek. A különböző kutatásokhoz idén ősszel már 10 év hosszúságú saját vételű MODIS adatsor fog a rendelkezésünkre állni.

### 4.1 AVHRR adatok légköri korrekciója MODIS adatok felhasználásával

Műholdas távérzékeléssel nyert multispektrális adatokból a növényzet állapotára, produktivitására vagy fenológiai ciklusára jellemző információ is kinyerhető. Bár az egyes csatornák mérései önállóan is használhatók bizonyos jellemzők számszerűsítésére, gyakorlati okokból a csatornák adatainak kombinálásával különböző vegetációs indexeket állítanak elő. Ezek közül az egyik legismertebb az ún. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), mely előállításához két különböző hullámhossz-tartományra vonatkozó reflektancia különbségének normalizálásával történik. A NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) meteorológiai műholdak fedélzetén 1979 óta megtalálható 6 mérési csatornával rendelkező AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) sugármérő esetén az NDVI meghatározásához szükséges két csatorna az 1-es (0,58-0,68  $\mu\text{m}$ ) és a 2-es (0,725-1,1  $\mu\text{m}$ ). Az ezekben a spektrális tartományokban mért 1 km x 1 km horizontális felbontású reflektanciák alapján tekintélyes hosszúságú NDVI adatsorokat állítottak elő, melyek a hosszabb időskálán bekövetkezett nagyobb térségre vonatkozó, vagy akár globális léptékű változások tanulmányozásához az elérhető egyik legjobb adatforrásnak számítanak. Tekintve, hogy az ELTE vevőállomása a NOAA műholdsorozat AVHRR adatait szintén napi rendszerességgel veszi 2003 óta, ezért joggal merül fel a saját származtatású AVHRR/NDVI értékekre az igény.

Mivel a légkörön áthaladó sugárzás két fő, hullámhosszfüggő fizikai folyamat (gázmolekulák és aeroszol részecskék általi szórás és elnyelés) gyengítésének van kitéve, ezért az NDVI vegetációs indexet optimális esetben a műholdas szenzor által mért, de légköri korrekción átesett adatokból célszerű előállítani. A légköri korrekció tehát magába foglalja a légkör sugármódosító hatásainak a leválasztását. Kivitelezésére számos eljárás létezik, melyek különböző, a légkör állapotára jellemző információt igényelnek. Ezek közül a legmeghatározóbb a teljes kihullható vízgőz, az 550 nm-re vonatkozó aeroszol optikai mélység (AOD, Aerosol Optical Depth) és a vertikálisan integrált ózon értéke. Tekintve, hogy a felsorolt három meteorológiai jellegű mennyiséget a saját vételű MODIS adatokból is elő tudjuk állítani, ezért azokat alaposabb vizsgálatoknak vetettük alá, hogy eldönthessük, alkalmazhatók-e az AVHRR adatok légköri korrekciójához. Ezenél a mennyiségeknek alapvető jelentőségű, hogy az úrbázisú távérzékelés pótolhatatlan lehetőséget kínál azok nagy térbeli felbontású becslésére.

1. A teljes kihullható vízgőz értékét MODIS adatok alapján két egymástól eltérő módszerrel lehet meghatározni, melyek a szenzor különböző (közeli infravörös és infravörös) csatornáinak adataira épülnek. Ezeket az értékeket alaposan összevetettük egymással és a referenciaként szolgáló rádiószondás adatokból illetve numerikus időjárás előrejelző modellek eredményeiből származó vertikálisan integrált vízgőz értékekkel (Kern et al., 2008; Kern, 2011). Ennek eredményeként elmondhatjuk, hogy a MODIS adatokból származtatott integrált vízgőz értékek

pontossága szinte alig marad el az előrejelző modellek eredményeihez képest. A MODIS alapú vízgőz értékek használatát azok finomabb térbeli felbontása indokolja.

A légköri vízgőz fontosságát hangsúlyozza, hogy a légkör összetevői közül ez a legváltozékonyabb, és kulcsfontosságú szerepet játszik számos folyamat előrejelzésében, mint például a konvekció, csapadék- és felhőképződés. Mivel a légköri vízgőz mennyiségénél fogva domináns üvegházgáz, ezért tér- és időbeli eloszlásáról szerzett információk hozzásegítenek a globális energiaháztartás és vízmérleg megértéséhez.

2. A légköri korrekciós eljárások a vízgőz mellett az aeroszol optikai mélységre a legérzékenyebbek, mely adott légoszlop össz-aeroszoltartalmára vonatkozó dimenziótlan fizikai mennyiség. A limitált tér- és időbeli felbontású felszíni AOD megfigyelések miatt a saját származtatású MODIS AOD értékek validálására nem került sor, ehelyett a nemzetközi szakirodalomra támaszkodva elfogadtuk a származtatott mennyiségek pontosságát, és meghatároztuk az AOD éves átlagos mezőit (Kern, 2011). Mindehhez fontos tudni azt is, hogy az AOD első globális, műholdas adatbázisát MODIS adatokból hozták létre. Ennek oka, hogy ez volt az első olyan szenzor, mely az AOD származtatáshoz szükséges spektrális tartományban (így a kék színhez tartozó 0,47  $\mu\text{m}$ -es hullámhossz körül is) több csatornával lett felszerelve.

Az aeroszol optikai mélység jelentőségét kiemeli, hogy a légköri aeroszol részecskék fontos szerepet játszanak a Föld éghajlati rendszerében, a légkör energiaháztartásában, a felhő- és csapadékképzési folyamatokban. Jelentős bizonytalanságot eredményeznek a klímamodellezésben, hiszen a rövid légköri tartózkodási idejű aeroszol részecskék közvetlenül kölcsönhatásba lépnek a Nap sugárzásával, módosítják a felhők mikrofizikáját, és ezáltal befolyásolják a felhők sugárzási tulajdonságait. A légköri aeroszol részecskék éghajlat-módosító hatását talán a "globális elsötétülés" (global dimming) néven ismertté vált jelenség szemlélteti a legjobban.

3. Bár a légköri korrekciós eljárások a vertikálisan integrált ózon mennyiségére kevésbé érzékenyek, validálási eredményeink hozzájárultak a NASA hivatalos, soron következő 6-os szintű összegyűjtöttségű adataira vonatkozó algoritmusok előállításához (Borbás et al., 2011).

Eredményeink alapján a saját vételű MODIS adatok és a belőlük származtatott produktumok tehát kiválóan használhatók a NOAA/AVHRR adatok légköri korrekciójához. Folyamatos vétel esetén minden nap rendelkezésünkre állnak mind Terra/Aqua áthaladásokból származó MODIS, mind a NOAA meteorológiai műholdsorozat áthaladásaiból eredő AVHRR adatok. A két szenzor adatainak együttes használata azért különleges, mert a kevésbé szofisztikált, de hosszabb múltra visszatekintő AVHRR szenzor adatainak légköri korrekcióját az elérhető MODIS adatokból végezzük el, és így állíthatunk elő NDVI vegetációs idősort.

## 4.2 NDVI adatsorok előállítása MODIS adatok alapján

NDVI vegetációs adatsorok előállítására természetesen az AVHRR sugárzásmérőnél korszerűbb és fejlettebb MODIS szenzor adataiból is lehetőség van. Ennek alapja a szenzor 1-es (0,62-0,67  $\mu\text{m}$ ) és 2-es (0,841-0,876  $\mu\text{m}$ ) csatornáiban mért 250 m x 250 m horizontális felbontású reflektancia. Az NDVI származtatás első lépéseként értelemszerűen itt is az adatok légköri korrekcióját kell elvégeznünk, melyhez a DB adatokra létrehozott ún. MOD\_PR09 szoftvercsomagot (Gumley, 2007) használjuk. A szoftvercsomag algoritmusai alapjaiban véve megegyezik a NASA hivatalos MOD09 légkörileg korrigált reflektanciák előállítására szolgáló eljárás 5.3.18-as verziójával, csupán a segédadatokra vonatkozó igények egyszerűsödtek. Használatával a MODIS szenzor 1-es és 2-es csatornáiban mért

reflektanciáiból légkörileg korrigált reflektanciákat kapunk. Ily módon előállított, légkörileg korrigált reflektanciákból meghatározott NDVI mezőt láthatunk példaként a 8. ábrán Magyarország térségére a Terra/MODIS 2012.06.16. 09:50 UTC idejű áthaladás adatai alapján. A képen fehér színnel jelöltük a felhőket és a nyílt vízfelületeket, hiszen az NDVI mezők felhasználása értelemszerűen csak a földfelszínre korlátozódik. Ennek megfelelően az ún. felhőmaszk meghatározása elengedhetetlen lépése az NDVI mezők származtatásának.



8. ábra. Légkörileg korrigált NDVI mező Magyarország térségére a Terra/MODIS 2012.06.16. 09:50 UTC adatai alapján.

A saját származtatású mennyiségek legnagyobb előnye azok eredeti időbeli felbontásában rejlik, hiszen a NASA hivatalos produktumai már nem napi felbontásúak, hanem ún. kompozitok, melyek 16 napos időszakok méréseinek optimális kiválasztása alapján állnak elő. Ilyen a NASA ún. MOD13 produktuma is (Huete et al., 1999; 2002), mely légkörileg korrigált MODIS adatokból származtatott vegetációs indexeket (NDVI és EVI (Enhanced Vegetation Index)) foglal magában. A produktum előállításánál alkalmazott optimális kiválasztás egyaránt kiterjed a megfigyelési- és megvilágítási geometriára, a légkör állapotára és a felhőzet mennyiségére. Ez az eljárás a származtatott adatok minőségének szintjét emeli, azonban elveszti a lehetőségét annak, hogy a 16 napnál rövidebb időskálán bekövetkező változásokot (pl. egy hóhullám hatását) kellő időbeli finomsággal detektálni és jellemezni lehessen.

Az ELTE vevőállomása 2014-re már 9 teljes év MODIS adatát rögzítette, ezáltal lehetőség nyílik a hosszabb időszakra vonatkozó vegetációs vizsgálatokra, így például arra, hogy több év NDVI menetét tanulmányozhassuk. Érdekes kép tárul elénk, ha az éves meneteket Magyarország teljes területére határozzuk meg. Ezt szemlélteti a 9. ábra, ahol Magyarországra vonatkozó felhőmentes MODIS adatok átlagolásával előállított NDVI éves meneteket láthatunk. Az ábrán egyaránt feltüntetésre került (1) a légköri korrekció nélküli nyers reflektanciákból meghatározott NDVI értéke, (2) a légköri korrekción átesett reflektanciákból származtatott NDVI (külön Terra és külön Aqua MODIS adatokra), és (3) referenciaként a NASA MOD13 adataiból számolt átlagos NDVI értéke. Az átlagolásba a felhős képpontokon kívül nem számoltuk bele sem a hóval borított területeket, sem a nyílt vízfelületeket.

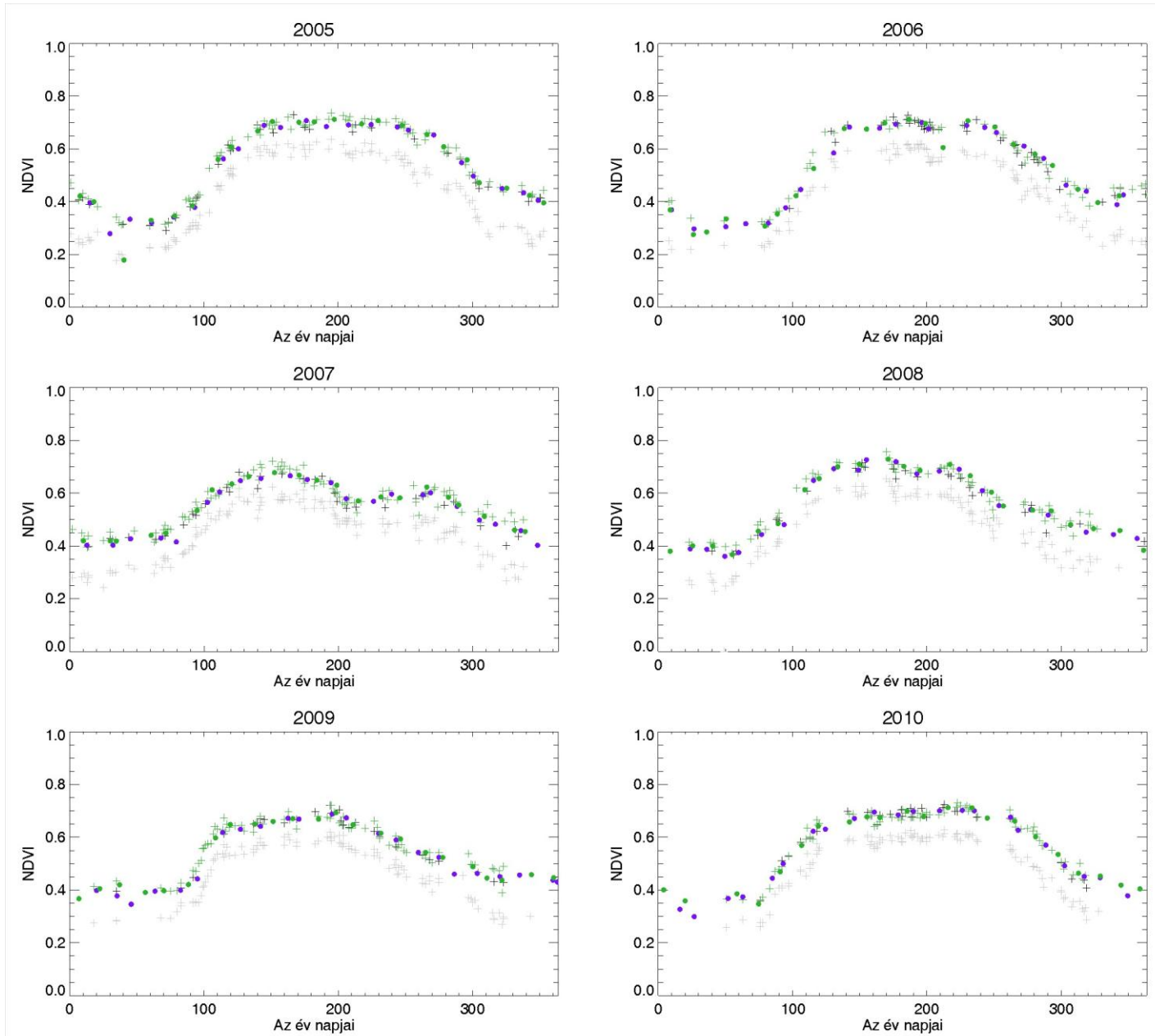
A nyers és a légkörileg korrigált reflektanciák együttes ábrázolásával a légköri korrekció hatása egyértelmű, hisz a két adatsor közötti különbség számottevő. Az alkalmazott légköri korrekciót igazolja az is, hogy a saját vételű és légkörileg korrigált adatokból előállított NDVI éves menete jóval közelebb áll vagy akár teljesen meg is egyezik a NASA MOD13 NDVI éves menetével. Joggal merülhet fel a kérdés: mi okozza az NDVI értékek jól látható szórását? A válasz több tényezős, hisz a

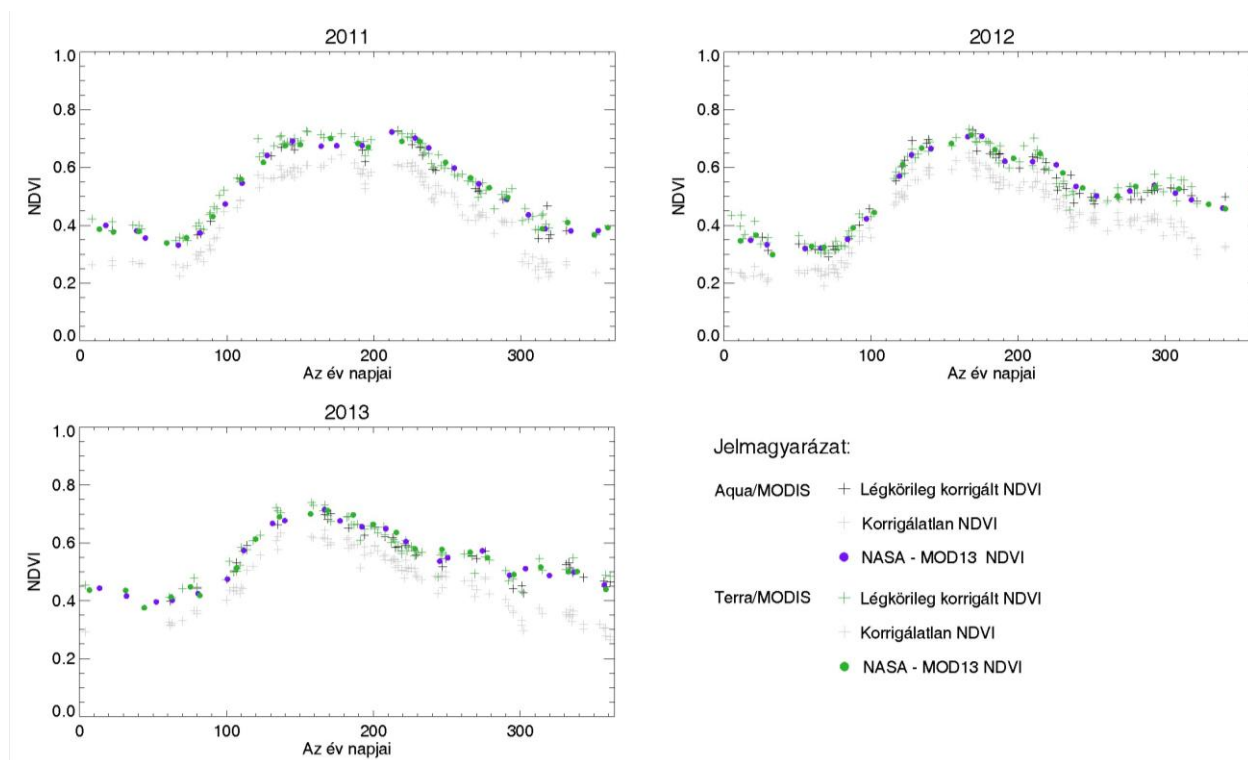
származtatott értékek pontosságát éppúgy meghatározza a felhőszűrés pontatlansága, mint a megfigyelési- és megvilágítási geometriai helyzetek váltakozása, vagy az átlagoláshoz felhasznált felhőszűrt adatok eltérő mennyisége (hisz a felhőzet mennyisége és elhelyezkedése mindig más és más), vagy akár a légköri korrekció pontatlansága. A 9. ábrán bemutatott NDVI menetek azonban már eleve olyan értékekből állnak elő, ahol nem vettük figyelembe sem a 40 foknál nagyobb zenitszögű, sem a 25%-nál kisebb adatlefedettséget biztosító áthaladásokat.

Ennek ellenére az éves menetek határozottan elkülönülnek egymástól és jól tükrözik az adott évre jellemző, a növényzetet leginkább befolyásoló meteorológiai tényezőket és jelenségeket.

Ilyen például a 2007-es júliusi hőhullám illetve a 2012-es nyári hőhullámok hatása, vagy az aszályos 2011-es és 2012-es év eltérő menetei, például az azt megelőző 2010-es csapadékos évhez képest, vagy a 2013-as száraz nyár hatásának megjelenése.

A bemutatott éves menetek meghatározására egyelőre a felszíntípus figyelembevétele nélkül került sor, melynek megfelelően az átlagolásban mindig más arányban szerepelnek a különböző felszíntípusok (erdők, gyepek, mezőgazdasági területek és az egyéb, például lakott/ipari területek). További terveink között szerepel azonban, hogy az egyes felszíntípusokat külön vizsgáljuk.





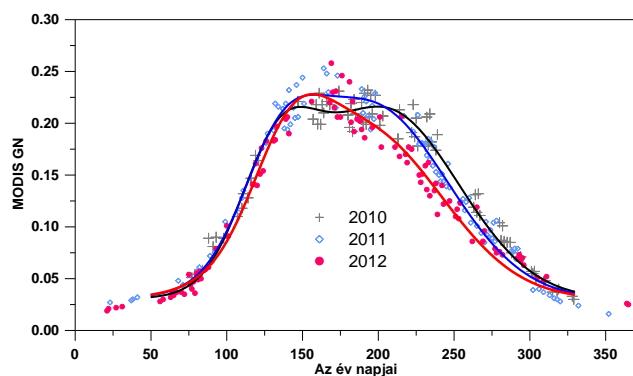
8. ábra. Magyarország éves átlagos NDVI menetei MODIS adatok alapján a 2005-2013 közötti évekre, ahol a szürke + jel az eredeti reflektancia adatok alapján, míg a kék és zöld + jel az légtörli korrekción átesett reflektancia adatok alapján meghatározott NDVI értékeket jelöli. A NASA MOD13 NDVI adataiból meghatározott átlagos NDVI értékeket kék és zöld körökkel jelöltük.

### 4.3 Termésbecslés MODIS adatok alapján

Mivel a MODIS adatok egy adott területről napi rendszerességgel szolgáltatnak információt, ezért kiválóan alkalmasak a növényzet állapotának monitorozására, a bekövetkezett változások detektálására. Ezekhez a megfigyelésekhez a mért reflektancia adatokból vegetációs indexeket állítunk elő, és ezek időbeli alakulását elemezve lehet következtetéseket levonni a növényzet állapotára. A vegetációs indexek közül a legelterjedtebb a korábban már említett NDVI, mely mellett egy másik igen egyszerű indexet, a Greenness (GN) vegetációs indexet is használunk. A GN nem más, mint a MODIS 2-es és 1-es csatornáján mért reflektanciaértékek különbsége.

A GN menetek időbeli lefutása jó indikátora például annak, hogy a növényzet hogyan reagál a nagyobb aszályok idején. Ahhoz, hogy az aszályos és a normál évek közti különbségeket jól nyomon tudjuk követni, érdemes az egyes mért pontokra valamilyen matematikai görbét illeszteni. Ez lehet akár egy egyszerű futóablakos átlagolás, ám a hosszabb felhős időszakok, amikor esetleg több napon keresztül nem rendelkezünk értékelhető adattal, jelentősen befolyásolják ezt a görbét. Ráadásul célszerű inkább olyan függvénnyel kalkulálnunk, ami a későbbi, kvantitatív számításokat is lehetővé teszi. Olyan matematikai görbét érdemes keresni, ami egyrészt jól nyomon követi a GN értékek növényzet fejlődéséből adódó változásait, másrészt viszont megfelelően kevés becsülendő paraméterrel rendelkezik.

A tapasztalataink azt mutatták, hogy a kettős-Gauss-görbe megfelel a fenti kritériumoknak (Hamar et al., 1995). Ennek segítségével jól nyomon követhető például a 2012-es nagy nyár végi aszály okozta hatás. Ha megvizsgáljuk a 2010-2012 közti időszakot (10. ábra), akkor jól látható, hogy a 2012-es évben a nyár végi GN értékek drasztikusan lecsökkennek, összehasonlítva a korábbi évek adataival.



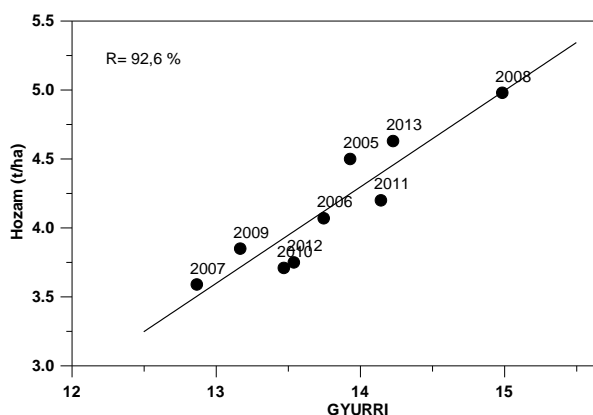
10. ábra. A 2010-2012 közti magyarországi GN értékek a rájuk illesztett kettős-Gauss-görbével (2010: fekete, 2011: kék, 2012: piros).

A mért MODIS adatok nemcsak kvalitatív megfigyelésre, hanem kvantitatív számításokra is, például az egyes szántóföldi haszonnövények terméshozamának becslésére is használhatók. A termésbecslési számításokhoz általában ismerni kell azt, hogy az adott növényt az adott évben pontosan hol termelik. Azonban kutatásaink során azt találtuk,

hogy lehetséges a megfelelően pontos termésbecslés a vetésterületek elhelyezkedésének ismerete nélkül is. Ennek oka az, hogy egy adott évben a hasonló vegetációs ciklussal rendelkező szántóföldi növények általában hasonló módon fejlődnek. Nemigen fordul elő az, hogy például a kukorica az átlagosnál jóval nagyobb, míg a cukorrépa az átlagosnál jóval kisebb hozamot produkál ugyanabban az évben. Ezen elv alapján dolgoztuk ki az ún. robusztus termésbecslési eljárásunkat (Ferencz et al., 2004), mellyel akár már a betakarítást megelőzően megfelelően pontos hozamelőrejelzés adható (Bognár et al., 2011).

A hozambecslési számításokban először a mezőgazdasági területek felett mért napi GN értékekre a fent említett kettős-Gauss-görbét illesztjük, majd vesszük ennek a görbének két adott nap közti integrálját. E két nap értéke természetesen függ a vizsgálandó növénytől. Ezt az integrál értéket GYURRI-nak (General Yield Unified Robust Reference Index) neveztük el, és ez már közvetlenül kapcsolatba hozható az adott növény terméshozamával.

Legutóbbi kutatásunkban az őszi búza 2005-2013 közötti GYURRI értékeit vetettük össze a terméshozamokkal (11. ábra).



11. ábra. A robusztus termésbecslési eljárás eredményei 2005-2013 között őszi búza esetén. A "Hozam" a Központi Statisztikai Hivatal által közzétett hozamadatokat jelenti.

Az egyes évek GYURRI-hozam pontjaira illesztett egyenes paramétereinek segítségével számolható az adott GYURRI értékhez tartozó becsült hozam, melyek összevethetők a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) által közzétett hivatalos hozamadatokkal. Az ily módon számolt eredményeket számszerűsítve mutatja az 1. táblázat.

A kapott eredményekben a legnagyobb eltérés 0,24 t/ha, és 6,3%. A becsült és KSH adatok átlagos abszolút eltérése 0,15 t/ha illetve 3,7%. Ez egyrészt azt mutatja, hogy a robusztus termésbecslési eljárás alkalmas nagyterületű hozambecslésre búza esetén, másrészt viszont a módszer további finomítása szükséges annak érdekében, hogy lehetőleg minden évben sikerüljön a becslés pontosságát 5% alá szorítani. Ennek egyik lehetséges útja lehet egy pontos légköri korrekciós eljárás alkalmazása, vagy éppen a negyedóránként rendelkezésre álló METEOSAT adatok integrálása az adatrendszerbe.

Év	Becsült hozam (t/ha)	KSH hozam (t/ha)	Eltérés (t/ha)	Eltérés (%)
2005	4,26	4,50	-0,24	-5,3
2006	4,13	4,07	+0,06	+1,5
2007	3,52	3,59	-0,07	-2,1
2008	5,00	4,98	+0,02	+0,4
2009	3,72	3,85	-0,13	-3,2
2010	3,94	3,71	+0,23	+6,1
2011	4,41	4,20	+0,21	+5,0
2012	3,99	3,75	+0,24	+6,3
2013	4,47	4,63	-0,16	-3,5

1. táblázat. A 2005-2013-as pontokra illesztett egyenes alapján számított becsült hozam adatok, és ezek eltérése a KSH hivatalos hozamadataitól.

## 5. Összefoglalás

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem műholdvevő állomása 2004 óta biztosít valós idejű multispektrális MODIS adatokat a Kárpát-medence térségéről. Az adatok felhasználása sokrétű, az immár közel 10 évnyi adatsor komplex vizsgálatokat tesz lehetővé, mely Kutatócsoportunkban leginkább a vegetáció monitorozására és a mezőgazdasági növények termésbecslésére terjed ki. A vett adatokra épülő valós idejű (többnyire meteorológiai jellegű) alkalmazások az elmúlt években folyamatosan bővültek, kihasználva a valós idejű adatok jelentőségét. A bemutatott és részletesen leírt alkalmazásokon kívül a MODIS képeket még használhatjuk légszennyezés, természeti katasztrófák (pl. árvíz, belvíz, erdőtüzek) vizsgálatára vagy akár kártevők elterjedésének megfigyelésére is, melyekre egy-egy esettanulmányon keresztül az elmúlt 10 évben már sor került. Tekintve, hogy a két MODIS szenzor várhatóan még legalább 6 évig üzemképes marad, a folyamatosan bővülő adatsor széleskörű alkalmazására további lehetőségek nyílnak.

## Köszönetnyilvánítás

Kiemelt köszönet jár a technikai és szakmai segítségükért Kovács Richárdnak, Barcza Zoltánnak, és a Wisconsin-Madison Egyetem kutatói közül Kathleen I. Strabalanak és Liam E. Gumleynak. Segítségük nélkül a MODIS adatok bemutatott feldolgozása és sokszínű alkalmazása nem valósulhatott volna meg. Kutatásainkat a Magyar Űrkutatási Iroda és a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatta (URKUT\_10-1-2011-0027).

## Irodalomjegyzék

Al-Saadi J.A. et al. (2005): Improving National Air Quality Forecasts with Satellite Aerosol Observations, BAMS, DOI:10.1175/BAMS-86-9-1249.

Aune B., Strabala K.I., Lindstrom S., Huang A. (2008): The Direct Broadcast Version of the CIMSS Regional Assimilation System for Global Users, International EOS/NPP Direct Readout Meeting 2008, March 31-April 4, 2008, Bangkok, Thailand. ([http://dbmeeting.sci.gsfc.nasa.gov/files2008/DBCRAS\\_DB2008.ppt](http://dbmeeting.sci.gsfc.nasa.gov/files2008/DBCRAS_DB2008.ppt))

Bognár P., Ferencz Cs., Pásztor Sz., Molnár G., Timár G., Hamar D., Lichtenberger J., Székely B., Steinbach P., Ferencz O.E. (2011): Yield forecasting for wheat and corn in Hungary by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32, no. 17, 4759-4767.

Borbás E.É., Seemann S.W., Kern A., Moy L., Li J., Gumley L., Menzel W.P. (2011): MODIS Atmospheric Profile retrieval - Algorithm Theoretical Basis Document, Collection-6, Vers. 7. (Internet elérhetőség: [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/MOD07\\_atbd\\_v7\\_April2011.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/MOD07_atbd_v7_April2011.pdf))

Davies D., Kumar S., Desclotres J. (2004): Global fire monitoring using MODIS near-real-time satellite data, *GIM International*, Vol. 18(4), 41-43.

Ferencz Cs., Lichtenberger J., Bognár P., Molnár G., Steinbach P., Timár G. (2003): Satellite receiving station at the Eötvös Loránd University, in Hungary, *Geodézia és Kartográfia* 55(9): 30-33.

Ferencz Cs., Bognár P., Lichtenberger J., Hamar D., Tarcsai Gy., Timár G., Molnár G., Pásztor Sz., Steinbach P., Székely B., Ferencz O.E., Ferencz-Árkos I. (2004): Crop yield estimation by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, no. 20, 4113-4149.

Giglio L., Desclotres J., Justice C.O., Kaufman Y.J. (2003): An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 87, 273-282.

Gumley E.L., Desclotres J., Schmaltz J. (2003): Creating Reprojected True Color MODIS Images: A Tutorial. ([ftp.ssec.wisc.edu/pub/IMAPP/MODIS/TrueColor/MODIS\\_True\\_Color.pdf](ftp.ssec.wisc.edu/pub/IMAPP/MODIS/TrueColor/MODIS_True_Color.pdf))

Gumley E.L. (2011): MODIS Land Surface Reflectance (MOD\_PR09) for Direct Broadcast. (Internetes elérhetőség: <ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/IMAPP/MODIS/hidden/mod09/README.txt>)

Gumley E.L., Evan A. (2009): Direct Broadcast Google Earth. ([http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/dbge\\_v1.2.shtml](http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/dbge_v1.2.shtml))

Hamar D., Ferencz Cs., Lichtenberger J., Tarcsai Gy., Ferencz-Árkos I. (1995): A kukorica és búza termésátlagának meghatározása műholdas adatokból az Alföldön. *Növénytermelés*, 44, no. 2, 147-160.

Huang H.-L., Gumley L.E., Strabala K.I., Li J., Weisz E., Rink T., Baggett K.C., Davies J.E., Smith W.L., Dodge J.C. (2004): International MODIS and AIRS processing package (IMAPP): A direct broadcast software package for the NASA Earth Observing System, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, 159-161.

Huete A., Justice C., Leeuwen W.V. (1999): MODIS Vegetation Index - MOD13. Algorithm Theoretical Basis Document. (Internet elérhetőség: [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf))

Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. (2002): Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, 83, 195-213.

Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J.T., Roy D., Desclotres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. (2002): The MODIS fire products, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, 244-262.

Kern A., Bartholy J., Borbás E. É., Barcza Z., Pongrácz R., Ferencz Cs. (2008): Estimation of vertically integrated water vapor in Hungary using MODIS imagery, *Advances in Space Research*, 41/11, 1933-1945. doi:10.1016/j.asr.2007.06.04.

Kern A. (2011): NDVI vegetációs index előállítás a távérzékelés AVHRR és MODIS adatok alapján. Doktori értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományi Doktori Iskola. Témavezető: Dr. Bartholy Judit. 148 o.

King M.D., Kaufman Y.J., Menzel W.P., Tanré D. (1992): Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 30, 1-27.

Strabala K.I., Gumley L.E., Rink T., Huang H.-L., Dengel R. (2003): MODIS/AIRS instrument direct broadcast products and applications, *AMS 12th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, 13 p.

Strabala K.I., Gumley L.E., Rink T., Huang H.-L., Davies J., Weisz E., Baggett K., Friedman S., Manning E., Nguyen Q.D. (2004): The international MODIS/AIRS processing package (IMAPP): Terra and Aqua direct broadcast processing and applications, *AMS 13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, Norfolk, VA, 20-23 September 2004 (preprints). American Meteorological Society, Boston, MA, 2004, Paper P1.17. Call Number: Reprint # 3783.

Timár G., Ferencz Cs., Lichtenberger J., Kern A., Molnár G., Székely B., Pásztor Sz. (2006): MODIS-adatvételezés az ELTE műholdvevő állomásán. *Geodézia és Kartográfia*, 58. 11-14. ISSN 0016-7118.

# IDŐSOROS VEGETÁCIÓTÉRKEPEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS KUTATÁSAIBAN

Soós Gábor<sup>1</sup>, Martin Gizella<sup>1</sup>, Kozma-Bognár Veronika<sup>1</sup>, Anda Angéla<sup>1</sup>, Szeglet Péter<sup>1</sup>,  
Pomogyi Piroska<sup>2\*</sup>

1. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely

2. Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KÖDUVIZIG), Székesfehérvár

sgkert@gmail.com, gizela.martin@gmail.com, kbv@georgikon.hu, anda-a@georgikon.hu,  
szeglet@georgikon.hu, pomogyi@kdtvizig.hu\*

**Absztrakt:** Az éghajlatváltozás a vizes területek vízháztartási mérlegében számszerűsíthető eltérést okoz, mely nem marad hatástalan a helyben kialakult érzékeny ökoszisztémákra sem. A Kis-Balaton Vízügyi Rendszer (KBVR) üzemelő egységeire 1986 óta készítene vízmérleget, melynek kiemelten fontos kiadási tagja az evapotranspiráció. Addig, amíg a szabad vízfelszín evaporációjának becslésére számos empirikus formula van, a növények párologtatásának meghatározása – annak biológiai kapcsolata miatt – nehezebben megvalósítható feladat. A különböző növényborítottságú területek evapotranspirációjának becsléséhez kiváló alapot biztosítanak a Kis-Balaton makrovegetációjára vonatkozó vegetációtérképek. Jelen publikációban a Kis-Balaton Fenéki-tó területére 1988 és 2008 között elkészített idősoros vegetációtérképek területszámítást érintő eredményeit mutatjuk be. A főbb növénytársulások területi elterjedésének figyelembevételével, valamint a növénykonstansok felhasználásával a későbbiekben pontosabban becsülhetővé válik majd a területi párolgás.

**Kulcsszavak:** Kis-Balaton, vegetációtérképezés, növénytársulások, éghajlatváltozás.

**Abstract:** Climate change causes quantifiable differences in the water balance of wetlands and strongly effects locally evolved sensitive ecosystems. Since 1986 water balances of operating units of Kis-Balaton Water Protection System (KBWPS) have been calculated. Evapotranspiration is one of the key outputs of water balances. Although there are many empirical formulas for estimating the evaporation of free water surface, describing plant transpiration – because of its biological relations – is a more difficult

task. Macro-vegetation maps of Kis-Balaton provide an excellent basis for estimating the evapotranspiration of various plant-covered areas. In this paper we present the area calculation results of the time-series vegetation maps of Lake Fenéki in Kis-Balaton between 1988-2008. Taking into consideration the spatial spread of major plant communities together with the crop coefficient the calculations of regional evaporation can be more accurate in the future.

**Keywords:** Kis-Balaton, vegetation maps, plant communities, climate change.

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a távérzékelés és térinformatika által szolgáltatott adatsorok rendkívüli fontosságúak a környezetünkről gyűjtött információk megszerzésében. A távérzékelésen alapuló növényvizsgálati módszerek, kiegészítve a földi adatgyűjtési technikák alkalmazásával, jelentősen elősegítik a pontos és megbízható adatszerzést a felszínborítási kategóriák megállapítása során. Olyan esetekben is kitűnően alkalmazhatóak, ahol védett-, vagy nehezen megközelíthető területekről van szó, illetve ha a felszínborítás nagyon heterogén (Goetz et al., 2007). Ennek következtében a növényzet mintázatának vizsgálata során számos kutatás esetében találkozunk távérzékelési adatsorok felhasználásával (Dronova et al., 2012; Berke, 2010; Klenoid et al., 2005). Amennyiben a vizsgálat tárgyát az egyes növénytársulásokban bekövetkezett változások képezik, a légi- és űrfelvételek alapján előállított vegetációtérképek – a vizsgálataink szempontjából – nélkülözhetetlen információkat adhatnak (Kelly, 2011; Zlinszky 2011; Bakó, 2012). A vegetációtérképezés alapvető célja, hogy nyomon kövessék a megváltozott környezeti tényezők hatására a növényzet tér-idő szerkezetében bekövetkező változásokat, a törvényszerűségek ismeretében pedig prognosztizálják a további változások várható hatásait. A

vegetációtérképekkel a tér-idő szerkezetben is megmutatkozó hidrobiológiai, ökológiai, botanikai stb. változásokat is detektálhatjuk (Falusi et al., 2008; Czauner et al., 2007). A környezeti feltételekben bekövetkezett változásokra, stresszhatásokra a növények válaszreakciót adnak, gyakran indikátorként viselkednek, így segítségével következtetni tudunk az egyes élőhelyek ökológiai állapotára, biodiverzitására, környezeti terheltségére (Martínez-López et al., 2014; Nagendra et al., 2013; Murphy, 2002; Tommervik et al., 1995). A kapott adatsorok térinformatikai adatbázisban történő összeillesztése révén a vegetációban végbemenő változásokkal kapcsolatos valamennyi információ együtt kezelhető (Szalma et al., 2002; Dömötörfy, 2003; Móricz et al., 2004). Ezen adatbázisok időbeli alakulásának monitorozása más szakterületeket érintő problémák – mint például az éghajlatváltozás – megismeréséhez, megértéséhez is hasznos információkat szolgáltathat.

A klímaváltozási forgatókönyvek az „általános” felmelegedési tendencia mellett a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának növekedését, a nyári csapadékhiány fokozódását prognosztizálják. Ezek az extrém hatások jelentősen befolyásolhatják a felszíni vízbázisainkat és azok ökológiai környezetét is, melynek hatására a fizikai kémiai, biológiai ökológiai sajátosságaikban és a lejátszódó folyamataikban változás következik be (pl. vízsztíngadozás, intenzívebb evapotranszpiráció). A Pannon Egyetem Georgikon Karának Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszékén 2005 óta folynak olyan evapotranszpirációs kutatások, amelyek a Kis-Balaton bizonyos növényársulásainak optimális, potenciális evapotranszpirációját, valamint az ezekből számított növénykonstans értékeit tanulmányozzák. Ezen vizsgálatok kiváló alapot biztosítottak ahhoz, hogy a vizsgált természetes ökoszisztéma területi párolgásának hosszú idősoros elemzése elkezdődhessenek.

A Tanszéken 2012-ben indult jelenlegi kutatások az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásainak vizsgálataihoz kapcsolódnak, és a Balaton vízvédelmi rendszer egyik fontos eszköze a Kis-Balaton tanulmányozását foglalják magukban. Az egyik sokat említett probléma a Kis-Balaton Védőrendszer részterületeinek elárasztása és ennek a Balaton vízminőségére, vízszintjére gyakorolt hatása. Felvetődött az a kérdés is, hogy a megnövelt vízfelület párolgása miképpen viszonyul a korábban mocsári növényzettel vagy más növényársulásokkal borított felszín párolgatásához? Mekkora, s milyen irányú a köztük lévő különbség? Ezekre a kérdésekre keres választ a jelenleg zajló tudományos kutatás, amely alapvető célkitűzése a Kis-Balaton egyes részterületeire vonatkozó vízvesztés megállapítása a hagyományos vízháztartási mérleg alapján, valamint az egyes domináns, nagyobb területet elfoglaló növényfajok és növényársulások párolgásának becslése. A párolgást az adott faj növénykonstansai (Anda et al., 2014) és annak környezeti feltételei alapján, valamint a területi elterjedésük figyelembe vételével becsüljük. Ennek megfelelően a párolgást becsülő kutatások alapvető pillérét a vegetációtérképek által szolgáltatott adatsorok adják.

A Kis-Balaton területére vonatkozóan már az 1980-as évek óta készítenek vegetációtérképeket a magasabb rendű növényzet változásának megismerése céljából (Pomogyi, 2003; Zlinszky, 2013; Szeglet et al., 1998). Kutatásaink során felhasználtuk a korábban készített légi- és az társulástani felvételeket, amelyek alapján elemeztük a 1988-2008

közötti időszakra vonatkozóan a Fenéki-tó vegetációtérképeit. A kiválasztott mintaterületet nagyfokú heterogenitás jellemzi, amely az idősoros felvételek alkalmazásával kitűnően leírható. Az összehasonlító vizsgálatok elvégzésével a vegetációban bekövetkezett változások és azok dinamikája számszerűsíthetővé vált. A vegetáció változás-dinamikája, valamint a kapott területszámítási adatok lehetővé teszik nemcsak ezen időszak vizsgálatát, hanem a közeljövő regionális szinten jelentkező éghajlatváltozásainak időjárás generátorral történő előrejelzését, s végül a jövő várható párolgatatásának prognosztizálását.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. Kutatások helyszíne

A Kis-Balaton a Balatonnal együtt világviszonylatban is egyedülálló ökológiai rendszert alkot, mely Európa fokozottan érzékeny területei közé sorolható. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer megépítésének szüksége az 1970-es években merült fel, amikor a Balaton vízminősége veszélybe került. Létesítésének fő célja a Zala-vízgyűjtőről származó – elsősorban diffúz eredetű – tápanyagterhelések visszatartása és Balatonba jutásának megakadályozása volt. A Balaton vízminőség-védelmének érdekében 1984-ben elkezdődött a Kis-Balaton II. üteméhez tartozó Fenéki-tó építése a tározót határoló- és terelőtöltések létrehozásával. Ezt követően 1992-ben ideiglenes jelleggel az Ingói berek 16 km<sup>2</sup> területe került elárasztásra. Az azóta eltelt időszakban a vízminőség-védelmi célok mellett a természetvédelmi és ökológiai értékek védelme is előtérbe került, melynek hatására 2012-ban elkezdődött a II. ütem 75 km<sup>2</sup> területének ökológiai monitoringját megvalósító beruházás (Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság honlapja). A területen lejátszódó térbeli és időbeli változások megfelelő alapot biztosítottak arra, hogy az éghajlatváltozás hatásait regionális szinten nyomon követhessük és a vizsgálataink szempontjából fontos paraméterek dinamikáját tanulmányozhassuk.

Kutatásaink helyszínéül a Kis-Balaton II. ütem a Fenéki-tó mintaterületét választottuk, amely a 54 km<sup>2</sup>-en Balatonhídvég és a Zala torkolat közötti területen helyezkedik el. A Fenéki-tó területén 15 víztájat lehet elkülöníteni egymástól (1. ábra). A víztájak határai többnyire az 1992-ben meglévő vonalas létesítmények: töltések, árkok, csatornák, illetve korábban kialakult bejáróutak, ösvények alapján kerültek lehatárolásra, melyekről feltételezték, hogy a jövőben is azonosíthatók lesznek. A 2007. évet követően számításba kell venni a rendszerbe való bekapcsolásra kerülő Zalavári belvízöblözetet is, mint esetleges 16. víztájat.



1. ábra A KBVR Fenéki-tó víztájak átnézeti vázrajza

A mintaterületen elhelyezkedő heterogén növényállományokat, valamint a főbb növénytársulástani csoportokat figyelembe véve a következő osztálykategóriák kerültek meghatározásra.

1. Nádasok
2. Egyéb mocsári lápi lágyszárúak
3. Mocsári, lápi fűszárúak
4. Szárazföldi gyepek
5. Szárazföldi erdők
6. Nyílt víz, hinarasok

## 2.2. Növényterképezés folyamata

A növényzetfelmérés és annak minősítése az immár „hagyományos” digitális vegetációtérképezés módszerével készül (Dömötörfy-Pomogyi, 1997). Az alkalmazott módszertan alkalmas arra, hogy a Kis-Balaton mintaterületén a vizsgálatunk szempontjából szükséges növénytársulástani mélységig a lehető legpontosabb növényzetterkép készüljön. A növényterképezés folyamata alapvetően három részterületből tevődik össze: ortofotó-előállítás illetve -beszerzés, a kapcsolódó terepi adatgyűjtések valamint a kapott információk alapján történő adatfeldolgozás. A légifényképezés és vegetációtérképezés 2006-ig a KBVR beruházási program keretei között a NYUDUVIZIG szervezésében és közreműködésével történt, a 2007-2008. évi pedig a II. ütem befejezését előkészítő program keretei között, az Aquaprofit Kft. szervezésében.

### 2.2.1. Ortofotók

A Kis-Balaton Védőrendszer (KBVR) létesítése előtti időszakból a Kis-Balaton néhány részterületéről van hozzáférhető légifotó: 1953, 1974. április és szeptember, valamint 1980. Ezek alapján visszamenőleges interpretálás legfeljebb csak kutatási céllal történt, részterületekre, így összehasonlításokra részlegesen alkalmasak (1. táblázat).

Légifelvételzés időpontja	Repülési magasság (m)	Fókusz (mm)	Méretarány	Felvétel típus	Átfedés
1984.08.22	1900	n.a.	1:20000	CIR	Átfedés nélkül
1985.09.03	1940	152,13	1:13000	CIR	60%
1985.07.12. 1. repülés	1900	n.a.	1:12000	CIR	Átfedés nélkül
1986.06.26. 1. repülés	1900	n.a.	1:12000	CIR	n.a.

1986.09.01. 2. repülés	1950	n.a.	1:12000	CIR	n.a.
1987.06.28	n.a.	n.a.	1:10000	CIR	n.a.
1987.09.21	2140	88,24	1:24000	CIR	60%
1988.08.07	2740	88,24	1:31000	CIR	60%
1989.08.14	2531	152,13	1:16500	CIR	60%
1990.08.14	2530	152,13	1:16500	CIR	60%
1991. nem volt	-	-	-	-	-
1992.07.18. I. ütem	2530	152,13	1:16000	CIR	60%
1992.09.17. I.-II. ütem (hiánypótlás)	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1993.06.10	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1994.07.22	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1995.07.27	2750	88,24	1:31000	CIR	80%
1996.07.15	4600	152,13	1:30000	CIR	60%
1997.08.24	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
1998.08.30	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
1999.08.03	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
2000.08.02	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2001.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	40%
2002.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2003.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2004.09.18	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2005. nem volt	-	-	-	-	-
2006.08.16	2900	152,7	1:20000	CIR	60%
2007.09.24. (AQAPROFIT)	2900	153,1	1:20000	CIR	60%
2008. nem volt	-	-	-	-	-

n.a. = nem áll rendelkezésre adat

### 1. táblázat A KBVR beruházáshoz kapcsolódó légifelvételések alap-paraméterei

A KBVR vegetációtérképezése már a kiviteli munkák korai szakaszában, 1982-ben, az I. ütem (Hídvégi-tó) elárasztása előtt megkezdődött (akkor még kizárólag földi módszerekkel) (Pomogyi, 1985). Ezzel indultak el a KBVR rendszeres hidrobiológiai, ökológiai vizsgálatai, amelyeket azóta is folytatnak, természetesen időközben kiterjesztve a II. ütem (Fenéki-tó) területére is. 1985 óta a növényzet-térképek színes infravörös légifényképek (CIR) földi interpretációja alapján készülnek. 2000-től kezdve minőségi változás következett be, mivel a növényterképezést nagyfelbontású digitális ortofotók (DOF) alapján végezték. 1999-2000-ben mód nyílt arra, hogy az eredeti CIR negatívokról az időközben sokat fejlődött fototechnikai eljárásokkal a korabelinél lényegesen jobb minőségben elkészíthessék a Fenéki-tó 1988. évi légifénykép-anyagát, és abból „kvázi” DOF készült (Pomogyi-Dömötörfy, 2002).

A légifelvételek feldolgozása az idők folyamán gyökeresen megváltozott, a képek feldolgozása eleinte analóg módon történt. Akkor 1:10.000-es optikai transzformátumokon zajlott a terepi beazonosítás. 1999-től kezdődően ortofotó előállítására került sor, és az így létrejött fényképi adatbázison történt a tematikus interpretáció. A tematikus interpretációt minden esetben a fényképekből előállított 1:10.000-es optikailag EOY-ba illesztett fotonagyítások segítik a terepi bejárásokon. A helyszínen felvett (beazonosított) adatok felhasználásával a képernyőn megjelenő növényállományok pontos behatárolása illetve térképezése valósul meg.

### 2.2.2. Terepi adatgyűjtés

A terepi interpretáció alapvető célja az egyes növényzetkategoróriák és más térképezési egységek beazonosítása (2. ábra), az ortofotón vizuálisan lehatárolható foltoknak való megfeleltetése, azaz a mintaterületek felvétele és dokumentálása.



2. ábra Terepi interpretáció során készített fotó a KBVR Fenéki-tó északi területéről

A GPS-sel bemért és EOVS rendszerbe illesztett terepi fotódokumentáció kétséget kizáróan bizonyítja, hogy mely időszakban milyen növényzet volt jellemző az adott helyen. Ezt a dokumentálást a Kis-Balaton esetében 2003-tól kezdték alkalmazni. Mivel a vegetációtérképezést könnyen belátható módon csak vegetációs periódusban lehet végezni, amikor a növények kifejlett és még élő állapotban láthatók és azonosíthatók, a terepi munkálatok, a csónakkal történő növényzetfelmérések már tavasszal elkezdődtek. A terepi munka során a csónakkal bejárható részekben megtörténik a növénytakarások felvételezése (3. ábra). Ennek során minden jellemző felmérési hely koordinátái 2003 óta általában Garmin típusú, NaviGuide Magyarország szoftverrel ellátott GPS készülékkel kerül rögzítésre, továbbá digitális fényképezőgépek segítségével a növényzetről, valamint annak szűkebb és tágabb környezetéről fénykép készült. Ezt követően a GPS mérések és a fotók azonosítói a helyszínen terepjegyzőkönyvekben kerülnek dokumentálásra. A napi terepfelmérés végeztével a fotók letöltés után egyedi azonosítókat kapnak, amelyek tartalmazzák a dátumot, a GPS-pont sorszámát és a képazonosítót. Ez alapján a terepfotókat a későbbiekben a digitális ortofotókon (DOF) behívhatóvá tevé, szemléltetni lehet, hogy a vörösszín-dominanciájú hamisszínes infravörös felvételeken (CIR) látható különböző foltok a valóságban milyen növényzetet reprezentálnak. Az alkalmazott terepi módszertan teljes mértékben megfelel az EU Víz keretirányelv hazai bevezetéséhez a makrofita ökológiai minősítésre javasolt módszertannak is.



3. ábra Csónakkal történő felvételezések

A mocsári növényzettel – nádasokkal, gyékényesekkel, sásosokkal – fedett állandó- és időszakos vízborítású területeken, ahol nem lehetséges a csónakkal való közlekedés, a terepfelméréseket mocsárjáró nádaratógép igénybevételeivel lehet elvégezni (4. ábra). Ennek időpontja csak késő ősszel, a vegetáció-periódus végén lehetséges, amikor a gép

kerekei a fejlődőben lévő növényhajtásokban már nem okozhatnak kárt, és a taposási kár is a lehető legkisebb.



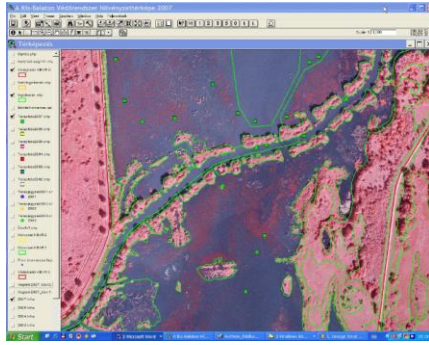
4. ábra Mocsárjáró nádaratógéppel (6 kerekű Seiga) történő felvételezések

A gépre ilyenkor nincs felszerelve a kaszaszerkezet sem, így a fajlagos terhelése és a tömegeloszlása is kedvezőbb, a nyomvonalában pedig a növényzet tavasszal ugyanúgy kihajt, mint az előző vegetációs periódusban. Az útvonalterv mindig úgy kerül kialakításra, hogy vegetációtérképezési céllal ugyanazon a nyomvonalon egymást követően ne menjen végig. Ezen közlekedési eszköz alkalmazása olyan esetekben szükségesek, amikor egyéb eszközzel nem megközelíthető terület olyan nagy – mintegy 4.500 ha –, és a terepviszonyok olyan változatosak, hogy érdemi információ a növényzetéről más módon nem keletkezne. A gyalogos bejárás nem lenne kivitelezhető, csak a szegélyterületeken, az pedig nem nyújt elegendő információt. A növényzet-felvételezés módszere megegyezik a csónakos bejárásával: a mérőhely rögzítése GPS-sel, majd a terepjegyzőkönyvben a GPS sorszáma és a fényképek sorszámai kerülnek feljegyzésre. Az irodai szakaszban a GPS pontok letöltése, az útvonal ábrázolása, illetve a koordináták és a digitális fotók előkészítése történik a DOF-on való megjelenítésre.

### 2.2.3. Adatfeldolgozás

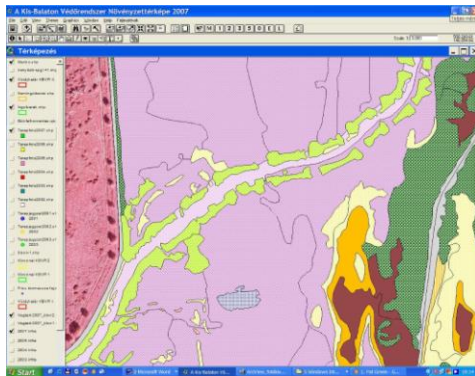
Az adatfeldolgozás, a vegetációtérképek elkészítése, illetve a területszámítási adatok megjelenítése ArcInfo/ArcView GIS rendszer alkalmazásával történt. A térinformatikai szoftverek mellett általános Microsoft Office irodai megoldásokat is igénybe vettünk.

A hamisszínes infravörös légifénykép alapján készült digitális ortofotó alkalmazásával a képernyőn vizuálisan lehatároltuk az egyes növényfoltokat (5. ábra), amelyeket korábban a GPS készülék segítségével pontosan felmértünk. Azokon a területen, amelyek egy adott évben nem kerültek bejárásra, a szín-hasonlósága alapján azonosítottuk be a növényzetet. Bizonytalan esetekben a korábbi felmérések anyagai is felhasználásra kerültek.



5. ábra Az Ingói-berek legfelső szakaszán lehatárolt poligonok térkép kivágata

A Kis-Balaton II. ütemének területéről a jelenleg alkalmazott 0,5x0,5 m-es nagyfelbontású DOF-ok jó lehetőséget adnak arra, hogy – amennyiben kiemelkedő jelentőségű, különleges állományról van szó, akkor – akár 100-200 m<sup>2</sup>-es területű foltokat is le lehessen határolni, még elfogadható pontossággal. Ehhez gyakran 1:1.000 (néha 1:500) méretarányú nagytárat kell és lehetséges beállítani.



6. ábra Az Ingói-berek legfelső szakaszának vegetációtérképe

Az adatfeldolgozás során a földfelszínen gyűjtött adatok (jegyzőkönyvek, fotók, stb.) térképi kapcsolását is megvalósítottuk. Ezt követően a légifotók, a terepjegyzetek és a fotódokumentáció segítségével beazonosított növényfoltokat társulástani azonosításra alkalmas kóddal (cönotaxonomiai kód) láttuk el. A fő társulástani csoportok a növénytérkép képi megjelenítéséhez színek kódokat kaptak, míg az alacsonyabb rangú csoportokat a fő színre alkalmazott különböző térképezési grafikákkal jelöltük (6. ábra). Összességében mindez együtt alkotja a jelkulcsot.

Az ellenőrzések után került sor az adatbázis szerkesztésére, a leválogatásokra, a layoutok elkészítésére, a növényzettérképek igény szerinti előállítására, a nyomtatási formák szerkesztésére és kinyomtatására, valamint az értékelésre. A részletes adatbázis kinyomtatására nem került sor, csupán az összefoglaló jellegű területadatokéra.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1.1. A KBVR vegetációtérképezés jelkulcsrendszerének egységesítése

A KBVR vegetációtérképezése 1985 óta hamisszines infravörös (IR) légifotók földi interpretációjával víztájkaként került elvégezésre (1. ábra).

kód	Cönotaxonomiai egység	kód	Cönotaxonomiai egység
A	HYDROCHARITION - LEBEGŐ HÍNÁR	Fa	Deschampsietumcaespitosae - sédbúzás mocsárrét
Aa	Lemno-Spirodeletum - békalencse-hínár	Fb	Agrostietumalbae - ártéri mocsárrét
Ab	Lemno-Utricularietum - békalencse-rence-hínár	Fc	Alopecuretumpratensis - ecsetpázsitos mocsárrét
Ac	Ceratophylletumdemersi - érdes tócsagzhínár	Fd	Festucetumpratensis - réti csenkeszes mocsárrét
Ad	Ceratophylletumsubmersi - sima tócsagzhínár	Fe	Poetumpalustris - mocsári perjes mocsárrét
Ae	Hydrochari-Stratiotetum - békátutaj kolokán hínár	G	ARRHENATHERION - ÜDE KASZÁLÓK
B	POTAMION - GYÖKEREZŐ HÍNÁR	Ga	Arrhenatheretum -franciaperjerét
Ba	Polygonetumamphibii - vidra keserűfűhínár	H	Festucionrupicolae - pusztagyeppek
Bb	Myriophyllo-Potametum - nagyhínár	Ha	Festucetumrupicolae - löszpusztarét
Bc	Potametumnodosi - imbolygó békaszőlőhínár	I	BIDENTION - MOCSÁRI GYOMNÖVÉNYZET
Bd	Nymphaeetumalbo-luteae - tündérrózsahínár	Ia	Bidentetumtripartiti - mocsári gyomtársulás
Be	Trapaetumantatis - sulyom	J	ARCTION - ÜDE GYOMNÖVÉNYZET
Bf	Najadetummarinii - tuskéhínár	K	CALYSTEGION - ÁRTÉRI GYOMNÖVÉNYZET
C	PHRAGMITION - NÁDASOK	Ka	Rubo-Solidaginetum - aranyvesszős gyomt.
Ca	Scirpo-Phragmitetum - nádasok	L	AGROPYRO-RUMICIONCRISPI - KÚSZÓ GYOMNÖVÉNYZET
Cb	Typhetumangustifoliae - keskenylevelű gyékény	M	ALNION - LÁPERDŐK
Cc	Typhetumlatifoliae - széleslevelű gyékény	Ma	Calamagrosti-Salicetumcinereae - fűzláp
D	GLYCERIO-SPARGANION - PATAKMENTI NÖVÉNYZET	N	SALICIONALBAE - FÜZLIGET
Da	Glycerio-Sparganietum - patakmenti növényzet	Na	Salicetumalbae-fragilis-fűzliget
Db	Typhoidetumarundinaceae - pántlikafű	Z	Egyéb
E	MAGNOCARICION - MAGASSÁSOSOK	Za	Telepített erdő, erdősáv
Ea	Caricetumacutiformis-ripariae - magassásrét	Zb	Szántó, parlag,
Eb	Caricetum gracilis - éles sásos	Zc	Polikormon megjelenési formájú társulás-mozaik
Ec	Caricetumelatae - zombéksásos	Zd	Pionír társulás-mozaik
F	Agrostion - mocsárrétek	Zz	Növénymentes nyílt víz

2. táblázat KBVR növény-interpretációs (egyszerűsített) jelkulcs (1992-1997)

Az IR légifotók 1:10.000 méretarányú optikai transzformátumain a földi interpretáció során kezdetben egy számalapú – szám-betűsorból álló – jelkulcs alkalmazásával azonosították be és határolták le az egyes, beazonosítható nagyságú (legalább 0,01-0,05 ha) növényfoltokat. A digitális módszerekre való áttéréssel, a légifényképek, ortofotók felbontóképességének javulásával, illetve a cönotaxonomiai egységek finomításával 1982-1997 között folyamatosan finomításra került a jelkulcs-rendszer is. Az 1992-1997 közötti egyszerűsített jelkulcs a 2. táblázatban látható.

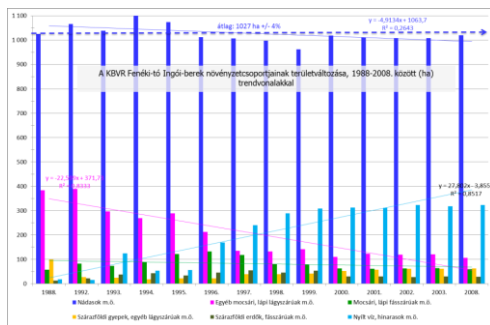
Az 1997. évre több mint 200 cönotaxonomiai egység lett elkülönítve (Dömötörfy-Pomogyi, 1996, 1997; Dömötörfy, 1998):

- lebegő hínár: 20 egység;
- gyökerező hínár: 20 egység;
- nádasok összesen: 58 egység /azokon belül gyékényesek: 19 egység/;
- patakmenti növényzet: 10 egység;
- magassásosok: 40 egység;
- mocsárrétek: 10 egység;
- gyeppek, gyomtársulások: 14 egység;
- láperdők, fűzligetek: 18 egység;
- „kulturterületek”: 10 egység;
- egyéb: 10 egység.



Az Ingói-berekkel összehasonlítva (9. ábra) látható, hogy a nádasok területe enyhén csökkenő tendenciájú (átlag:  $1027 \pm 4\%$ ), de 1988 (1025 ha) és 2008 (1019 ha) között nem szignifikáns a terület-különbség (egyéb mutatókra később térünk ki).

Az üzembehelyezést követő első 7-8 évben mutatkozott némi ingadozás a nádasok területében, de 2000 után az 1000 ha körül beállni látszik. Jelentősen csökkenő az Ingói-berek területén is az egyéb lágyszárúak részese, ugyanakkor növekvő a nyílt víz/hinarasoké. A többi térképezési csoport kevésbé változékony. Ennek oka az is, hogy az Ingói-berek területe egy töltésekkel körbehatárolt 16 km<sup>2</sup>-es részterület, ahol erdőtelepítések, természetes úton történő cserjésedés számára sincs természetes terület, a töltéslábakat, részüket és az azokhoz kapcsolódó magaslatokat (pl. Diás-sziget) leszámítva.



9. ábra Ingói-berek területére vonatkozó változások és azok tendenciái

A vízi- és/vagy mocsári növényzet egymás rovására cserélődhet csak. Ez a részleges üzembehelyezést követően gyorsan be is következett. Az Ingói-beket alkotó 4 víztájon azonban jelentősen eltérnek egymástól a változások és azok trendjei.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Fenéki-tó makrovegetációja tér-idő szerkezetének változásaira a természetes vagy kvázi természetes, „klasszikus” ökológiai tényezőkön túlmenően a direkt emberi beavatkozások: a beruházási program végrehajtása – a kiviteli munkák – során előidézett mesterséges tényezők drasztikusan hatnak. Ezekre az okokra az élőlények – így természetesen a növényzet is – rendkívül gyors válaszreakciót adnak, melyet stresszreakcióknak is tekinthetünk. Ezzel szemben a klímaváltozások – még akkor is, ha az emberi tevékenységre is visszavezethetőek – a természetes és természeteshez közelálló ökoszisztémákban előbbinél jóval lassabban lejátszódó folyamatok. Ennek modellezésére, a hosszútávú prognózisok készítéséhez a makrovegetáció tér-idő szerkezetében lejátszódó sokéves változások tendenciái támpontul szolgálhatnak. Kutatásaink során a Fenéki-tó területének makrovegetáció-változás-elemzéseit valósítottuk meg, mely alapján kiindulási állapotul az 1992. évi, a részleges üzembehelyezést megelőző állapotra vonatkozó növényterképezési adatok javasolhatók. Az ennél korábbi, az 1988. évi felmérés még kevésbé volt részletes, illetve az akkori térképezési módszerek is kevésbé voltak még fejlettek. Az utólagosan digitálisan feldolgozott 1988. évi állapot a kiegészítő elemzésekhez, kétséges esetekben pontosításokhoz, valamint a műszaki beavatkozások állapot-feltáráshoz használható, így

javasoljuk háttérdokumentációként ennek figyelembevételét is. A Fenéki-tóra vonatkozóan elkészített idősoros vegetációtérképek alapján kapott területszámítási adatok és a helyben mért növénykonstansok felhasználásával területi párolgás becslésére kerül sor. Ezt követően a vizsgálataink során a közeljövő éghajlatváltozásait kívánjuk számszerűsíteni időjárás generátorral, amelyhez a vegetáció változás-dinamikáját igazítjuk. A kutatásaink végén a Fenéki-tó jövőben várható párolgotatását fogjuk prognosztizálni.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen cikk a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 számú "Az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásai és a kárenyhítés lehetőségei a következő évtizedekben" című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### IRODALOMJEGYZÉK

Anda A. (2014): Teixeira da Silva J.A., Soos G. Evapotranspiration and crop coefficient of the common reed at the surroundings of Lake Balaton, Hungary. Aquatic Botany (accepted for publication).

Bakó G. (2012): Nagyfelbontású légifelvétel-térképek alkalmazása a vegetációkutatásban. *Kitaibelia* 2012, XVII. évf., 1. szám: pp. Vol. 17, No.1-8.

Berke J. (2010): Using Spectral Fractal Dimension in Image Classification, *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*, Springer Science+Business Media B.V. 2010, DOI: 10.1007/978-90-481-3658-2\_41.

Czauner B., Vojnits A., Majercsik Cs., Mádlné Szőnyi J. (2007): Hidrogeológiai célú vegetáció térképezés a Kelemenszéken. In: XI. Konferencia a felszín alatti vizekről. Konferencia helye, ideje: Balatonfüred, Magyarország, 2007.03.28-2007.03.29. Paper 9.

Dömötörfy Zs., Pomogyi P. (1997): A KBVR vegetációtérképezés módszerei. *Hidrológiai Közöny* 1-2, 1997. pp. 48-49.

Dömötörfy Zs., Reeder D., Pomogyi P. (2003): Changes in the macro-vegetation of the Kis-Balaton wetlands over the last two centuries: a GIS perspective. *Hydrobiologia*, 2003, 506 (1-3): 671-679.

Dronova I., Gong P., Clinton N.E., Wang L., Fu W., Qi S., Liu Y. (2012): Landscape analysis of wetland plant functional types: The effects of image segmentation scale, vegetation classes and classification methods. *Remote Sensing of Environment*, Volume 127, December 2012, pp. 357-369.

Falusi E., Sipos V.K., Penksza K. (2008): Duna-Tisza közti mesterséges vízfolyások vegetáció-térképezése. *Kitaibelia*, 2008, 13:(1) p. 159.

Goetz S., Steinberg D., Dubayah R., Blair B. (2003): Laser remote sensing of canopy habitat heterogeneity as a predictor of bird species richness in an eastern temperate forest, USA. *Remote Sensing of Environment*, 2003, Volume 108, Issue 3, 15 June 2007, Pages 254-263.

Kelly M., Tuxen K.A., Stralberg D. (2011): Mapping change to vegetation patterns in a restoring wetland: Finding patterns in metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological Indicators*, Volume 11, Issue 2, March 2011, pp. 263-273.

Kleinod K., Wissen M., Bock M. (2005): Detecting vegetation changes in a wetland area in Northern Germany using earth observation and geodata. *Journal for Nature Conservation*, Volume 13, Issues 2-3, 15 July 2005, pp. 115-125.

Martínez-López J., Carreño M.F., Palazón-Ferrando J.A., Martínez-Fernández J., Esteve M.A. (2014) Remote sensing of plant communities as a tool for assessing the condition of semi arid Mediterranean saline wetlands in agricultural catchments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 26, February 2014, pp. 193-204.

Móricz N., Kohán B., Mari L., Mattányi Zs. (2004): Potenciális vegetáció térkép készítése GIS felhasználásával In: Barton Gábor, Dormány Gábor (szerk.) A magyar földrajz kurrens eredményei: II. Magyar Földrajzi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2004.09.02-2004.09.04. Szeged: SZTE TTK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 2004. p. 149. (ISBN:963-482-687-3).

Murphy K.J. (2002): Plant communities and plant diversity in soft water lakes of northern Europe. *Aquatic Botany*, Volume 73, Issue 4, August 2002, pp. 287-324.

Nagendra H., Lucas R., Honrado J.P., Jongman R. H.G., Tarantino C., Adamo M., Mairota P. (2013): Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, Volume 33, October 2013, pp. 45-59.

Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság honlapja: <http://www.kisbalaton.hu/fenekito.html>.  
Online: letöltés: 2014.01.10.

Pomogyi P. (1985): Az elárasztás hatására bekövetkezett változások a Kis-Balaton makrovegetációjában (Nach Überflutung eingetretene Veränderungen in der Macro vegetation des Schutzsystems Kleiner Balaton.) XXVIII. Georgikon Napok, Keszthely, 1985. augusztus 22-23. II. 709-716.

Pomogyi P. (2002): A Kis-Balaton Védőrendszer 2002. évi botanikai vizsgálatának összefoglaló értékelése. - NYUDUVIZIG Jelentés, Keszthely, -47.

Pomogyi P., Dömötörfy Zs. (2002): Mennyi nádas pusztult ki a Kis-Balatonon a Vízügyi Rendszer üzemelése során? *Hidrológiai Közöny*, 2002, I-XII. 2002. pp. 96-98.

Szalma E., Bódis K., Juhász G., Zádori A., Szakál Sz., Fejes Cs., Aleksza R., Pomogyi P. (2002): A Kiskörei-tározó hínár- és mocsári növényzetének 1994-1998 közötti változása, a vegetáció-térképek földrajzi információs rendszer (FIR) segítségével való feldolgozása és értékelése. I. *Vízinövények - Hidrológiai Közöny*, 82:(1-12) pp. 128-130. (2002).

Szeglet P., Dömötörfy Zs., Pomogyi P. (1998): A nádas határ változása a Kis-Balatonon az 1950-es évektől napjainkig. XL. *Hidrobiológus Napok Tihany*, 1998. október 7-9. *Hidrológiai Közöny*, 1999. 6. 386-387.

Tommervik H., Johansen B.E., Pedersen J.P. (1995): Monitoring the effects of air pollution on terrestrial ecosystems in Varanger (Norway) and Nikel-Pechenga (Russia) using remote sensing. *Science of The Total Environment*, Volumes 160-161, 15 January 1995, pp. 753-767.

Zlinszky A. (2013): A Balatoni nádasok térképezése és védelme. PhD értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem Biológus doktori iskola Ökológia, Konzervációbiológia, Szisztematika Doktori Program 2013.

Zlinszky A., Mücke W., Lehner H., Briese C., Pfeifer N. (2012): Categorizing Wetland Vegetation by Airborne Laser Scanning on Lake Balaton and Kis-Balaton, Hungary. *Remote Sensing* 2012, 4, 1617-1650; doi:10.3390/rs4061617.

Zlinszky A., Tóth V., Pomogyi P., Timár G. (2011): Initial report of the aim wet lab project: simultaneous airborne hyperspectral, lidar and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica*, No. 1, 2011, pp. 101-117.

# Invazív növényfajok feltérképezése nagyfelbontású légi távérzékeléssel

## Módszertani leírás és pontosság analízis a kanadai aranyvessző és a keskenylevelű ezüstfa detektálására

Huber Nóra<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Szent István egyetem

**Összefoglalás**— Az invazív növényfajok világméretű térhódítása szinte minden ember számára feltűnő jelenség, de csak kevesen tudják felmérni ennek valós környezeti hatásait, különösen hosszú távlatokban gondolkodva. Magyarország természetes élőhelyeinek jelentős részén az inváziós fajok megjelenése és elterjedése komoly természetvédelmi problémaként jelentkezik. Elsősorban a védett területek életközösségiben való elszaporodásukkal veszélyeztetik a ritka és őshonos fajok fennmaradását. Egy invazív fajokkal fertőzött terület felszínborítási adatainak meghatározása kulcsfontosságú feladat a védekezés szempontjából. Napjainkban távérzékelési eljárások széles választéka kínálkozik a különböző természet-és tájvédelmi célok megvalósítására. Vizsgálataim során az új fejlesztésű magyar távérzékelési mérőberendezések alkalmazási hatékonyságát elemeztem két inváziós növényfaj, a kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*), illetve a keskenylevelű ezüstfa (*Elaeagnus angustifolia*) területi lefedettségének meghatározásában.

**Index Terms:** Invasive plants, Aerial remote sensing, classification, *Solidago*, *Elaeagnus*.

**Kulcsszavak:** Invazív növényfajok, légi távérzékelés, aranyvessző, ezüstfa.

### 1. Bevezetés

A kultúrnövények homogenizálódása és az ember tájtalakító tevékenysége olyan mértékben felgyorsult, hogy mára egy világméretű környezeti problémává vált az invazív növények előrenyomulása. Az invazív fajok elsősorban az őshonos vegetáció kiszorításával veszélyeztetik a természetes életközösségeket. Megjelenésük és elszaporodásuk védett és ritka növényfajok eltűnéséhez, élőhelyek pusztulásához, a biológiai sokféleség drasztikus csökkenéséhez vezet. Az ellenük való védekezés egyik alapfeltétele elterjedésük monitorozása, mely kulcsfontosságú feladattá vált világszerte.

A különböző távérzékelési technológiák fejlődése és széleskörű alkalmazása sok más tudományterület mellett, a vegetációkutatásban is komoly előrelépést jelentett, hatékony, új módszerek kialakulását elősegítve. Az információszerzés és feldolgozás terén kiemelkedő jelentőségű a speciális mérnöki felvételek kiértékelése alapján történő adatgyűjtési eljárások köre, a fotogrammetria tudománya. Egy terület növényállományának összetétele, szerkezete, valamint elterjedése nagyfelbontású légi ortofotók szoftveres elemzésével gyorsan és eredményesen, igen nagy pontossággal tanulmányozható. A vizsgálat szempontjából optimális részletgazdagság és pontosság elérését a célfeladatnak megfelelő geometriai és spektrális felbontás teszi lehetővé.

Az Interspect kutatócsoport által kifejlesztett IS 4 kamerarendszert speciálisan nagy felbontású légi felvételek készítésére tervezték. A 0,5 cm/pixel terepi felbontás elérését is elősegítő mérőkamera segítségével a vegetáció olyan sajátosságai is megfigyelhetők, mint a lombszerkezet, a levélállás, a levél- és kéregszín. A műszerrel elérhető terepi felbontás a flóra egyes elemeinek azonosítását és lehatárolását, illetve a pontos fajmeghatározást is elősegíti, míg a mérőberendezés spektrális érzékenysége az ökofiziológiai jellemzők vizsgálati lehetőségét terjeszti ki. Kutatásom során a nagy felbontású légi felvételekből előállított ortofotó-mozaik szoftveres elemzését alkalmaztam két invazív növényfaj, a kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*), illetve a keskenylevelű ezüstfa (*Elaeagnus angustifolia*) területi lefedettségének meghatározásához. Céлом, az alkalmazott módszer hatékonyságának és megbízhatóságának bemutatása a vizsgált fajok példáján keresztül.

### 2. Áttekintés

Távérzékelés során a természet folyamatairól, jelenségeiről, objektumairól a visszavert vagy az általuk kibocsájtott sugárzást rögzítve jutunk információkhoz (Lóki 2002). A passzív (jelkibocsátás nélküli) távérzékelési módszerek nem befolyásolják a vizsgált felszín állapotát, elegendő távolságról elvégezve nem fejtenek ki semmiféle káros hatást a felmért felszín állat és növényvilágára, nem zavarjuk meg az ott megtalálható élőlényeket. Vagyis, a távérzékelés egy olyan eljárás, amely során a megfigyelt tárgy jellegéről és tulajdonságairól anélkül szerzünk adatokat, hogy azzal közvetlen kapcsolatba lépni (Detrekői-Szabó 2005). Ennek megfelelően definiálhatjuk a távérzékelést úgy is, mint „a távolból való megfigyelés tudományát” (Barrett-

Curtis 1992). A távérzékelés fogalma az adatszerzés mellett az adatok elemzését és kiértékelését is magába foglalja (Lóki 2002).

A fotogrammetria a görög eredetű fotos (fény), gramma (kép) és metron (mérték) szavakból származtatható szóösszetétel, mely tükörfordításban fényképmérést jelent. A fotogrammetria, mint tudományág, mérésre alkalmas fényképek, ún. mérőképek készítésével, feldolgozásával és kiértékelésével foglalkozik. Ezek a mérőképek lehetnek földi-, légi-, illetve kozmikus felvételek. „A fotogrammetriát a fényképek alapján történő alak-és méret meghatározás művészetének és tudományának” is nevezik (Kraus 1998), a távérzékeléssel beszerzett állomány geometriai helyesbítését értjük alatta.

A két definíció ismeretében megállapíthatjuk, hogy a fotogrammetria valójában a távérzékelés résztudománya, annak egyik eljárása (Nagy 1998), egy olyan a távérzékelés gyűjtőfogalmába tartozó adatnyerési forma, amely a földfelszín objektumainak közvetlen érintése nélkül teszi lehetővé azok tulajdonságainak meghatározását és mérést (Kraus 1998). Valójában a távérzékeléses adatgyűjtés és a fotogrammetria ma már elválaszthatatlan szakterületek, amelyek alkalmazása a célterkép készítés és a térbeli adatgyűjtés esetében egymás nélkül értelmezhetetlen (Bakó 2012).

### 2.1 Az ortofotó-mozaik elkészítése

Számos csoportosítási lehetőség létezik a fotogrammetria tudományának felosztására, ám a legtöbb szakirodalom általában három nagy kategóriát különít el: a felvétel helye, a kiértékeléshez használt képek száma, valamint a kiértékelés módja szerint.

Az egyképes vagy síkfotogrammetria a kiértékeléshez egyetlen képet használ fel, így a domborzati különbségekből fakadó geometriai hibákat nem semlegesíti és kétdimenziós helymeghatározást tesz lehetővé. A többképes vagy térfotogrammetria, melyet sztereo- vagy modell fotogrammetriának is neveznek, azon túl, hogy a domborzati torzulásokat is kijavítja, a képek páronkénti feldolgozásával és az így létrehozható térhatás segítségével teszi lehetővé a térbeli meghatározást.

Analóg képfeldolgozás során az eredeti, analóg felvételek alapján optikai-mechanikai módszerrel visszaállítják „a képek felvételi helyzetét”, vagyis azokat a sugárnyalábokat, melyek a képet létrehozták a felvételkészítés pillanatában, s a további méréseket ezek segítségével végzik el. Az analitikus fotogrammetria szintén nyers felvételekből indul ki, viszont a kiértékelés itt már számítógép segítségével történik, és a fényképen mért pontok képpontkoordinátái valamint a tereppontok geodéziai koordinátái között lévő matematikai összefüggéseken alapszik. A mérések megbízhatósága elsősorban a kiindulási adatok pontosságától függ. A térfotogrammetriai módszert tekintik a legnagyobb mérési pontosságot biztosító eljárásnak (Kraus 1998). Az ortofotók előállítására légi felvételekből az ortorektifikáció folyamatán keresztül valósul meg. Az eljárás eredménye egy perspektív és egyéb (dőlésből, elfordulásból, magasság- és méretarány különbségből adódó) torzulásoktól mentes, nagy pontosságú ortofotó. Egy területet lefedő ortofotók egységes képpé formálásával (mozaikolásával) légifelvétel-térkép készíthető. A művelet során az egymással átfedő fényképek határvonalainak eltüntetése történik. Ezen térképek közös jellemzője a geometriai pontosság, valamint a fényképi jellegből adódó részletgazdagság, mely számos felszíni információt tárol a felvételezett területről egy adott időpontra vonatkozólag.

Paul J. Curran, amerikai természettudós szerint a nagy kiterjedésű területek légi felvételezésénél nélkülözhetetlen a geometriai és radiometrikus pontosság, melyet kifejezetten erre a célra tervezett légifelvételkészítő műszerek használatával érhetünk el. Egyes szakirodalmak térképező kameráknak is nevezik ezeket, a speciálisan fotogrammetriai célok kiszolgálására kialakított felvételkészítőket, amelyeket a lehető legkisebb optikai és geometriai hibalehetőséggel rendelkező, nagy felbontású, centrális vetítésű képek készítésére terveztek (Campbell 2002). A mérőkamerák az ún. mérőképek előállítására alkalmasak, melyek további kiértékelésre, vagyis az objektumok geometriai, alaki és

fizikai jellemzőinek meghatározására használt felvételek (Temesvári 2010). A fent említett célok ellátása érdekében a kamerák működésével szemben támasztott legfontosabb követelmény a részletgazdagság, azaz az optika élessége és felbontóképesége, a mérthelesség, vagyis az elrajzolás mentes leképezés valamint a geometriai hűség (Kraus 1998). Egy terület légi felvételezésekor a pontos és részletgazdag adatgyűjtés szempontjából elengedhetetlen a megfelelő felbontású, rendkívül érzékeny és gyors kiolvadású mérőkamera használata. A jelenleg elérhető legnagyobb terepi felbontású légi térképező eszköz kifejlesztése, az Interspect Csoport mintegy hat éves kutatómunkájának az eredménye. 2006 - 2010 között négy különböző kamerarendszer került kialakításra, természet-és tájvédelmi célú térképészeti feladatok ellátására. A fejlesztés irányvonalát elsősorban a spektrális és geometriai felbontás javítása, vagyis a felvételek információtartalmának, illetve pontosságának növelése jelentette. Az Interspect szenczországi negyedik tagja (IS 4) egyedülálló felbontási paramétereivel az alkalmazott technológia élvonalát jelenti. A látható fény (RGB) és a spektrum közeli infravörös tartományában 16 csatornát képes rögzíteni, ebből 12 csatorna spektrális érzékenysége a felvételkészítés célja szerint változtatható. 0,5 cm-es terepi felbontással világrekordot ért el a rendszer segítségével 2012-ben (Bakó 2012, Bakó-Molnár 2012).

Az Interspect mérőkamerát szabványos lesség, felbontás, optimális kontraszt, kiváló expozíciós érzékenység, kiterjesztett korlátozott tónustartomány jellemzi, de a felvételek minőségét a légkör nedvességtartalma és szennyezettsége is befolyásolja.

A föld felszínén lévő objektumok (vegetáció, talajok, kőzetek) spektrális válaszele eltér az elektromágneses spektrum fotográfiaillal érzékeny tartományában is. Ezt a tulajdonságot használják ki a multispektrális készülékek és különböző spektrális érzékenyítésű csatornákon készítenek légifelvételeket az adott területről egyidejűleg, tehát azonos geometriai nézőpontról. Az így kapott eredmény, különböző hullámhosszon készült felvételkomplex, amely csatornáinak együttes elemzése a tereptárgyak képi elkülönítésére alkalmasabb megoldást nyújt (Curran 1985). „A kombinációk segítségével sokszorosára nő az értelmezhető jelenségek köre, ami a felhasználási lehetőségeket is kibővíti” (Horváth-Simonkócs 1977).

### 2.2 Vegetáció felmérésre alkalmas felvételek készítése és kiértékelése

Az egyes légi felvételek hasznosítható információ-tartalma kódolva van a képek jellemző tulajdonságai (tónus, szín, árnyék, méret, alak, textúra, mintázat) által, mely tulajdonságok „együttes megfigyelésével a tanulmányozás tárgyává tett jelenségek értelmezhetőkké válnak” (Horváth-Simonkócs 1977). Ezek feltárása, osztályozása és összefüggésinek elemzése a légifelvétel-interpretáció keretében valósul meg. Az interpretáció folyamata a fényképek értelmezését és feldolgozását követően lehetővé teszi az eltérő igényeknek megfelelő tematikus térképek előállítását (Nagy 1998). A felvételek kiértékelése alapvetően kétféle módon történhet: vizuális illetve digitális eljárással.

A természet-és tájvédelmi célok érdekében, különböző távérzékelési technológiákkal végzett vegetáció felmérés és elemzés napjainkra már kulcsfontosságúnak bizonyul az adatnyerési eljárások körében. Egy légi úton felvételezett terület, a növényállomány állapotáról, struktúrájáról, elterjedéséről, nagyságáról olyan információkat szolgáltat, melyek terepi felméréssel egyáltalán nem vagy csak kismértékben határozhatók meg. Azonban meg kell jegyezni, hogy a két módszer egymás elengedhetetlen kiegészítője, ugyanis az adatok hitelességét a helyszíni ellenőrzés és mintavételezés biztosítja. A gyakorlatban tehát a fotogrammetriai úton elkülönített vegetáció-foltok a távérzékelési adatokat kiegészítő, terepi felmérés során hozzárendelt minőségi és mennyiségi információkkal együtt alkotják a kiértékelt tematikus növényállomány-térképet (Bakó 2013b).

A különböző flóraelemek, vegetációtípusok, növényfajok felismerése és elkülönítése a köztük lévő különbségek alapján, csak optimális képmínőség mellett valósítható meg, mely elsősorban a terepi felbontás, árnyalatterjedelem, árnyalatgazdagság, zaj és közeghiba mentesség és pontosság függvénye. A terepi felbontás (cm/pixel) az 1 pixelre eső terepi folt cm-ben mért oldalhosszúságát jelenti, tehát a felvételek részletességét határozza meg a térképi felbontással fordított arányosságban. Vegetációtérképezés céljaira általában nagyfelbontású (30 cm/pixel-nél jobb felbontású) légi felvételek használatosak (1.ábra). A terepi pontosság a térkép geometriai és méretaránybeli hibáit mutatja meg, szórással vagy középhibával számszerűsítve (Bakó 2011).



**1. ábra** Nagy felbontású légifelvétel-térkép részlete.  
(Fotó: Interspect Kft., Bakó Gábor)

Az ortofotók terepi felbontását mindig a felvételkészítés céljához, valamint az adott vegetációtípushoz igazodva kell megválasztani. Ezen kívül a felismerés alapvető feltétele a különböző növényfajok texturabeli, színbeli, valamint morfológiai bélyegeinek pontos ismerete. A kisebb felbontású (30 cm/pixel terepi felbontásnál kisebb részletességű) felvételek általában az erdőgazdálkodásban, a különböző felszínborítási kategóriák (lombos, örökzöld erdők, bokrosodó területek) elkülönítésére alkalmasak. A felbontás növelésével arányosan javul az egyes fajok felismerhetősége, a vegetációfoltok minél pontosabb lehatárolási lehetősége. 10 cm/pixel terepi felbontás már lehetővé teszi a flóra részletesebb vizsgálatát, egyes fajok esetében a pontos fajmeghatározást, a nádasok, mocsarak és egyéb vizes élőhelyek optimális elemzését, a növénybetegségek által fertőzött területek felderítését. Az igazán nagy (3-7 cm/pixel) felbontású légi felvételeket gyeppek, valamint lágy szárú növények feltérképezésére, továbbá fás szárú növények esetében a levélállás és levélmorfológia meghatározására használják (Bakó 2010).

### 3. Növényi inváziók

#### 3.1 Az invázióval kapcsolatos fogalmak áttekintése

A magyar szaknyelvben, valamint köznyelvben egyaránt elterjedt inváziós faj kifejezés a latin eredetű invázió szóra vezethető vissza, melyből később több, ma is használatos szinonim alak keletkezett, mint például az angol megfelelők (invader, invasive) magyarosításával az invádor vagy invazív elnevezések. Ezek mellett még gyakori forma az özőnnövény és az özőnfaj és szintén jelen van a köztudatban az idegenhonos és tájidegen szóalak (Mihály-Botta-Dukát 2004). Az inváziós faj fogalmának meghatározására számos alternatíva létezik, és a különböző szakirodalmak sokszor igen eltérő értelemben használják azt: egyes definíciók csak a gazdasági és ember-egészségügyi kárt okozó fajokat tekintik invazívnak

(Környezetvédelmi Lexikon), míg mások természetvédelmi szempontból különítik el ezeket a szervezeteket (IUCN). Azonban leegyszerűbben megfogalmazva elmondható, hogy „a biológiai invázió egy nem őshonos faj terjedését jelenti” (Csiszár 2012). Ez kicsit kibontva a következőképpen hangzik: „Általános értelemben adott területen, adott tér-és időskálán akkor beszélhetünk invázióról, ha egy nem őshonos faj elterjedési területe és populációmérete a számára megfelelő élőhelyeken az adott tér-és időskálán monoton módon növekszik” (Mihály-Botta-Dukát2004).

Egy faj invazívá válása során, az elterjedés sikeressége szempontjából több szakasz különíthető el. Az első, az ún. spontán megtelepedés, amikor kialakul az élőlények egy vadon élő, önállóan szaporodó csoportja, melynek képviselői az alkalmi jövevény fajok. Mivel fennmaradásuk folyamatos emberi tevékenységhez kötődik, az ide tartozó növények jelentős része nem lép tovább az invázió következő szakaszába, és kipusztul. Azokat a fajokat, amelyek a tartós megtelepedés során elérik az önfenntartó populációméretet és emberi beavatkozás nélkül, minimum 10 évig képesek azt fenntartani, meghonosodott jövevényeknek nevezzük. Az özőnnövények gyakorlatilag terjedő meghonosodott jövevények, azok a fajok, melyek igen nagyszámú reproduktív utód létrehozására képesek az anyanövénytől jelentős távolságra, ily módon hatalmas területen képesek elterjedni. A behurcolt, idegen vagy jövevény fajok jelenléte az adott területen szándékos vagy véletlen emberi tevékenységnek köszönhető, így ezek gyűjtőfogalmába az eddig említett kategóriák mindegyike besorolható (Richardson-Pyšek 2006).

A növényi inváziók definiálásánál további fontos szempont a behurcolás időpontja, mely alapján megkülönböztetjük az Amerika felfedezése előtt (*archeofitonok*) és után (*neofitonok*) megjelenő özőnfajokat. Az előbbieket, az ún. őjóvevényfajok általában közelebbi területekről (főként a Mediterráneumból), kisebb lépésekben érkeztek, és képviselői többnyire a mezőgazdasági gyomnövények, míg az utóbbiak csoportját képező újjóvevényfajok távolabbról, viszonylag nagy ugrásokkal, természetes ellenségeiket maguk mögött hagyva kerültek a természetes és féltermészetes élőhelyekre, komoly természetvédelmi problémákat okozva napjainkban (Mihály-Botta-Dukát 2004).

#### 3.2 Hazai és nemzetközi invázió kutatás

Az invázióval kapcsolatos kutatások kialakulása szoros összefüggésben van a botanika tudományának fellendülésével, valamint a Föld növénykészletének felgyorsult mértékű homogenizálódásával, ami a 18. századra tehető. Bár tudjuk, hogy az inváziós tevékenység már a neolitikumban kezdetét vette a mezőgazdaság megjelenésével, erről az időről és az itt végbemenő biológiai változásokról mégis igen kevés információ áll a kutatók rendelkezésére. Az első, jövevény fajokkal foglalkozó tudományos munka a *De coloniis plantarum* (1768), mely Linné egyik tanítványa, Johan Flygare nevéhez fűződik. Ennek hatására egyre több, növényi invázióval kapcsolatos beszámoló látott napvilágot a 18-19. századi botanikusok körében. Ebben az időben a kutatások elsősorban az új fajok megjelenésének és térhódításának dokumentálást tűzték ki célul, bár Darwin az 1859-ben megjelent *A fajok eredete* című művében már az első, invázió mechanizmusaira vonatkozó hipotézist írta le: „elsősorban a nem őshonos genusok fajai a sikeresek, tágabb értelemben minél kevésbé vannak egy fajnak az új hazában rokonai, annál inkább képes elszaporodni, mert a verseny a közeli rokonok között a legerősebb.” A 20. század eredményei közül az egyik legmeghatározóbb, Charles S. Elton *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (1958) című könyve, mely az invázióökológia tudományának születését tette lehetővé. Azt ezt követő időszak jelentősége főként a témában írt tudományos cikkek és értekezések egyre növekvő számában nyilvánult meg (Mihály-Botta-Dukát 2004).

Az invázió kutatás hazai pilléreit Kitaibel Pál munkássága teremtette meg a 18. században. Egyes művei számos, Magyarországon fellelhető invazív fajról számoltak be, mely adatok a későbbi botanikai vizsgálatok elengedhetetlen

alapjául szolgáltak. A 19. és 20. században a jövevényfajok további tanulmányozása olyan kiemelkedő botanikusok nevéhez fűződik, mint Borbás Vince, Jávorka Sándor, valamint Soó Rezső. A hazai és nemzetközi invázióval kapcsolatos kutatások iránya egészen az 1900-as évek kezdetéig hasonló tendenciát mutatott, amit átmeneti megtorpanás követett a magyar szakemberek részéről.

Napjainkban az invázió kutatás általában négy fő témakört ölel fel, melyek már Elton, 1958-as könyvében is megjelentek: 1. Az egyes fajok eltérő inváziós képessége, vagyis azok a tulajdonságok, amik képessé tesznek egy fajt a hatékony invázióra. 2. Az egyes területek vagy életközösségek eltérő invázióval szembeni ellenálló képessége, azok a sajátosságok, amelyek egy társulást érzékenyebbé tesznek bizonyos fajok inváziójára. 3. Az invázió általában negatív hatásai. 4. Az invázióval szembeni hatékony védekezés (Mihály–Botta–Dukát 2004).

A biológiai invázió egy természetes jelenség, mely mindig is része volt az élőlények evolúciós történelmének, ám az elmúlt évtizedekben ez a folyamat olyan ütemben felgyorsult, hogy mára az idegenhonos fajok behurcolása az ember által okozott globális környezeti változások egy meghatározó elemének tekinthető (Vitousek et al. 1996). A negatív hatások az egyedek szintjén, a genetikai állományban, a populációdinamikában, valamint az ökoszisztéma működésében egyaránt jelentkezhetnek (Parker et al. 1999). Az invazív fajok sokszor nem közvetlenül az őshonos populáció egyedeit károsítják, csupán megváltoztatják azok ökológiai szerepét, ezzel komoly változásokat indukálva. Jelentős szerepük van továbbá a fajok kihaltási rátájának növelésében, így a különböző biológiai rendszerek homogenizálódásával hozzájárulnak a biodiverzitás csökkenéséhez, leírhatatlan veszteséget okozva világszerte (Vila et al. 2006). Az özönnövények térhódítása gyakran olyan méreteket ölt, hogy az adott életközösségre nézve az elsődleges veszélyeztető faktorrá válik. Észak-Amerika lombhullató erdőiben például kimutatták, hogy az invázió által bekövetkezett változások jóval felülmúlják az egyéb környezeti problémák, úgy mint savas esők és szennyezések negatív hatásait (Lövei 1997). Habár, általában lokálisan és csak pár fajt érintve fejt ki hatását, az invázió mégis egy egész világra kiterjedő, globális veszélyt jelent a természetes életközösségek számára.

### 3.3 Az invázióval szembeni védekezés

Az inváziós növényfajok terjedése leginkább azokon az élőhelyeken figyelhető meg, ahol az adott életközösség természetes állapota emberi hatás következtében felbomlott, ezáltal mintegy teret nyitva a lehetséges hódítóknak. A védekezés szempontjából elengedhetetlen a szomszédos élőhelyek növényi összetételének ismerete, hiszen a természetben nincsenek éles határok, így egy adott terület inváziója önmagában gyakorlatilag nem értelmezhető. Leghatékonyabban már az idegenhonos faj megjelenése előtt lehet védekezni, illetve amikor a növény elterjedése még a kezdeti fázisban van. Az inváziós fajokkal szembeni védekezés módszereit két nagy csoportra oszthatjuk: kémiai, illetve nem kémiai eljárások. Amennyiben lehetséges, az utóbbit kell előnyben részesíteni, azonban ez legtöbbször munka és időigényes, alkalmazása pedig gyakran korlátozott. A kémiai védekezés legnagyobb kockázata, hogy az adott élőhely ökológiai egyensúlyát befolyásolhatja, veszélyt jelentve a beporzó rovarokra, magasabb rendű élőlényekre. Az alkalmazott technológiát ennek tükrében célszerű megválasztani, törekedve a lehetséges kockázatok minimalizálására. Ez kiemelten fontos a védett területeknél, ahol minden esetben egyedi engedélyeztetési eljárásnak kell megelőznie a kezelést. Nagyon fontos, hogy a megfelelő kemikália megfelelő időben, megfelelő dózisban valamint megfelelő módon kerüljön felhasználásra és csak adott foltokat, fertőzött területeket érintsen (fókuszált beavatkozás). Nagyobb területek esetén a térbeli felmérés, előzetes hatástanulmány készítése, és a kockázatok elemzése kulcsfontosságú lehet, mivel megalapozza a költségek optimalizálását, a területek bolygatásának minimalizálását. A védekezés hatékonyságát nagyban elősegítik a kezelések utáni utómunkálatok, úgy, mint a terület természetes állapotának

visszaállítása, őshonos fajok telepítése (Mihály–Botta–Dukát 2004).

### 3.4 Keskenylevelű ezüstfa (*Elaeagnus angustifolia* L.)

Az eredetileg Ázsia meleg kontinentális területeiről származó keskenylevelű ezüstfát (*Elaeagnus angustifolia*) előnyös tulajdonságai miatt kezdték telepíteni a természetes áréáján kívüli helyeken, ahol később elvadulva invazív vá vált. Mint a legtöbb idegenhonos fajnak, gazdasági jelentősége kimagasló: szerteágazó gyökérrendszere, szárazságtűrő képessége, kis tápanyagigénye alkalmassá teszi a laza homoktalajok megkötésére, ezáltal jelentős szerepe van az erózióvédelemben, sőtűrése következtében a szikfásítás egyik leggyakoribb fajtája, rendkívül igénytelen, a szennyezett levegőt, városi környezetet rendkívül jól tolerálja, ezen kívül jó mézélő, termése C-vitaminban gazdag, melyet egyes helyeken gyümölcsként fogyasztanak. Ezek a sajátosságok azonban sok egyéb adaptív jellemzővel együtt (hatékony terjedés, gyors csírázás, szimbionta nitrogénfixálás, gyors növekedés, korai termőre fordulás, jó regenerációs képesség), talaj és élőhely átalakító hatás mind hozzásegítik a fajt a sikeres invázióhoz. Levelei és hajtásai cserzőanyag-tartalmának köszönhetően igen kevés természetes károsítója van, mely szintén előnyt jelent számára az őshonos egyedekkel szemben. A faj jelenléte hazai vonatkozásban igen sokféle élőhelytípus számára jelent természetvédelmi problémát. Megjelenése és elszaporodása az ültetett állományok közelében, általában ártereken, nedves réteken, folyópartokon jellemző. Fátlan közösségekben való elterjedése a fényigényes fajok visszaszorításával okoz komoly károkat, míg a szikes területeken ligetes állományok létrehozásával számos védett és ritka növényfaj természetes élőhelyét alakítja át, az őshonos populációk egyedszámának jelentős csökkenését eredményezve. A szikes tavak mentén szintén gondot jelent tömeges előfordulása, ugyanis fészkelő helyet teremt azon ragadozók számára, melyek elszaporodása a honos vízmadár-kolónia nagymértékű visszaeséséhez vezet. Problémát jelent továbbá a faj nitrogénfixáló tulajdonsága, mely a természetes életközösségeket veszélyeztető nitrofil gyomok megjelenését indukálja az adott területen. Tetemes károkat okoz a Balaton-felvidéken, tönkreteszi a hagyományos tájképet, károsítja a legelő területeket. A Baranyai-dombvidéken és a Pécsi-síkon is tömeges a megjelenése, a Csepel-sziget északi felén rohamosan terjed. Leghatékonyabb védekezés ellene az új egyedek meglepedésének megelőzése, elszaporodott állományainak végleges kiirtása ugyanis szinte lehetetlen, igen erős regenerációs képessége és effektív terjedése következtében (Mihály–Botta–Dukát 2006).

### 3.5 Kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis* L.)

A kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*), ahogy neve is utal rá, az észak-amerikai kontinens őshonos faja, amely dísznövényként való telepítése során került ki az elterjedési területéről, majd a természetes életközösségekben való elszaporodásával vált Európában egyik legagresszívabban terjedő invazív fajává. Erős kompetíciós képességét számos, erre adaptálódott tulajdonsága támogatja. A talaj víz- és tápanyag-ellátottságára nem érzékeny, igen sokféle termőhelyen megél, nagy kiterjedésű telepeket létrehozva. Intenzív növekedése és sűrű hajtásfejlődése a terület leárményekölésével a vetélytársak fejlődését akadályozza. Míg eredeti élőhelyén több mint 300 rovarfaj károsítja, Európában szinte nincs természetes ellensége, mely szintén hozzájárul a sikeres térhódításához. Allelopatikus hatással ugyancsak a honos vegetáció növekedését gátolja közvetlenül, illetve közvetve a talajlakó baktériumok működését korlátozva. Bár természetéhez általában nem fűződik gazdasági érdek, jó mézélő növény, szárított hajtásait pedig gyógynövényként hasznosítják. További telepítésének megelőzését azonban számos negatív hatása indokolja. Az őshonos vegetációt általában zárt állományaival veszélyezteti, a növényzet fajgazdagságának csökkenését eredményezve. Az eredeti növénytakaró átalakulása az ökoszisztéma egészét

érinti: megváltozik a mikroklíma, a gerinctelen és gerinces fauna igen sok egyedének élettere tűnik el, mely további fajok visszaszorulásához vezet. A Balatoni nádasokban, elsősorban a pusztuló állományban és a nádas területek peremén a madarak élőhelyének megváltozásán keresztül jelent természetvédelmi veszélyt (Bakó 2013a), de a tölgyerdők megújulását gátolva is jelentős károkat okoz. Erdei közösségekben való megjelenése és elterjedése a csemeték növekedését gátolva komoly veszélyt jelent az erdőalkotó fajokra. Ember-egészségügyi szempontból allergén hatása miatt nem kívánatos faj nagyobb városok, illetve lakott területek környékén. A hatékony védekezés elvi alapja a megelőzés, illetve elszaporodása kedvező feltételeinek megszüntetése, a táj eredeti állapotának visszaállításával. Természetes és természet közeli élőhelyeken ez általában rendszeres legeltetéssel és kaszálással, valamint megfelelő talajműveléssel valósul meg. Kiirtása mechanikus vagy vegyszeres módszerekkel igen nagy kockázatot jelent főként a természetvédelmi területekre nézve, ritka és védett növényfajaink ugyanis kevésbé tolerálják az ilyen jellegű beavatkozásokat (Bakó2013a, Mihály–Botta-Dukát 2004).

## 4. Módszer

A vizsgálat alapjául egy 4,5 cm/pixel terepi felbontású, geometriailag és radiometriailag korrigált, szabatos, EOVS rendszerű ortofotó mozaik valószínűsítő csatornákat szolgált, melyet az Interspect Kft. készített 2012. júliusában, IS 4 típusú mérőkamerával, Szigetszentmiklós külterületén. Az elemzésekhez a felvétel egy 6,8 hektárnyi területet reprezentáló részét határoltam le vizsgálati mintaterületnek, mely egy művelés alól kivett gyümölcsös (korábban kivágott alma ültetvény) egyik szegletét fedi le (2. ábra). Ez a terület az általam vizsgált invazív fajokkal (kanadai aranyvessző és keskenylevelű ezüstfa) erősen fertőzött, így a kutatási célok megvalósításához ideális alapot jelentett.

A felvétel kiértékelését terepi szemle előzte meg, ahol ellenőriztem a légi fénykép alapján azonosított vegetációs elemeket, valamint feltérképeztem a vizsgálati terület invazív fertőzöttségét. A két faj területi lefedettségét az ortofotó-térkép vizuális interpretációjával, illetve számítógépes osztályozásával határoztam meg, majd az eredményeket összevetve pontossági analízist készítettem. Vizuális interpretáció során először lehatároltam a vizsgált fajok által borított terepi foltokat, hézag és átfedés mentes poligonokból felépülő vektoros térképi fedvényt létrehozva. Ezt később kiegészítettem további két kategóriával, majd az így kapott felszínborítási adatokat referenciaként használtam fel a számítógépes eljárások pontosságvizsgálatához.

A szoftveres elemzést ellenőrzés nélküli, illetve ellenőrzött osztályozással is elvégeztem. Az osztályozás lényege, hogy a felvétel minden egyes képpontját különböző csoportokba sorolja a program bizonyos algoritmus szerint. Az eljárás segítségével megállapítható, hogy az általam vizsgált növényfajok lefedettségi értékei mennyire közelílik a kézi módszerrel nyert adatokat. Habár, csak a két fajlokálizálása a cél, mégis szükséges bevonni az elemzésbe az összes jellegzetes területet, mivel az invazív növények területfoglalási méretei általában csak környezetükkel együtt értelmezhetőek. Ez alapján a következő kategóriákat határoztam meg: aranyvessző, ezüstfa, egyéb fás szárúak, egyéb lágyszárúak. Az ellenőrzés nélküli osztályozás során a hasonló visszaverődési értékű képpontokat keresi meg a program, feltételezve, hogy azok közel azonos felületről származnak, így a különböző felszínborítási területeket egy-egy osztályba sorolja. Az ellenőrzött osztályozásnál az elemző adja meg az elkülöníteni kívánt folt típusokat, mint tanuló területeket, amelyekhez a számítógép hasonlókat keres az osztályozás során. A vizuális interpretációval és a számítógépes osztályozással kapott eredmények összehasonlításánál az egyes felszínborítottsági kategóriák lefedettségi hibaarányát határoztam meg. A lefedettségi hibaarány nem más, mint a vizuális és számítógépes eljárással nyert számszerű adatok különbségének a százalékban

kifejezett értéke, a kézi módszer eredményeihez képest. Kiszámítására az alábbi képlet alkalmazható:

$$\text{Lefedettségi hibaarány}[\%] = \frac{|\text{Vizuális} - \text{Számítógépes}|}{\text{Vizuális}} \cdot 100$$

A különböző módszerekkel végzett vizsgálatok összehasonlítása során számítottam még átlagos lefedettségi hibaarányt, amely az utóbbi, kategóriánként meghatározott lefedettségi hibaarányok számtani közepe.

A vizuális kiértékelést a QuantumGIS 2.0.1, a számítógépes analízist a MultiSpec nyílt forráskódú szoftver segítségével végeztem. A statisztikai számításokhoz és a diagramok készítéséhez MS Excel-t használtam.

## 5. Vizsgálati eredmények és értékelésük

### 5.1 Terepi vizsgálat

A különböző kiértékelési eljárások előtt, a terepbejárásnak igen jelentős szerepe van abban, hogy egy átfogó képet kapjunk a vizsgált terület botanikai állapotáról, valamint felmérjük a vizsgálat szempontjából fontos tényezőket. A rendelkezésre álló légi felvétel alapján a két faj viszonylag jól felismerhető és lokalizálható, a terepi viszonyok ismerete azonban elengedhetetlen az alapos és eredményes munkavégzéshez, valamint a felvétel megbízhatóságának ellenőrzéséhez. Az előzetesen, légi fénykép alapján felmerülő probléma a helyszínen is nyilvánvalóvá vált: a táj természetes állapota sérült, a vizsgált fajok egyedszáma meghatározó, a terület invazív fertőzöttsége jelentős. A felvételen megfigyelhető felszínborítási elemek a terepen is igen jól azonosíthatók, de geometriai meghatározásuk terepi körülmények között lehetetlen. Ez az aranyvessző esetében három jellegzetes kategóriát jelent: 1. ahol a faj csak szórványosan vagy egyáltalán nincs jelen, 2. a faj kisebb csoportokban fordul elő nagy területi kiterjedésben, 3. a faj összefüggő, homogén foltokat alkot. Az ezüstfa megjelenése az egész területre jellemző, egyedei ligetes állományt alkotnak, ahogyan az a felvétel alapján egyértelműen kirajzolódik. A vizsgálat eredményeként bebizonyosodott, hogy az általam használt ortofotó alkalmas a szóban forgó fajok vizuális elkülönítésére, területi lefedettségük meghatározására. A terepen szerzett ismeretek felhasználásával a feldolgozás hatékonysága és pontossága növelhető, míg a bizonytalanság mértéke nagymértékben csökken. A terepi felbontás csökkentésével a térképezés pontossága radikálisan lecsökken, a felismerési bizonytalanság megnövekszik.

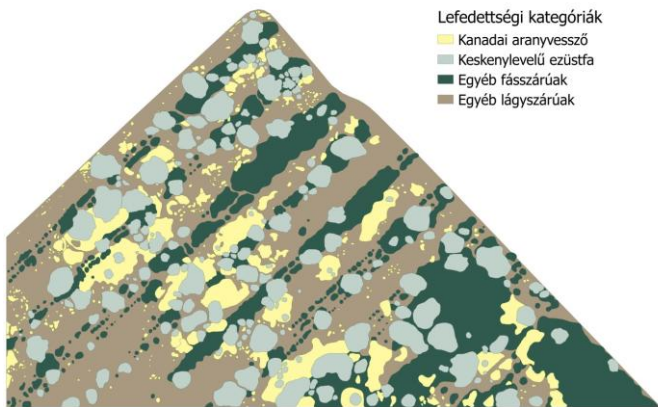
### 5.2 Vizuális interpretáció

Az összehasonlítás alapját képező referencia értékek megbízhatósága és szabotossága kulcsfontosságú tényező a további vizsgálatok elvégzéséhez. Vizuális interpretáció során az egyik legfontosabb szempont az objektumok felismerhetősége, melynek alapfeltétele a felhasznált felvétel optimális felbontása. 4,5 cm/pixel terepi felbontása fajmeghatározáson túl, már az egyed szintű elkülönítést is lehetővé teszi mindkét faj (ezüstfa és aranyvessző) esetében. Ez különösen fontos az aranyvessző vizsgálata során, ugyanis az összefüggő vegetáció foltok mellett, a szórványosan megjelenő egyedek detektálása is lehetségessé vált. Az adott faj elterjedésének jellegéből adódóan ezek figyelmen kívül hagyása komoly vizsgálati hibát eredményezne, a terjedés megfékezésére tett erőfeszítéseket egy rosszul kivitelezett (alulbecslő) előzetes felmérés semmissé teheti. Ezen kívül, a felvétel felbontása olyan mértékű textúrabeli különbségeket mutat, mely a tónus és színárnyalat mellett tovább segíti a fajok azonosítását. Ez elsősorban az ezüstfa felismerésnél volt hasznos, olyan egyedeknél, ahol árnyalati különbségek alapján már nem volt egyértelmű a szeparáció. Ez a csupán 50 cm terepi felbontású ortofotók esetében már komoly gondot okozna. A vizuális kiértékelés során négy lefedettségi kategória



**2. ábra** A kiértékeléshez használt légi felvétel a kijelölt mintaterülettel. (Forrás: Interspect, fényképezte Bakó Gábor, fotogrammetriai térkép előállítás: Molnár Zsolt)

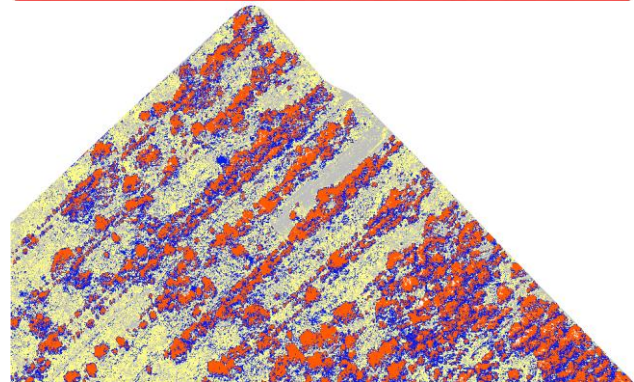
területfoglalási méretét kaptam eredményül, melyből kettő (aranyvessző, ezüstfa) a terület tényleges inváziós fertőzöttségét jellemzi. A 3. ábrán a leválogatott felszínborítási osztályok térképi fedvénye látható.



3. ábra Vizuális interpretációval nyert felszínborítási kategóriák.

### 5.2 Számítógépes osztályozás

A területet külön vizsgáltam ellenőrzött és ellenőrzés nélküli osztályozás módszerével. Az ellenőrzés nélküli eljárás, jellegéből adódóan akkor lehet hatékony, ha az elkülöníteni kívánt területek borítottsága nagymértékben eltér egymástól. Az általam vizsgált terület azonban nem ilyen, az elkülöníteni kívánt területekhez hasonló visszaverődési értékű képpontok tartoznak, amennyiben előosztályozás alkalmazása nélkül végezzük el az osztályozást. Az előosztályozás nélküli ellenőrzés nélküli osztályozással kapott eredmények a kitűzött céloknak nem feleltek meg. A fás- és a lágyszárú állomány elkülönítésén kívül, a különböző fajok kategorizálására a módszer már nem alkalmazható előosztályozás nélkül. A 4. ábrán egy minden előkészítés nélküli ellenőrzés nélküli osztályozással kapott térképi fedvény látható. A program által meghatározott négy lefedettség kategória, szemmel láthatóan nem esik egybe az általunk elkülöníteni kívánt osztályokkal. Ezek alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a vizsgált fajok esetében előosztályozás, vagy ellenőrzött osztályozás alkalmazása szükséges.



4. ábra A vizsgálati terület ortofotója és előosztályozás nélküli automatikus osztályozással kapott térképi fedvénye. Az előkészítés (paraméteres előosztályozás) nélküli osztályozás nem vette figyelembe a felvételen rejlő árnyalatterjedelmi és árnyalatgazdagsági lehetőségeket.

Ezt követően elvégezték a terület ortofotó-mozaikjának előosztályozását, amely már jól közelíti a vizuális interpretáció eredményét (5. ábra). Ezzel invazív fajok térképezése esetén is beigazolódtott az előzetes vizsgálatok során is alkalmazott módszer (Bakó és Gulyás 2013) szükségessége, távérzékeléssel nyert állományok automatikus osztályozását csak a felvétel dinamikai tulajdonságait kiaknázó paraméteres előosztályozást követően érdemes elvégezni, mert a geoinformatikai szoftverek osztályozó moduljainak algoritmusai csak a monitorra optimalizált hisztogram-értékekre elemzik a felvételt (4. ábra). A modern távérzékelési adatok ennél azonban sokkal több információt tárolnak, mint ahogyan az a 4 és 5. ábrák összehasonlításával szembetűnővé válik.



**5. ábra** A mintaterület ortofotójának részlete és a fásszárúak lokalizálására végrehajtott előosztályozás eredménye.

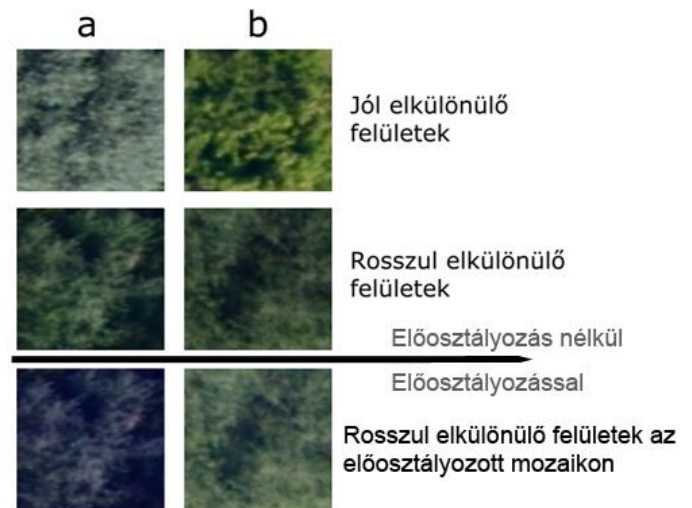
#### 5.4 A vizsgálatok hibalehetőségei

A számítógépes képfeldolgozás során elkerülhetetlen, hogy bizonyos mértékű pontatlanság jelentkezzen az egyes felszínborítási kategóriák osztályba sorolásánál. Ennek okait szeretném az alábbiakban bővebben kifejteni, a vizsgálati területre összpontosítva.

##### 5.4.1 Árnyalat és textúrabeli átfedések

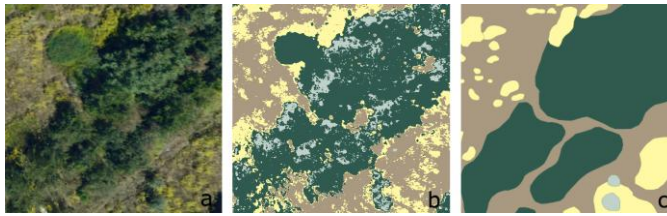
A számítógépes osztályozás pontossága leginkább attól függ, hogy az elkülöníteni kívánt területek milyen mértékben térnek el egymástól. A számítógép szempontjából ez azt jelenti, hogy az objektumokat alkotó képpontok visszaverődési értéke mennyire különbözik egymástól. Jól szemlélteti ezt az általam végzett vizsgálat. A fás szárú és a lágyszárú állomány szemmel láthatóan is jól elkülönül egymástól, az egyéb fás szárú növények és az

ezüstfa, valamint az aranyvessző és más lágyszárúak különválasztása azonban már igényli a képekben rejlő információbővelet felszínre hozását. A légi felvételt közelebről megvizsgálva látható, hogy bizonyos esetekben akadnak átfedések a két állomány között, nagyon hasonló, vagy akár teljesen egyforma képpontokat is felfedezhetünk az elkülöníteni kívánt állományok mindegyikében. Az átfedések mértéke döntő befolyással bír a módszer alkalmazhatóságára és a hibaarányra. A6. ábrán egy a monitorra optimalizált hisztogramú felvételen jól elkülönülő és egy kevésbé jól elkülönülő felületpárt figyelhetünk meg, az egyéb fás szárú növények és az ezüstfa kategóriái között.



**6. ábra** Különböző kategóriák közötti átfedések. (a: ezüstfa, b: egyéb fás szárúak)

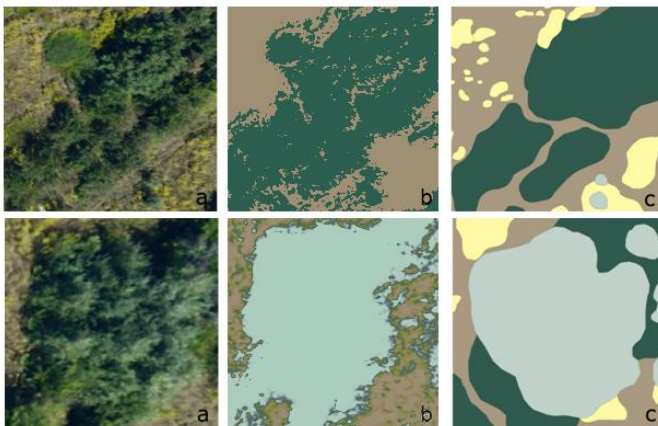
A leírtak alapján belátható, hogy számszerű lefedettség értékek összehasonlítása mellett, először célszerű vizuális ellenőrzést végezni, és ennek alapján előosztályozással elkülöníteni a folt típusokat, majd az osztályozást követően szintén vizuálisan is összevetni az osztályozással kapott adatokat a légi felvétellel és a vizuális interpretáció eredményével. Egy viszonylag pontos borítottsági érték még nem feltétlen jelenti azt, hogy a program valóban a megfelelő fajokat ismertte fel, a megfelelő helyen. Jól szemlélteti ezt az ezüstfa és az egyéb fás szárúak viszonya az előosztályozás nélkül elvégzett osztályozás eredményén. A két osztály között bizonyos átfedést figyelhetünk meg. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a program az ezüstfával borított területeken is észlel egyéb fás szárú állományt, és fás szárú állománnyal borított területeken is ezüstfát. A vizuális összehasonlítás során jól látszanak ezek a területek. Így tehát pontatlan eredmények születnek, azonban ha a két hiba kompenzálja egymást, akkor a területi lefedettség különbség minimálisra is csökkenhet. Ez viszont a véletlennek köszönhető, és a kapott eredményt nem tekinthetjük mérvadónak, ismételtetőnek. Ez nem jelenti azt, hogy ezek az eredmények használhatatlanok, csupán az ezüstfa és az egyéb fás szárú állomány lefedettség értékeit tágabb hibahatárral kell kezelniük, a beavatkozás tervezésénél a hibahatárokat közölni szükséges. Az aranyvessző esetén ez kevésbé figyelhető meg. A 7. és 8. ábrák a számítógép által hibásan felismert felületeket szemléltetik. Látható, hogy vizuális interpretáció során a képelemző képes a különböző kategóriák optimális besorolására, a számítógép viszont képpontok alapján dolgozik és az egyes csoportok elkülönülése nem mindig egyértelmű. Ahogyan a 9. ábrán megfigyelhető, az előosztályozás képes kiküszöbölni, de legalábbis mérsékelni a hibajelenséget.



**7. ábra** Osztályozási hiba 1: ezüstfának ítélt egyéb fásszárúak. (a: ortofotó, b: számítógépes osztályozás, c: vizuális interpretáció)



**8. ábra** Osztályozási hiba 2: egyéb fásszárúak kategóriába sorolt ezüstfa. (a: ortofotó, b: számítógépes osztályozás, c: vizuális interpretáció)

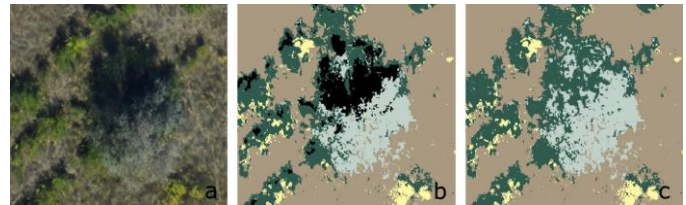


**9. ábra** Jól megfigyelhető, milyen nagymértékben csökkent az osztályozási hiba, amennyiben előosztályozást is végzünk. (a: ortofotó, b: előosztályozási eredmény, c: vizuális interpretáció)

#### 5.4.2 Árnyékok

Az árnyék takarta felszínek eltérő tónusárnyalatai szintén torzítják az osztályozási eredményt. Az árnyékok okozta hibák mértékének felderítése céljából a vizsgálatot kétféle módszerrel végeztem: az árnyékok figyelembevétele nélkül, illetve ezek figyelembevételevel. Utóbbinál az árnyékos területeket külön mintaterületként definiáltam és az így kapott értékeket hozzáadtam az egyéb lágyszárúak és az aranyvessző által borított területekhez, a két kategória lefedettségének arányával súlyozva. Azért csak ehhez a két kategóriához, mert az árnyékok jelentős része értelemszerűen ezekre a felszínre vetül. (Minimális mértékben a fás szárú állományokra is, de ez a vizsgálat szempontjából elenyésző hányad). Ez a módszer ugyan több közelítést és egyszerűsítést is tartalmaz, a számszerű eredmények értékelésekor azonban egyértelműen látszik, hogy az ilyen módon korrigált adatok jobban közelítik a vizuális interpretációval nyert értékeket, ahol viszonylag pontosan lehet elvégezni az árnyékkal takart térszínek kategorizálását. A 10. ábrán a vizsgálati terület egy kiragadott részletének számítógépes osztályozással készült felszínborítási fedvénye látható, az árnyékok figyelembevétele nélkül, illetve árnyék, mint fiktív

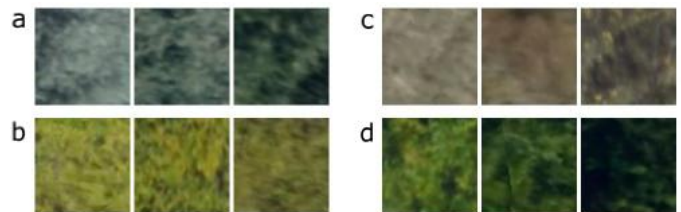
lefedettségi osztály figyelembevételevel. Megfigyelhetjük, hogy az árnyékok helyére a számítógép a fás szárú állományokat (ezüstfa, egyéb fás szárúak) vette fel, mivel ezen kategóriák visszaverődési értéke áll legközelebb az árnyékos területek sötét tónusához. Ez azt is jelenti, hogy az árnyékok kettős torzítást okoznak a kapott eredményekben, mind az általuk kikapart területek, mind az helyükre felvett osztályok borítottsági értékének módosításával.



**10. ábra** Eredeti ortofotó (a) és a számítógépes kiértékelés eredménye árnyékkal (b), és árnyék figyelembevétele nélkül (c).

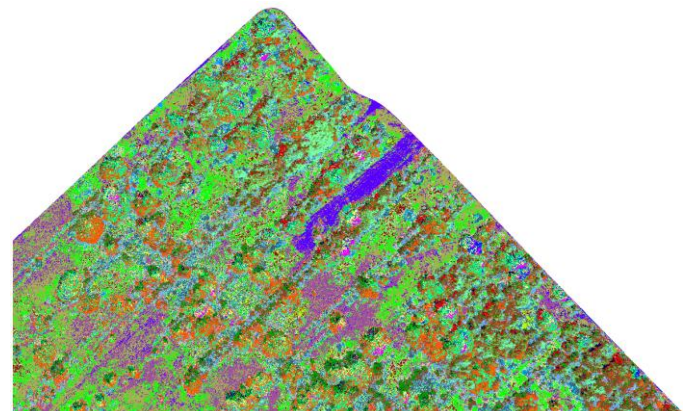
#### 5.4.3 Mintaterületek, tanulóterületek

Az ellenőrzött osztályozás során kulcsfontosságú a megfelelő mintaterületek definiálása. Ez nem könnyű feladat, mivel ugyanazon kategóriába sorolni kívánt objektumok sem teljesen egyformák. A 11. ábrán látható példák azonos kategóriába sorolandó, ám szemmel láthatóan más visszaverődési értékű túlnagyított területrészletek.



**11. ábra** Lefedettségi kategóriákon belüli tónusváltozatok négyszeresen túlnagyítva. (a: ezüstfa, b: aranyvessző, c: egyéb lágyszárúak, d: egyéb fás szárúak)

A program alapvetően minden mintaterülethez egy lefedettségi osztályt rendel, de lehetőség van az egyes elemi kategóriák csoportosítására. A vizsgálat során egy általam meghatározni kívánt lefedettségi osztályhoz több mintaterületet is kijelöltem, amelyeket a program külön kategóriaként határozott meg (12.ábra). Ezeket később csoportosítottam és egy osztályként kezeltem (13.ábra).



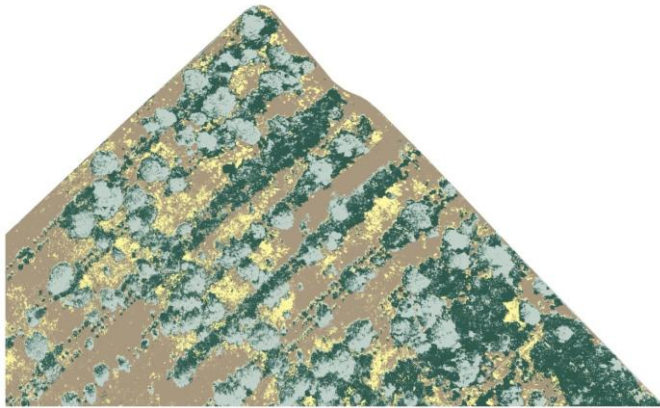
**12. ábra** Az egyes elemi osztályok csoportokba sorolás előtt.

számítógépes eljárás pontosságának vizsgálata során ezekre a kérdésekre kerestem a választ.

### 5.4.1.1 Lefedettségi hibaarány

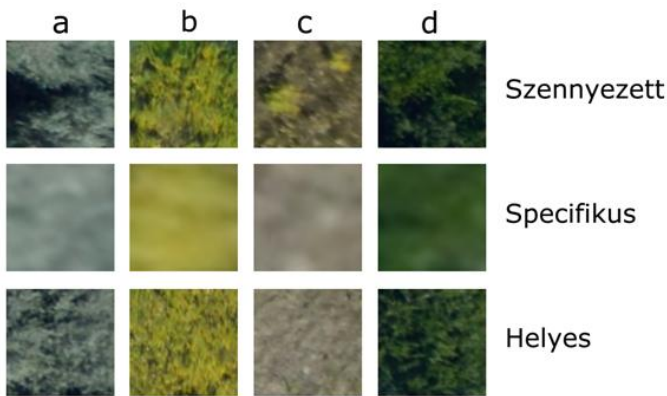
Ahhoz, hogy megtudjam, hány elemi lefedettségi osztály felvétele optimális egy kategóriához, különböző számú mintaterület definiálásával végeztem el előosztályozás nélküli vizsgálatot. Az így nyert felszínborítási adatok elemzése során a lefedettségi hibaarányon túl még arra voltam kíváncsi, hogy a kapott eredmények azonos feltételrendszer szerint definiált mintaterülettel, de függetlenül végzett vizsgálatokkal mekkora eltérést mutatnak egymáshoz képest. Az elemzést kategóriánként 1, 5 illetve 10 mintaterülettel végeztem. Mindegyik vizsgálatot háromszor, egymástól függetlenül megismételttem, árnyékkompensáció nélkül, majd árnyékkompensáció alkalmazásával. Összességében tehát 18 vizsgálat lefedettségi adatait elemeztem. Az egyes kategóriák lefedettségi hibaarányának meghatározásához az árnyékkompensációval kapott eredményeket hasonlítottam össze. Mivel 4 kategóriát definiáltam, összesen 36 felszínborítottsági adat állt a rendelkezésemre.

Az eredményeket a 15-17. ábrák szemléltetik. Az oszlopok a különböző kategóriák lefedettségi értékeinek százalékos hibaarányát mutatják, a vizuális interpretációhoz viszonyítva. Minden diagram egy azonos feltételek mellett végzett vizsgálat sorozat eredményét ismerteti. Az azonos kategóriához tartozó oszlopok tehát, három különböző mérés eredményét ábrázolják. Az eredmények könnyebb összehasonlíthatósága érdekében az egyes diagramok függőleges tengelyének léptéke azonos.



13. ábra A vizsgálati terület ellenőrzött osztályozással kapott térképi fedvénye.

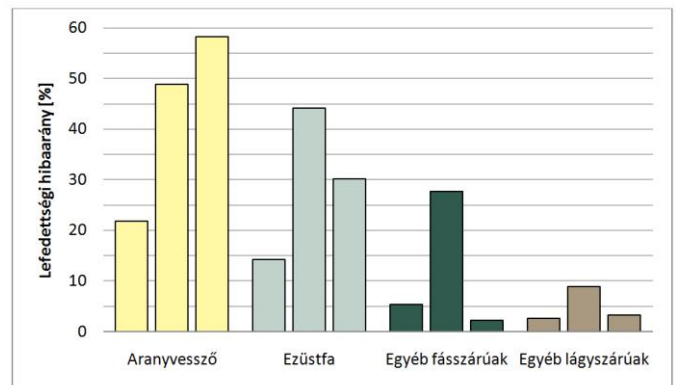
Ha a mintaterületek felvétele során nem vesszük figyelembe, hogy az azonos kategóriába sorolni kívánt felszínnek minél több vizuálisan elkülöníthető variánsából legyen kiválasztva a tanulóterület, komoly vizsgálati hibát követünk el. A tanulóterületek számának növelésével is csak akkor tudunk érdemben pontosítani az eredményen, ha a kiválasztott mintákat ezen elv alapján definiáljuk. Másik lényeges szempont, hogy kerülni kell a más felület típusokkal „szennyezett” területeket. Nem célszerű például olyan felületet kiválasztani mintának, amelyben árnyékoltok vagy más kategóriába tartozó faj egyedei találhatóak. Azonban a túlzottan jellemző színtónusú, nagyított felvételen kiválasztott mintákat is mellőzni kell, ez a területi borítottság jelentős alulbecslését eredményezi (14. ábra).



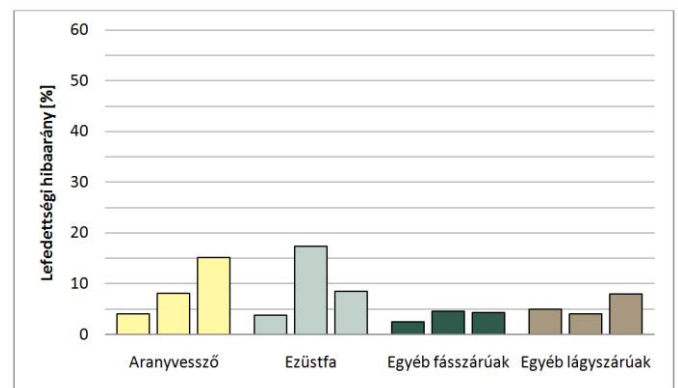
14. ábra A hibás és helyes mintavételi egységek példája előosztályozás nélküli kiértékeléshez. (a: ezüstfa, b: aranyvessző, c: egyéb lágyszárúak, d: egyéb fás szárúak)

### 5.4.1 Pontosságvizsgálat

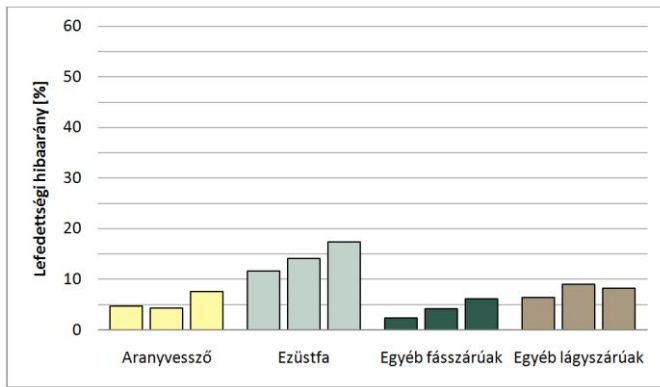
Az előző pontban már bemutatásra került, miként befolyásolják egyes tényezők az osztályozási eljárás pontosságát, azonban a módszer gyakorlati alkalmazhatósága szempontjából további kérdések merültek fel: Hány mintaterületet érdemes kiválasztani borítottsági kategóriánként? Milyen a kapott eredmények megbízhatósága? Hogyan hat a kapott eredményekre, ha árnyékkompensációt használok? Hány százalékos hibahatárral lehet megbecsülni a vizsgált fajok felszínborítottságát? A



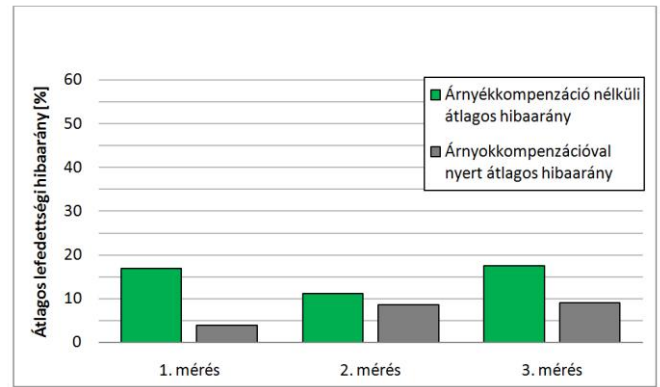
15. ábra Az egyes felszínborítási kategóriák lefedettségi hibaaránya 1 mintaterülettel végzett vizsgálat esetén



16. ábra Az egyes felszínborítási kategóriák lefedettségi hibaaránya 5 mintaterülettel végzett vizsgálat esetén



**17. ábra** Az egyes felszínborítási kategóriák lefedettségi hibaaránya 10 mintaterülettel végzett vizsgálat esetén



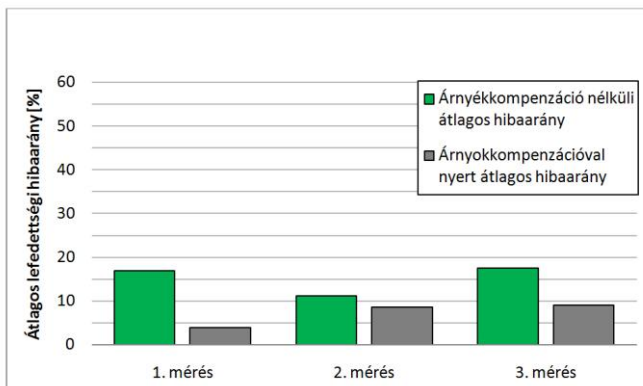
**19. ábra** Árnyékkompensáció hatása 10 mintaterülettel végzett mérések átlagos hibaarányára.

Látható, hogy az osztályonként 1 mintaterülettel végzett vizsgálat során nyert értékek nagy százalékos eltérést mutatnak egymáshoz képest, míg 5 mintaterülettel már nagyságrenddel jobb az eredmény, és 10 felvett mintaterület még egyenletesebbé teszi a lefedettségi hibaarányt. A diagramok tehát jól szemléltetik, hogy a mintaterületek számának növelésével, az azonos kategóriába tartozó lefedettségi értékek közötti szórás mértéke csökken. Ez azt jelenti, hogy nagyobb számú mintaterületeket felvéve a kapott eredmények megbízhatósága növekszik.

Érdeemes megfigyelni azt is, hogy a 10 mintaterülettel végzett vizsgálat értékei nem pontosabbak, mint az 5 mintaterülettel végzett vizsgálat eredményei, csupán a mérések szórása kisebb. Következésképpen megállapítható, hogy a mintaterületek további számának növelésével nem fogunk pontosabb adatokhoz jutni, viszont a kapott eredmények megbízhatóbbak, és ismételhetőek lesznek.

#### 5.4.1.2 Átlagos hibaarány

Számszerű adatokat elemezve azt vizsgáltam, hogy az egyes mérések árnyékkompensációval korrigált eredményeinek hibaaránya milyen mértékben csökkent az eredeti mérések hibaarányához képest. Ebben az esetben nem a különböző kategóriák felszínborítottsági értékeit vettem össze, hanem az egyes vizsgálatokkal kapott hibaarányok átlagát. Ily módon egy vizsgálat eredményességét egyetlen adattal tudom jellemezni, ami még szemléletesebbé teszi az összehasonlítást. Az átlagos hibaarány meghatározására az 5 illetve 10 mintaterülettel végzett vizsgálatok eredményét használtam fel, mivel az 1 mintaterülettel nyert mérési adatok nem tekinthetők kellően megbízhatónak ahhoz, hogy az árnyékkompensáció hatását szemléltessék. A 18. és 19. ábrák az egyes mérések átlagos hibaarányait szemléltetik, mérésenként két eredménnyel.



**18. ábra** Árnyékkompensáció hatása 5 mintaterülettel végzett mérések átlagos hibaarányára.

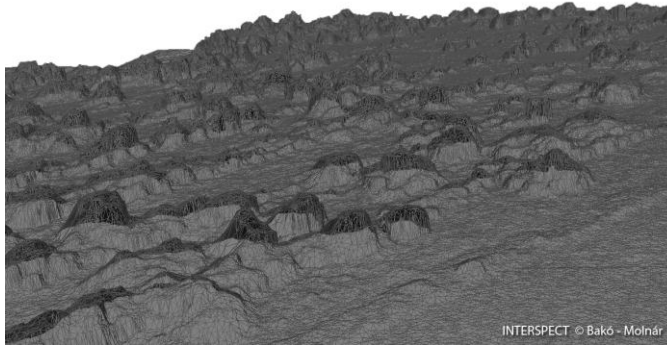
A diagramok alapján egyértelműen látszik, hogy az árnyékkompensációs korrigálást követően az egyes mérések átlagos hibaaránya jelentősen javult az árnyékkompensáció nélküli mérések eredményeihez képest. Ez az 5 illetve 10 mintaterülettel végzett vizsgálatok mindegyikére elmondható. A legkisebb mértékű javítás 2,6%, míg a legnagyobb 13%, az átlagos különbség pedig 8,3%. Ezen értékeket a vizsgálat során kapott lefedettségi hibaarányok mértékével összevetve megállapíthatjuk, hogy árnyékkompensáció segítségével egyes vizsgálatok esetén akár kevesebb, mint harmadára csökkenthető az átlagos hibaarány. A különböző felszínborítási kategóriák esetén ez az érték több is lehet, de előfordulhat, hogy az árnyékkompensáció kisebb-nagyobb pontatlanságot eredményez. Ez részben a módszer során használt közelítések, részben az osztályozás alatt fellépő hibák negatív hatásának tudható be.

A hibaelemzéssel kapott eredmények rámutatnak arra, hogy a vizsgálatok közül a kategóriánként 10 mintaterülettel végzett, árnyékok figyelembevételével korrigált értékeket tekinthetjük a legmegbízhatóbbnak. Ezüstfa esetén 20%-os, aranyvessző esetén 10%-os hibahatáron belül megállapítható a lefedettség hibaaránya a vizuális interpretációhoz képest még előosztályozás nélküli kiértékelés esetén is. Azonban fontos megjegyezni, hogy ezen értékek kizárólag erre a mintaterületre vonatkoznak, más jellegű területek esetén az eredmény pontossága egyéb osztályozási tényezők függvénye.

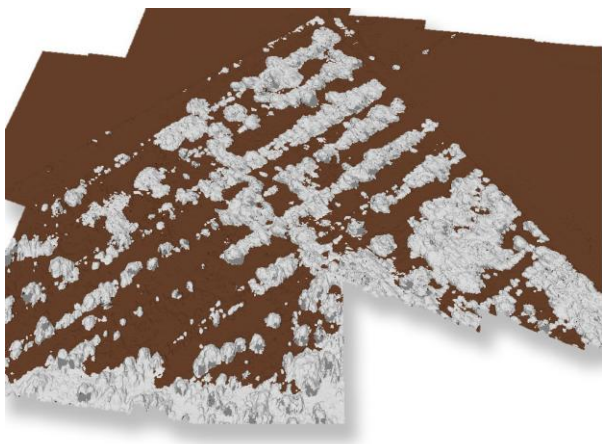
## 6. További lehetőségek

A fotogrammetriai ortofotó előállítás módszertana lehetővé teszi az ortofotó-térképi textúrán túl háromdimenziós felületmodell előállítását is. A közepes magasságú (500-6000 m terepfelületi repülési magasság) repülések esetében előállított nagyrészletességű háromdimenziós felületmodell további eszköztárat kínál a vegetáció osztályozásához (20. ábra). A mintaterület esetében a háromdimenziós szűrővel az ezüstfa állomány lokalizálása még pontosabbá válhatott (21. ábra).

## 7. Következtetések és javaslatok



**20. ábra** A mintaterület háromdimenziós modelljén az ortofotó-mozaik alkotja a textúrát



**21. ábra** A háromdimenziós felületmodellen is végrehajtható osztályozás, a magassági és reflektancia adatok komplex figyelembevételével (Bakó – Molnár)

Az elvégzett vizsgálatok során elsősorban arra kerestem a választ, hogy használható-e a számítógépes képelemzés a szóban forgó invazív növényfajok elterjedésének meghatározására, és ha igen akkor milyen megbízhatósággal, milyen feltételek mellett.

Egy szakszerűen elvégzett vizuális interpretáció által kapott adatoknál a számítógép előosztályozás nélküli eljárással nem képes pontosabb adatokat produkálni. A két eljárás közötti hiba mértéke dönti el hogy, az eljárás alkalmazható-e az adott feladatra. A megengedett hibaarány meghatározásakor mérlegelni kell botanikai, és gazdasági szempontokat egyaránt. Természetesen a vizuális interpretáció sem tökéletesen pontos, mint ahogy a terepi mérés sem az. Mindig az adott feladat alapján kell meghatározni, hogy mi a legnagyobb megengedhető hiba, amely a vizsgálati cél szempontjából kielégítő, ugyanakkor nem emészt fel indokolatlanul nagy erőforrást. A feldolgozásra szánt felvételek terepi felbontását is ennek tükrében célszerű megválasztani. A fotogrammetriai úton történő vegetációtérképezés során a költségek jelentős hányadát a felvételek elkészítése teszi ki. Nagyobb felbontású légi felvételek pontosabb adatszolgáltatást eredményeznek, ugyanakkor a felvételek ára és az elemzéshez használt számítógép hardverigénye is jelentősen növekszik. Az esetek túlnyomó részében azonban nem a legpontosabb eljárás a leghatékonyabb, hanem az, amelyik minimális ráfordítással megfelelő eredményre vezet. Azt, hogy az elvégzett vizsgálat elegendő pontossággal használható-e az egyes fajok területi lefedettségének meghatározására a következő egyenlőtlenség dönti el.

$$\text{Hibaarány} < \text{Megengedett hibaarány}$$

Abban az esetben, ha kizárólag számítógépes képelemzést alkalmazunk, nem tudjuk megbecsülni, hogy mekkora a kapott eredmények tényleges hibaaránya. Ehhez egy viszonyítási alapra, vagyis megfelelő referencia értékek előállítására van szükség. Nagy kiterjedésű területek esetében ezt elvégezhetjük a vizsgálati terület egy kisebb részletének vizuális interpretációjával, illetve terepi vizsgálattal. Fontos, hogy az elemzésbe bevont mintaterület az egész területre jellemző borítottsági kategóriákat tartalmazzon, reprezentatív legyen. Azon kívül, hogy így információt nyerhetünk arról, hogy mekkora hibaarányon belül lehetséges elvégezni az adott terület számítógépes elemzését, lehetőségünk van a vizsgálati paraméterek optimalizálására.

Invazív növényfajok területfoglalási méreteinek vizsgálata során legtöbbször az elterjedés időbeni változására vagyunk kíváncsiak, de az adatok kiértékelése fontos lehet még a védekezésre szánt erőforrás(élőmunka igény, vegyszerigény stb.) meghatározásához is. Ezen vizsgálati célok véleményem szerint nem követelnek pontosabb lefedettség hibaarányt, mint amit a kapott eredmények mutatnak. Az általam vizsgált terület közepesen összetettnek mondható, és meglehetősen jól szemlélteti a számítógépes képelemzés során felmerülő nehézségeket, ugyanakkor eléggé elkülöníthetők az egyes borítottsági osztályok ahhoz, hogy használható eredményekhez jussunk. Amennyiben alkalmaztam volna a szabványosított előosztályozási módszereket, a vizsgálat eredménye a levezetettől is pontosabb lett volna. Így valószínűsíthető, hogy kisebb terepi felbontással is kellően pontos felmérés végezhető a módszertani fejezetben bemutatott eszközökkel. Ezért célszerű volna további vizsgálatokat beiktatni a költségoptimalizált felbontás-tartomány megkeresésére.

Az invazív növényfajok elterjedésének vizsgálatán túl, a módszer még számos, a gyakorlatban is előforduló természet-és tájvédelmi feladat ellátására nagy megbízhatósággal alkalmazható, ezáltal a vizsgálati terület méretétől és borítottságától függetlenül, gyors és hatékony eszköz lehet a vegetáció-, valamint élőhely-térképezés területén.

## Irodalomjegyzék

- Alpert, P., Bone, E., Holzapfel, C. (2000): Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 3 (1): 52–66.
- Bakó G. (2010): Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében - *Tájökológiai Lapok* 8 (3): 507-522.
- Bakó G. (2011): Légi távérzékeléssel készülő állományok minőségét befolyásoló tényezők. *RS&GIS Távérzékelési Technológiák és Térinformatika Online*, 1(2): 58-70.
- Bakó G. (2012): A távérzékelés, a fotogrammetria, a térképészet és a térinformatika együttese, spektrum, szabotosság és adathozzáférhetőség – Kockázat - Konfliktus - Kihívás, A VI. Magyar Földrajzi Konferencia absztrakt kötete Szeged, 2012. szeptember 5-7., 7 p.
- Bakó G. (2012): Gyors térképészeti mérések a levegőből. *Természet Világa*, 143 (10): 470-471.
- Bakó G. (2013a): Idegen növény támadja a Balaton partját. *Élet és Tudomány* 68 (35): 1104-1106.
- Bakó G. (2013b): Vegetációtérképezés nagyfelbontású valósínes- és multispektrális légifelvételek alapján – *Kitaibelia* 18 (1-2): 152–160.
- Bakó G., Gulyás G. (2013): Légifelvételek költséghatékony osztályozási módszereinek kidolgozása az erdőgazdálkodás és a nemzeti parkok számára – *Botanikai Közlemények* 100(1–2): 63–76, 2013. 63-76. p
- Bakó G., Molnár Zs. (2012): Új magyar fejlesztésű szenzorok a légi földmegfigyelés szolgálatában - Egy légi tesztsorozat fázisai. *Aeromagazin*, 14 (2): 20-21.
- Barrett, E. C., Curtis, L. F. (1992): *Introduction to environmental remote sensing*. Chapman & Hall, London
- Campbell, J. B. (2002): *Introduction to remote sensing*. Guilford Press, New York
- Curran, P. J. (1985): *Principles of remote sensing*. Longman Scientific and Technical, New York
- Csiszár Á. (2012): *Inváziós növényfajok Magyarországon*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 364 p.
- Detrekői Á., Szabó Gy. (2005): *Térinformatika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 380 p.
- Horváth Z., Simonkócs S. (1977): A fotogrammetria a környezetvédelem szolgálatában. *Műszaki tervezés*, 17 (11): 45-48.
- Kraus, K. (1998): *Fotogrammetria: Alapok és általános módszerek*. Tertia Kiadó, Budapest, 379 p.
- Lóki J. (2002): *Távérzékelés*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 113 p.
- Lövei G. 1997. Global change through invasion. *Nature*, 388 (6643): 627-628.
- Mihály B., Botta-Dukát Z. (2004): *Özönnövények – Biológiai inváziók Magyarországon*. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest, 426 p.
- Mihály B., Botta-Dukát Z. (2006): *Özönnövények II. – Biológiai inváziók Magyarországon*. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest, 414 p.
- Nagy J. (1998): *Fotogrammetria I*. Agrárszakoktatási Intézet, Budapest, 125 p.
- Parker, I.M., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Goodell, K., Wonham, M., Kareiva, P.M., Williamson, M.H., Von Holle, B., Moyle, P.B., Byers, J.E., Goldwasser, L. (1999): Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biological Invasions* 1, 3-19. p.
- Richardson, D. M., Pyšek, P. (2006): Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invisibility. – *Progress in Physical Geography*, 30(3): 409–431.
- Temesvári V. (2010): Légifénykepező repülés tervezése a hagyományos eljárásoktól a digitális technológiáig. Szakdolgozat, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Földrajz-és Földtudomány Intézet, Budapest, 47 p.
- Vila, M., Corbin, J.D., Dukes, J.S., Pino, J., Smith, S.D. (2006) Linking plant invasion to global environmental change. In: Candell J, Pataki D, Pitelka L (szerk.) *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer, Berlin, 115–124. p.
- Vitousek, P.M., D’Antonio C.M., Loope, L.L., Westbrooks, R. (1996): Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84:468–478.
- Williamson, M.H., Fitter, A. (1996): The characters of successful invaders. *Biological Conservation*, 78:163–170.

# Klasszikus vízkémiai paraméterek módszertani vizsgálatának előkészítése hiperspektrális légi felméréssel felszíni víztestekben

László Gábor <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Szent István Egyetem

**Összefoglalás—** A sokszínképes légi felmérés lehetővé teszi a felszínről történő információgyűjtés spektrális kiterjesztését. Vizsgálatunk során arra kerestük a választ, hogy 400 – 2450 nm tartományú légi felmérés mennyiben segíti elő a felszíni víztestek kémiai monitoringját, és az ahhoz szükséges mintavételi pontok megtervezését.

**Index Terms:** hyperspectral aerial mapping, water chemistry.

**Kulcsszavak:** Hiperspektrális légi felmérés, vízkémia, vízminőség védelem.

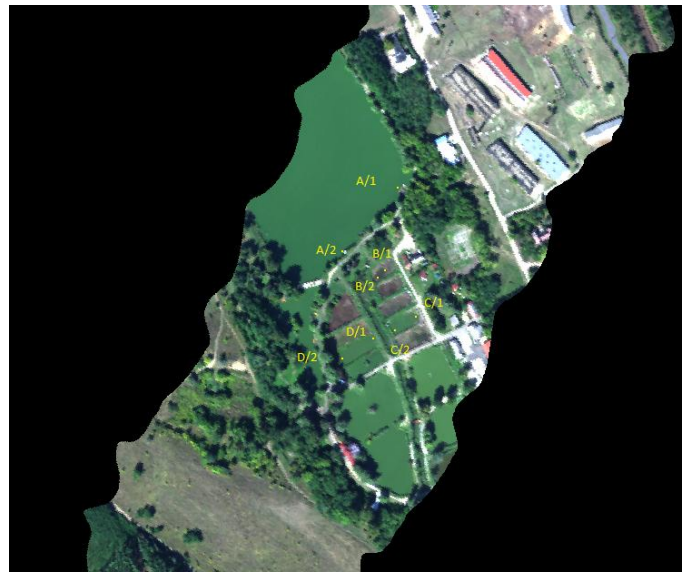
## 1. Előzmények

Számos vizsgálat foglalkozik talajtani paraméterek légi felmérése becsülésével és vegetáció felmérési tapasztalatokat összegyűjtő cikkek is nagy számban érhetőek el. A vízkémiai paraméterek nagy felületre vonatkozó megállapítása, becsülése azért nehéz feladat, mert időben és térben gyorsan változó állapot rögzítéséről van szó, így a kialakuló módszerek validálása is nehéz természetes körülmények között. A laboratóriumi kísérletek után (Bakó, Eiselt, Kovács 2008) szerettük volna természetes körülmények között (természetes megvilágításnál, nagyméretű víztestekben) megvizsgálni a korábban előrevetített laboratóriumi eredményeket.

Az előzmények értékelése alapján azt vártuk a kísérlettől, hogy a részletes spektrális információ segíteni fogja egyes vízkémiai paraméterek becsülését a repülőgépes átrepüléskor rögzített adatok segítségével, és a nagyobb spektrális felbontású (Alexander 1985), ám kis részletességű felvételek előnyt jelentenek majd a nagyrésztességű multispektrális felvételekkel szemben. Szerettük volna megtudni, hogy csupán a mintavétel helyének megfelelő kijelölésében, vagy akár a mérési eredmények becsülésében is alkalmazható ez a vizsgálat típus.

Ennek érdekében a Szent István Egyetem közelében, a Gödöllői – Isaszeg közötti tórendszert jelöltük ki mintaterületként (1. ábra). A légi felmérést az Interspect Csoport Piper Pa 32 repülőgépével

és a Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Egyetem AISA hiperspektrális műszerével végezték el.



**1.ábra** A vizsgált tórendszer és a mintavételi pontok elhelyezkedése.

## 2. A vízmintavétel

A légi felmérésből származó adatokat validálnunk kellett, ezért a repülőgépes felméréskor terepi mintavételre került sor. Amikor egy felszíni víztest minőségét szeretnénk jellemezni, lehetetlen, hogy az egész vizet megvizsgáljuk. Ezért nagyon fontos, hogy a tó vizsgálatához mintát vegyünk. A mintavételt a következőképpen kell kivitelezni:

- a minta jellemző legyen az adott vízre (reprezentatív mintavétel)
- összetétele az analízis megkezdéséig ne változzon (szakszerű mintavételi eljárás)

- A mintavétel megfelelő számú ismétléssel kerüljön elvégzésre (ellenőrzés, hibaanalízis)

A víz egy több fázisú rendszer tartalmaz: lebegő, úszó, szuszpendált anyagokat, oldott gázokat, így a mintavételnél a felsorolt alapvető követelményének kielégítése nagy körültekintést igényel. A műveletet befolyásoló tényezők megfelelő számbavételét a mintavételi tervdokumentáció foglalja össze.

Egy jól megtervezett dokumentáció alapvető tartalma:

- a vizsgálat célját,
- a mintavétel helyét,
- idejét,
- gyakoriságát,
- mintavételi módszereket,
- minták kezelési módját,
- választott analitikai módszert.

A mintavételezést 2013. szeptember 14.- én végeztük, Gödöllő és Isaszeg között elterülő völgyben lévő kilenc tóból álló tórendszer III., és a hal nevelde tavaiból. A területen degradációt a műtrágya kimosódása, valamint a dombság fás szárú növényzetének csökkenése okozhat, ami szintén szervesanyag bemosódást eredményez (Bacsó 1973). A mintavételezést többszöri terület feltérképezés, hosszas egyeztetés és a tulajdonosoktól való engedély kérelem előzte meg. A mintavételre szélcsendes időszakban került sor, mert a tavak felületének különböző kitétsége hullámozáskor különböző mértékű oxigénfelvételt idéz elő (Dr. Woynarovich Elek, 2003). A tavak alapvető adatai:

Vízfelület nagysága: III. számú tó: 4 hektár, a hal ívató tavak: 0,2 hektár felületűek

Becsült átlagos mélység: 1-1,5 m

- Vízmélység a mintavételi helyszíneken: 1 m

Meder anyaga: homokos, sötét, fekete színű iszapos

Vízállás: közepes

Víz színe, szaga és zavarossága: A/1, A/2, C/1, C/2, D/1, D/2 mintavételi ponton zöld színű, szagtalan, nem zavarodott, B/1, B/2 mintavételi ponton barna színű volt a lebegő anyag tartalom miatt, azonban ez is szagtalan volt.

Munkánk során vizsgáltuk a helyszínen a tavak különböző színátmeneteit, a laboratóriumban kémiai analitikai módszerekkel a mintavételi pontok állapotát, illetve a légi távérzékelés segítségével a felületet. A fő cél e különböző vizsgálati módszerek összehasonlítása. A légi felmérésre az Interspect Kft. repülőgéppel került sor.

A vizsgált tavakat úgy választottuk ki, hogy vizük színe különbözőbb legyen, ezért tavanként két-két mintát vettünk, a tó

különböző pontjairól. A mintákat a parttól számítva 1,5-2 méter távolságban a víz felszíne alatt 10-15 centiméterrel nyertük ki. A mintavételre PET palackokat használtunk ezek töltése előtt a tavak vizével átmostuk őket és csak úgy töltöttük meg őket. A palackok töltését légmentesen kellett végezni, az egyéb szennyeződések bejutása nélkül. A mintavételi pontokon több vizet vételeztünk, mint amennyire szükségünk volt, hogy a helyszíni vizsgálatokat el tudjuk végezni. Ezeket a vizsgálatokat a pH-t a vezető képességet és a redox potenciált WTW-340-i műszerrel végeztük, az oldott oxigén mérését a WTW OXI-340-i típusú műszerrel végeztük.

A mintavételezés napján a területi elhelyezkedést a környezet tulajdonságait is megfigyeltük, dokumentáltuk a tavak állapotát, a látott állatfajokat és a növényzetet. A terepi munka végeztével a jelölt mintákat a Szent István Egyetem Kémiai és Biokémiai Tanszék laboratóriumába szállítottuk.

## 2.1. A minta előkészítése

A minta előkészítését a mintavétellel azonos napon végeztük, (2013. szeptember 14.-én), azért, hogy a minta lehető legkevésbé változzon. A szembetűnően kisebb lebegőanyag tartalmú mintákból 150 millilitert, a nagy lebegőanyag tartalmú mintákból csak 100 millilitert szűrtem át 0,45 mikrométeres pórusméretű vákuum szűrőn. A lebegőanyag tartalom súlyát analitikai mérlegen határoztam meg úgy, hogy az izzító tégelyek üres súlyát lemértem, azt feljegyeztem és belehelyeztem a használt szűrőpapírt, majd száradás után pár nappal később visszamértem a tégely és a szűrőpapír tömegét.

Az első mérés során a vízminták foszfáttartalmát vizsgáltam, itt kalibrálási sort kellett készíteni. 4 darab 50 milliliteres lombikba 0,5, 1, 2, 4 milliliter került a 0,05 mg/ml-es foszfát törzsoldatból, ezután jelre állítottam, majd homogenizáltam. Így a következő foszfátkoncentrációjú oldatsorozatot kaptam 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 mg/l. A színreakció kialakításához a kalibráló oldatból homogenizálást követően kipipettáztam 20 millilitert főzőpohárba és hozzá tettem 4 milliliter keverék reagenst, ezután belekevertem a mintába. A mintával egyidejűleg készült reagensvakolat is. Megmértem a minták fényelnyelését, az ismert és ismeretlen koncentrációjú vízminták abszorbanciáját, amiből ki lehet számolni az ismeretlen minták foszfát koncentrációját.

## 2.2. A nehézfémek meghatározása

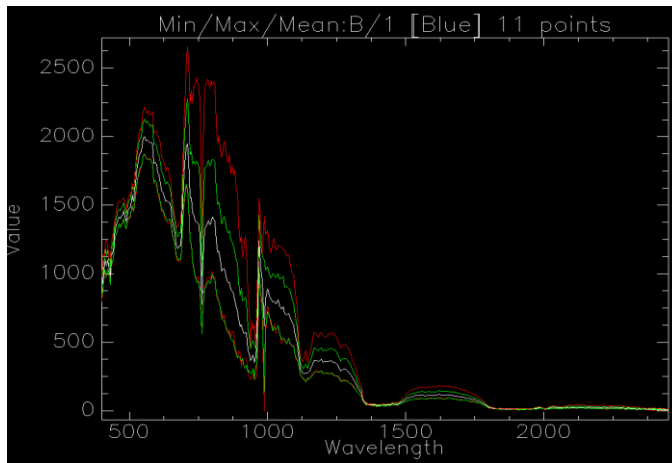
A minták alumínium, kadmium, króm, réz, vas, mangán, nikkel, ólom, cink koncentrációját is mértük. A mérést induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriával végeztük. A készülék mintabevitelét szűrt mintával biztosítottuk (0,45µm-es pórusátmérőjű membrán segítségével).

## 3. A légi felvételek kiértékelése

Az egyszerre készített különböző spektrumú csatornák értékeit vizsgáltuk az adott mérési pontokra vonatkozóan. Mivel egy adott mintavételi pont több pixelen is leképeződhet, valamint a közvetlen környezetének értékeit is érdemes figyelembe venni, az egyes pontokhoz több pixelre vonatkozó radianciaérték analízist végeztünk. Mivel a terepi mintavétel is két ismétlésben zajlott, a légi felmérés során is összehasonlítottuk a két mintavételi pont adatait. Szignifikáns korrelációt keresünk a légi felmérésből származó radianciagörbék, valamint az analitikai mérések adatsorai között.

### 3.1. A hiperspektrális légi felvétel mintavételi pontokra vonatkoztatott eredményének az összehasonlítása a kémiai analitikai módszerekkel kapott értékekkel.

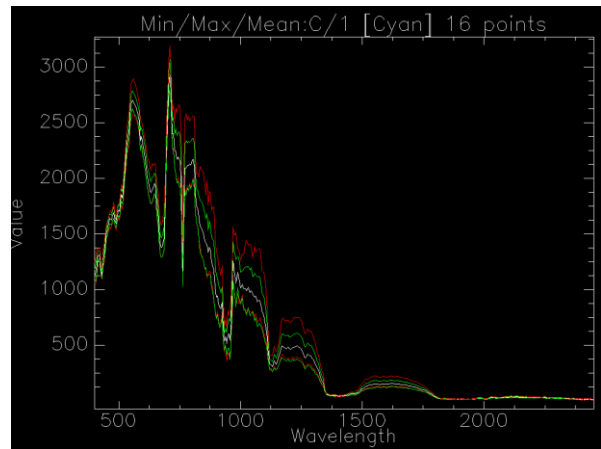
Az „A” mintavételi pontok grafikonjainak eredményeit összehasonlítva az analitikai eredményekkel azt tapasztaltuk, hogy 800-1150 nm között 100 – 670 radiancia értéknyi eltérések mutatkoznak, ezért amennyiben a felszíni víztestek esetében ilyen változást tapasztalunk, érdemes laboratóriumi vizsgálatokhoz mintát venni, mert a légi felmérés eredményét az oldott oxigén tartalom és a magas pH-érték befolyásolhatja a vízminőségi táblázat alapján.



**2.ábra** B/1 mintavételi pont grafikonja 11 szomszédos pixel radiancia értékeit mutatja a hullámhossz függvényében az B/1 mintavételi pontra vonatkozólag.

A „B” jelzésű mintavételi pontok esetében jelentős különbséget tapasztalunk az oldott oxigén, a redoxi potenciál, a vezetőképesség és a pH értékeiben és a hiperspektrális felmérés grafikonjai is szétcsúsznak, jelezve a B jelű pontok eltéréseit. 500 - 980 nm között nagy eltérések mutatkoznak 410-1980 (radiancia értékkel), ezt a vízminőségi táblázatok alapján valószínűsíthetően a foszfát magas koncentrációja okozhatja, amit a laboratóriumi hiperspektrális kísérletekkel kell majd igazolni.

A „C” mintavételi pontok helyszínét adó tó vízminősége kielégítő, és szemmel láthatóan a mintavétel során ez volt a legtisztább a négy víztest közül. Ez azonban nem azt jelenti, hogy nem szennyezett, mert vannak olyan szennyeződések, amelyek nem produkálnak a vízben szemmel látható elváltozást. Ebben az esetben az analitikai vizsgálatok eredményei a vizuális érzékelést verosították meg. A légi felvétel grafikonjai szabályos lefutásúak és a két mintavételi pont görbelefutása hasonló. Ilyen esetekben is az oldott oxigént és a pH-t érdemes vizsgálni.



**3.ábra** C/1 mintavételi pont grafikonja 16 szomszédos pixel radiancia értékeit mutatja a hullámhossz függvényében.

A „D” mintavételi pontok vízminőségi jellemzői közepesnek mondhatók az 1. táblázat alapján a foszfát és az oldott oxigén koncentrációja lehet befolyásoló tényező 800-1200 nanométer és 50-500-ig terjedő radiancia értékéknél.

	pH	Vezető képes ségb (μS/cm)	Redox potenci ál (mV)	Oldott oxigén (mg/liter)	Kolloidok koncentrációja (mg/l)	Foszf át (mg/l)
D/1	8,49	796	119	3,76	219	0,171
D/2	8,58	783	117	3,57	213	0,164

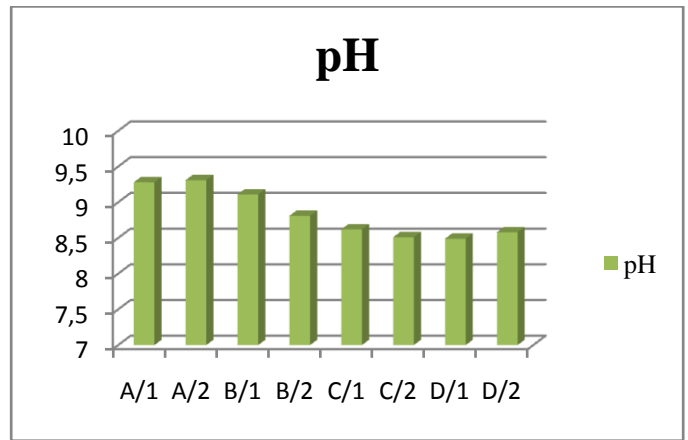
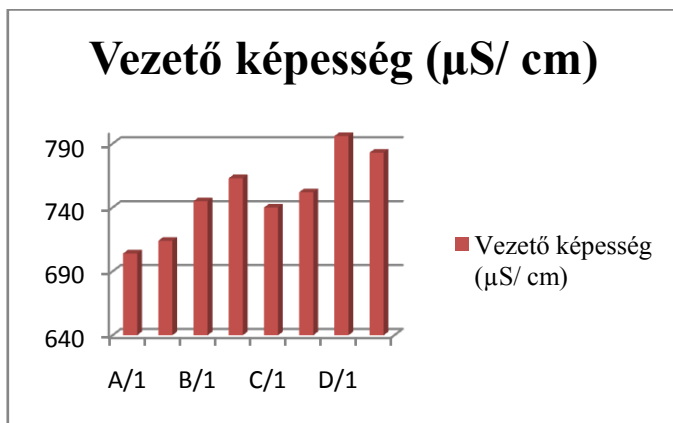
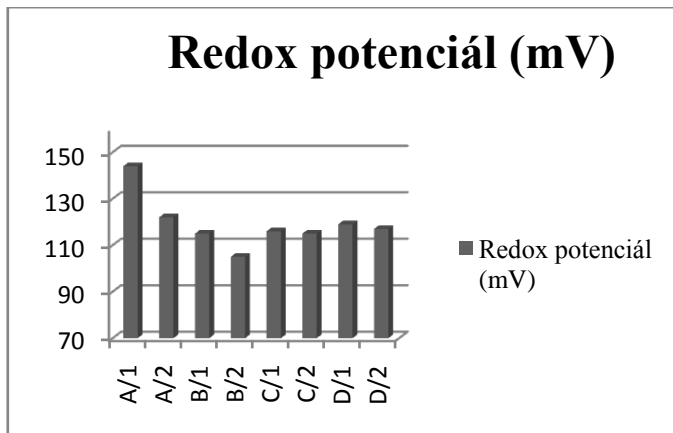
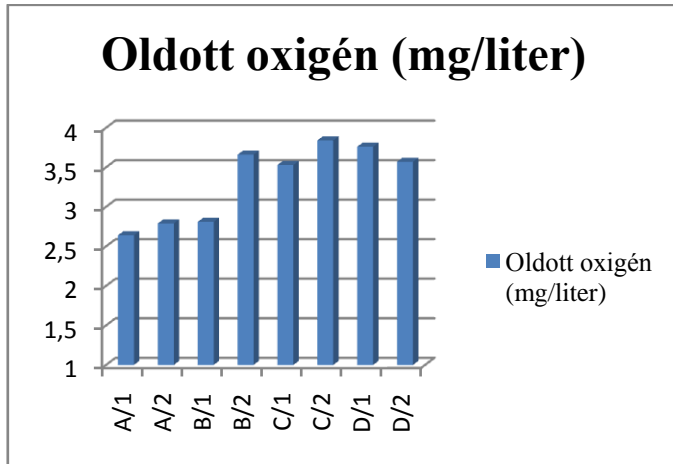
**1. táblázat** Analitikai eredmények D/1, D/2 mintavételi pontokra.

## 4. Eredmények

A hiperspektrális eredmények is sok helyen engednek arra következtetni, hogy a távérzékeléses felmérés elegendő lehet a szennyezett területek felderítésére az ismeretek elmélyítése, terepi és laboratóriumi ismeretanyag előállítás után. A vízkémiai paraméterek becsléséhez azonban még nem áll rendelkezésünkre elegendő információ, a jelenlegi fázisban csupán a mintavételi hálózat megtervezésében számíthatunk biztonsággal a felvételek információtartalmára. A várakozásainkkal szemben a kis geometriai felbontású (<30 cm terepi felbontás) viszont részletes spektrális felbontású hiperspektrális felmérés előnyei nem érvényesülnek a nagyrésztességű multispektrális felméréshez képest, amikor mintavétel tervezésre alkalmazzuk a légi távérzékelést. A korábbi nagyléptékű multispektrális vizsgálatok nem csak pontosabb foltátmenet rögzítést és pontosabb geometriai szennyeződés-kolalizálást tettek lehetővé, de a vízminőség ellenőrzésben is megvalósulhatott a gyakorlati alkalmazásuk. Ez részben a gazdag ismeretanyag rendelkezésre állásának tudható be, másrészt a nagyobb részletességéből eredő kisebb kiértékelési zajnak, a tágabb spektrumú csatornák kínálta dinamikus felvételeknek és szűrési lehetőségeknek köszönhető. A hiperspektrális módszer előnyei a terepi felbontás növekedésével, vagy a kémiai paraméterek becslésénél érvényesülhetnek majd. A minőségi és mennyiségi információ többlet csak az ismeretek elmélyítésével nyerhető ki ezekből az állományokból, ami számos kísérletet igényel. Az előzetes vizsgálatok sikere után javasolható a további mérésorok elvégzése, mert valószínűleg lesznek olyan paraméterek, amelyek jól közelíthetők pusztán légi felmérés által. A szignifikáns korreláció igazolásának érdekében hosszú kutatási időszakon át tartó kísérletekre van szükség. Az már most is elmondható, hogy a laboratóriumi mérések során kiugró vízminőségi adatokat a hiperspektrális adatok is reprezentálják.

Ahol a felszínre vonatkozó grafikonok 500-980 nm tartományában sok abszorpciós bemélyedés látható, azokon a helyeken érdemes labormintát venni és vizsgálatot végezni foszfát, lebegőanyag és oldott oxigén koncentrációjának a megállapítására.

**A laboratóriumban és terepen mért vízkémiai paraméterek diagrammokon közölve:**



## Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Horváth Márknak a laboratóriumi munkában nyújtott segítségét és Bakó Gábor iránymutató tanácsait, valamint Szalay Kornél segítségét.

A hiperspektrális felvétel a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet és a Vidékfejlesztési Minisztérium Mezőgazdasági Gépesítési Intézet közös tulajdonát képező, közösen üzemeltetett AISA DUAL kamerarendszerrel, tudományos célra készült. A felvétel és a felvétel adattartalma a fenti Intézetek tulajdonát képezik.

## Irodalomjegyzék

### A szövegben hivatkozott könyvek:

Bakó G., Eiselt Z., Kovács E. (2008): Környezeti állapotfelmérés nagyfelbontású távérzékeléssel, [An environmental study by high resolution remote sensing] Szent István Egyetem, Tudományos Diák Köri dolgozat, Gödöllő, pp. 107.

Woynarovich Elek (2003): Vizeinkről mindenkinek, Vizeink magánélete közügy, Agroinform Kiadó, Budapest, 86-97. p.

### A szövegben hivatkozott cikkek:

Alexander F.H. Goetz, Gregg Vane, Jerry E. Solomon and Barrett N. Rock (1985): Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing, Science 7 June 1985, Vol. 228 no. 4704 pp. 1147-1153.

Bacsó A. (1973): Gödöllő és közvetlen környékének talajviszonyai, Tudományos Értesítő 54., Agrártudományi Egyetem, Gödöllő, 28-36. p.



**MEGISMERNI A FELADATOT  
MEGTALÁNI AZ ESZKÖZT**



**FÖLDI  
FOTOGRAMMETRIA  
3D PONTFELHŐ  
EGY ESZKÖZBEN.**



**KÉPAJKOTÓ  
MÉROÁLLOMÁS**

[HTTP://WWW.NAVICOM.HU/TOPCON-IS.HTML](http://www.navicom.hu/topcon-is.html)



**TOPCON IP-S2**

**MODULÁRIS MOBILTÉRKÉPEZŐ**

**ALKALMAZÁSI TERÜLETEK:**

**3D UTCATÉRKÉPEZÉS**

**BIZTONSÁGTECHNIKAI TERVEZÉS**

**BURKOLAT HIBÁK VIZSGÁLATA**

**KATASZTRÓFA KÁRFELMÉRÉS**



**TOPCON SOKKIA**

[HTTP://WWW.NAVICOM.HU/TOPCON-MOBILTERKEPEZES.HTML](http://www.navicom.hu/topcon-mobilterkepezes.html)