

## Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat módszertanának alkalmazása nádas mintaterületen, a tihanyi Külső-tavon

Demény Krisztina\*, Bakó Gábor\*\*, Molnár Zsolt\*\*, Molnár András\*, Vers József\*\*\*

\*Óbudai Egyetem (e-mail: demeny.krisztina@rkk.uni-obuda.hu)

\*\*Interspect Kft.

\*\*\*Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság

DOI:10.59258/hk.13175



### Kivonat

A természetközeli ökoszisztémák a kis változásokra azonnal és érzékenyen reagálnak. Az antropogén hatások növekedésével párhuzamosan az élőhelyek mozaikossága is fokozódik, ami az élőhelyek állapotromlásához vezethet. Éppen ezért a vizes területek megőrzésére, védelmére, fenntartására kiemelkedő hangsúlyt kell fektetni. A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH) alkalmas a változások követésére, így a nád monitorozására is. A módszer fejlesztését a táj térszerkezetében végbemenő gyors változások indokolták. A változásokra való reagálás igénye a nehezen megközelíthető terepen megtalálható területek gyors és költséghatékony felmérését tette szükségessé. A szubcentiméteres (centiméter alatti felbontású) részletességű ortofotók kis, pár négyzetkilométeres területek térképezését teszik lehetővé gazdaságosan, így a tájrészletek ilyen mélységű értékelése mintaterületek kijelölésével oldható meg. A tihanyi Külső-tó területének felszínborítása jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt években, a tó felszínének jelentős részét az egybefüggő nádas foglalja el. Az NRMH vizes élőhelyekre vonatkozó felszínborítási kategóriarendszere hat új kategóriával bővült a tó vizsgálatán keresztül.

### Kulcsszavak

NRMH, vizes élőhely, Külső-tó, Tihany, távérzékelés, ortofotó, modell, monitoring.

## Using High-Resolution Aerial Monitoring Network methodology in a reed sample area on the Outer Lake of Tihany

### Abstract

Semi-natural ecosystems respond immediately and sensitively to small changes. As the anthropogenic effects are increasing, habitat mosaicism increases, which can lead to habitat degradation. For this reason, the conservation, protection and maintenance of wetlands should be a priority. The High-Resolution Aerial Monitoring Network (HRAMN) is capable of monitoring changes, including reed monitoring. The development of this method was justified by the rapid changes in the spatial structure of the landscape. The need to respond to these changes has necessitated the rapid and cost-effective survey of areas that are difficult to survey in difficult terrain. Orthophotographs with sub-centimetre detail allow the mapping of small areas of a few square kilometres economically. The land cover of the Outer Lake of Tihany has changed significantly in recent years, with homogeneous reed covering a large part of the lake surface. Six new categories have been added to the HRAMN wetland category system using the example of the lake.

### Keywords

HRAMN, wetland, Outer Lake of Tihany, remote sensing, orthophoto, model, monitoring.

### BEVEZETÉS

A térinformatika és a légi távérzékelés fejlődésével egy-egy mintaterület alapállapotának rögzítése egyre nagyobb területen, egyre nagyobb geometriai pontossággal, egyre megbízhatóbb információtartalommal és részletesebb felmérési tematikával készülhet el, választ adva olyan változások okaira, amelyek klasszikus (deciméteres terepi felbontású) léptékben nem voltak értelmezhetők. „Hogyan is értékelhető a változás” *Kertész (2010)* szerint a legkisebb változás, módosulás is a tájat alakító tényező jelének tekinthető. A légi távérzékelés során készült felvételek és háttéradatbázis alkalmazásával lehetővé válik számos környezet- és természetvédelmi probléma feltárása, elemzése, a helyreállítást követően monitorozása, ahogy a közlemény témájául választott vizes élőhely vizsgálata is. Mivel a centiméteres részletességű légi felméréshez deciméteres geometriai pontosság társul, nem csupán az új lehetőségek jelennek meg az elemzésekben, de a korábban

elvégezett adatgyűjtések térbelisége is javul a nagyfelbontású távérzékelés által, javítva a különböző években lezajlott vizsgálatok eredményeinek statisztikai egybevetetőségét.

*Rakonczay (2002)* besorolása szerint – mely a védett területek művelési ágait természetvédelmi szempontból rangsorolja – a vízfelületek, a vizenyős területek (tavak, mocsarak, fertők, lápok, vízfolyások) számítanak a legérzékenyebb területeknek, ami azt is jelenti, hogy minden átalakulásra azonnal reagálnak, éppen ezért rehabilitációjuk is hosszú és költséges folyamat. A vizes élőhelyek érzékenyen válaszolnak a klímaváltozásra is, a napjainkra egyre inkább jellemző gyorsan lezajló (havária jellegű) intenzív esőzésekre, extrém csapadékhelyzetekre (*Czigány és társai 2010, Konecsny 2015, Berényi és társai 2021*), melyek az erózió fokozódásában is szerepet játszanak. Emellett a biológiai kiemelt fontossággal bíró vizes élőhelyek tekintetében is igaz, hogy a környező antropogén beavatkozások erősen befolyásolják az élet-

közösség állapotát. A Külső-tó is biológiailag kiemelt jelentőségű, mivel a környező területekről már eltűnt értékes fajok – mint pl. a hermelin (*Mustela erminea*), a menyét (*Mustela nivalis*), a vidra (*Lutra lutra*) – egyik utolsó menedéke. A vizes élőhelyek visszaszorulása egyre jelentősebb, az ország különböző területein egyaránt releváns folyamat (Szabó M. és társai 2004, Szabó B. és társai 2011, Demény és Centeri 2012, Uj és társai 2015).

A térinformatika és a légi távérzékelés nemcsak a részletesebb, pontosabb elemzéseket teszi lehetővé, hanem alkalmas a nehezen járható és megközelíthető területek térképezésére, így az 1970-es évektől hazánkban a vizes élőhelyek felmérésében is egyre hangsúlyosabbá váltak az ilyen irányú vizsgálatok. Mivel az új, nagyfelbontású eljárás már számos terepi ellenőrző bejárást is kivált, kevésbé zavarja az élővilágot, így természet terhelési szempontból is előnyösebb az alkalmazása a sávos terepbejárást igénylő módszereknel. Alapvető fontosságú a mocsári vegetáció tanulmányozása, hiszen fontos szerepe van a vizek öntisztulásában, továbbá az emberi beavatkozás mértékére is lehet következtetni két időpont közötti összehasonlító elemzéssel, vegetációtérképezéssel, mely lehetőséget adhat a társulásszerkezet változásának nyomon követésére is. A Balaton, a Kis-Balaton és Velencei-tó nádasainak dinamikája széles körben kutatott, térképezett (Dömötörfy és Pomogyi 1997, Fülöp és társai 2006, Zlinszky és társai 2011, Kozma-Bognár és társai 2015, Gyenese és társai 2019).

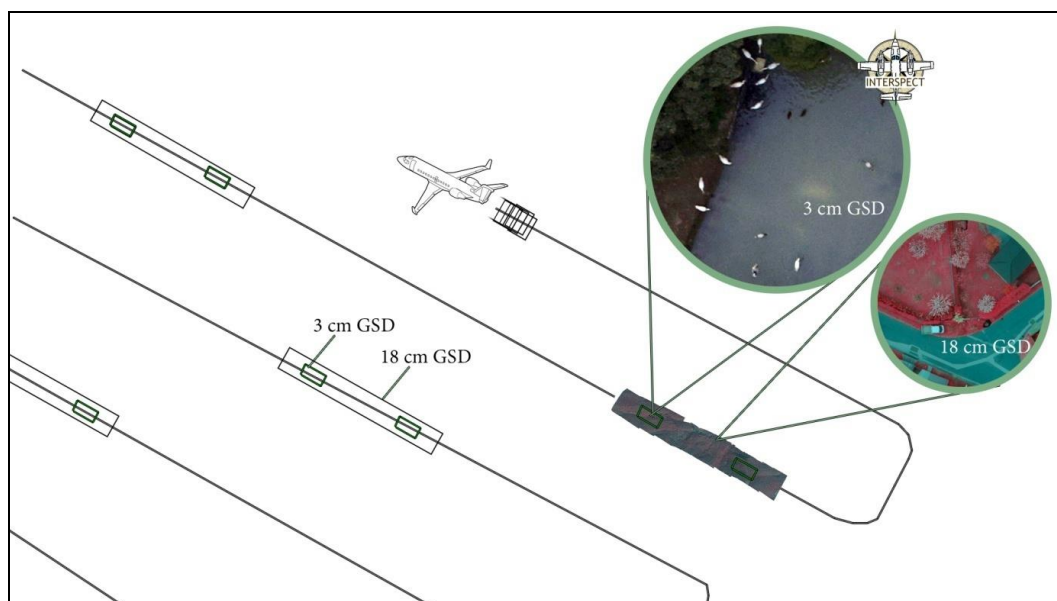
A vízi- és mocsári ökoszisztémák meghatározó élőhelye a nádasok, ezért különösen fontos a minőségük. Az Európai Unió egységes víz politikája, a 2000/60/EGK Víz Keretirányelve (VKI) is a felszíni és felszín alatti vizek állapotának megőrzését, a vizek jó állapotának elérését célozza meg, melynek végrehajtása több ország koordinációjával valósulhat meg vízgyűjtők szintjén (Internet1). A VKI újszerűségét az ökológiai szemlélet adja, a felszíni vizek VKI szerinti állapotértékelése és minősítése az egyik pillére az ökológiai állapot osztályozásának. A VKI monitoringja előírja a felszíni vizek makrofita minősítését is, a hazai szabályozás (22/1998. (II. 13.) Korm. rendelet) alap-

ján a Balaton és a Velencei-tó esetén a nádtérképezést öt évenként el kell végezni. Pomogyi és társai (2007) vizsgálták, hogy a VKI szerinti makrofita minősítés (Pomogyi és Szalma 2006) során mennyire alkalmazható a hazai nádmínősítés. Következtetésük szerint a hazai nádas minősítésben használt terepfelmérési jegyzőkönyvek jól illeszkednek a VKI minősítésre is javasolt jegyzőkönyvhöz, csupán néhány kisebb kiegészítés szükséges.

## NAGYFELBONTÁSÚ REPÜLŐGÉPES MONITORING HÁLÓZAT

A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH, angolul High Resolution Aerial Monitoring Network, HRAMN) műszaki alapjait az Interspect Kft. dolgozta ki (Bakó és társai 2021) 2008 és 2018 között. A monitoring hálózat kiépítése 2018-ban kezdődött meg 15 mintaterületen, ami folyamatosan bővült 220 országosan elszórt vizsgálati területre (Bakó 2019b, Internet2). A mintaterületek kijelölésében a nemzeti parkok, természetmegőrzési intézmények, ökológiai és erdőgazdasági kutatóintézetek voltak a szervezők segítségére, mert a mintavételi helyszínek megfelelő kiválasztása kulcsfontosságú a monitoring hálózat működésének sikeréhez (Molnár és Góber 2020). A monitoring hálózat fejlesztése során fontos elv volt a zavarásmentes műszaki megoldások kidolgozása, az interdiszciplináris kiértékelés és a gyakorlatorientált, terepen is könnyen alkalmazható szempontrendszer kidolgozása, mely választ kínál a környezet-, a táj- és a természetvédelem kérdéseire, egyben információkkal látja el a döntéshozókat (Bakó 2019a).

A távérzékelés gyors fejlődésével a kis- és közepes felbontású felvételek alkalmazása mellett az extrém nagyfelbontású légi felmérések is költségkímélőek és könnyebben hozzáférhetőek lettek. A szubcentiméteres részletességű ortofotók kis, pár négyzetkilométeres területek térképezését teszik lehetővé gazdaságosan. Az eljárás lényege, hogy 0,5-5 cm terepi felbontású ortofotókat rögzítve és háromdimenziós pontfelhőket létrehozva részletes felvételek készíthetők a vizsgált területekről (1. ábra) (Bakó 2019a, Bakó és társai 2021).



1. ábra. A költségkímélő nagy terepi felbontású monitoring rendszer kezdeti elve (Bakó 2019a)

Megjegyzés: A GSD a terepi felbontást fejezi ki

Figure 1. Initial principle of a cost-effective High Resolution Aerial Monitoring Network (Bakó 2019a)

Note: The GSD expresses the spatial resolution

Az NRMH alkalmazási területe széleskörű, különböző szakterületek számára idősoros változáskövető térinformatikai adatbázis hozható létre. Kitűnően alkalmazható a hidrológia területén is aszimmetrikus kanyarulatok mintázatának nyomon követésére; források átrendeződésének, mederváltozások okainak vizsgálatára; eróziós változások megállapítására; ezek mellett lombkoronaszintű vegetációtérképezésre, madárállomány, vagy akár mesterséges objektumok, műtárgyak működési hatásfokának térképezésére. Kulcsfontosságú, hogy mikor megy végbe a légi felmérés és a terepi adatgyűjtés, így például a faállományról vagy egy terület hidrogeológiai állapotáról erdei környezetben meglepő módon a téli időszakban készült felvételekből szerezhető több információ. A légi felmérésből származó térbeli információkat minden esetben terepi felmérés egészíti ki a minél pontosabb és ellenőrzött elemzés elvégzése érdekében (Bakó 2019a, Bakó 2019b, Bakó és társai 2021, Pácsonyi és Bakó 2022, Pinczés 2023, Pácsonyi 2023).

Közepes és nagysebességű merevszárnyú légi járműveket alkalmaznak a felvételezések során, melyek 800 m feletti magasságból készítene 0,5 cm terepi felbontású, fotogrammetriai módszerrel feldolgozható képeket (2. ábra). A 800 m magasság esetén a repülőgép nem zavarja az emlősöket és a madarakat. A nagysebességű merevszárnyú repülőgépek segítségével nagy, 0,5-5 cm terepi felbontású, hézagmentes ortofotók készíthetők. Ezek költségghatékonyabbak és gyorsabbak, mint a kis sebességű légi járművek, mert az időegység alatt így felmérhető területek száma több mint ötszörös, és a felvételezés során kevésbé változik a besugárzás, a felvételek egységesebbek, például populációbecslés esetében az állatok nem vándorolnak nagy távolságokat a felvételezés alatt (Bakó és társai 2020). Ehhez képest a kisméretű pilóta nélküli repülőeszközök (mikro UAV: pilóta nélküli légi jármű) alkalmazása korlátozottabb, leginkább kis kiterjedésű és azonnali felmérést igénylő területeken kapnak szerepet (Bakó 2019a, Molnár és Góber 2020).



2. ábra. Centiméter felbontású ortofotó részlet (Internet3)  
Figure 2. Detail of centimetre resolution orthophoto (Internet3)

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A tihanyi Külső-tó

A tihanyi Külső-tó Marosi és Somogyi (1990), valamint Dövényi (2010) kistáj tipizálása szerint a Dunántúli-dombság nagytáján belül a Balatoni-medence középtájhoz tartozik és a Balatoni-Riviéra kistáj része. A Tihanyi-

félsziget északi részén helyezkedik el. Mérsékelt meleg - mérsékelt száraz éghajlatú terület, az évi középhőmérséklet Tihany körzetében 10,7 °C. A Tihanyi-félszigettől ÉK-i irányban az ariditási index nő (1,17-től 1,20-ig), míg DNy-ra csökken (1,17-től 1,10-ig). A terület a kultúrtáj példája, jórészt erdős-sztyepp övezetbe tartozik, és a kistáját a déli, szubmediterrán jellegű fajok magas aránya jellemzi (Dövényi 2010).

A Tihanyi-félsziget víztani jelentőségét a Belső- és Külső-tó, valamint a Rátai-csáva adja. A Rátai-csáva időszakos tó, a tó medre csapadékosabb években töltődik fel, a három depresszió közül a legmagasabb helyzetben lévő. A kutatás alapjául választott Külső-tó a legalacsonyabb helyzetben lévő, sekély, erősen feltöltődött tó. A tó mély fekvéséből adódó különlegessége – mely hozzájárult a tó hosszú időn át tartó fennmaradásához is –, hogy úgynevezett hideg légtó (Futó és Vers 2014). Kialakulását tekintve maar szerkezetű, miocén korú freatomagmás vulkanizmus eredményeképpen alakult ki (Németh és társai 2001). A Külső-tó vízutánpótlásáról sokáig úgy gondolták, hogy kizárólag csapadékvízből származik, sem forrás, sem patak nem táplálja (Vers 2002). Újabb hidrogeológiai kutatások viszont alátámasztották, hogy a félsziget tavai felszín alatti hidraulikai, vízkémiai összeköttetésben állnak egymással (Havril és társai 2013). A tihanyi Külső-tó jelenleg kiemelkedő, országos védelem alatt álló vizes élőhely. A terület felszínborítása, területhasznosítása, a nyílt vízfelület aránya az évszázadok folyamán többször változott (Dömötör 2011, Futó és Vers 2014).

### Légi felmérés

A légi felmérések az engedélyeztetés (10 évre szóló természetvédelmi engedély, nemzeti park hozzájárulása, honvédelmi távérzékelési engedély stb.) alapján repülőgépekkel, illetve UAS (pilóta nélküli légi rendszer) technológiával, általában autonóm, előre programozott nyomvonalak mentén mennek végbe. A releváns információk kinyerése egyes területeken RGB csatornákon, máshol multispektrális (UV, R,G,B, Nir1, Nir2, Redge, termális csatornákon) felvételezéssel történik. A lerepülés után, ha szükséges a terepi geodéziai felmérést követően laboratóriumi fotogrammetriai feldolgozás során légi háromszögeléssel ortofotók, majd ezekből ortofotó-mozaikok, digitális domborzat, illetve digitális felületmodell, színes pontfelhő készül. A felsorolt termékeken kerül interpretálásra a vektorgrafikus céltérkép, amely egy teljes területfedéses, hézagmentes folttérkép. Utóbbit a terepi kutatók a mobil eszközeiken (tablet, telefon) alkalmazzák, nem csak tájékozódásra, de a foltokat kijelölve a helyszínen kiegészítik azokat a felvett adatokkal. Ezek jellemzően a távérzékeléssel nem, vagy csak nehezen, bizonytalanul gyűjthető plusz információk, például takarásban lévő aljnövényzet fakészlete. Egyúttal ellenőrzésre kerülnek a távérzékeléssel becsült adatok is. Ez a kettős iteráció nagyságrendi javulást eredményez a monitoring jellegű adatgyűjtés megbízhatóságában.

A nagy terepi felbontású RGB téli lerepülésre 2023. január 25-én került sor. A Külső-tó termális szenzorral történő lerepülése során 640 pixel széles boloméret használtak forgószárnyas UAS-ra építve.

### Felszínborítási térkép elkészítése

A következő lépés a tihanyi Külső-tó felszínborítási térképének előállítás, a részletes kategóriarendszer meghatározása volt. Az alkalmazott RGB ortofotót az Interspect Kft. 2023. január 25-én készítette a Balaton-Felvidéki Nemzeti Park (BFNP) támogató jelenlétében (3.

ábra). A felvétel 2,85 cm terepi felbontású. 2023. február 23-án, két órával a teljes napnyugta után a Külső-tó termális szenzorral történő lerepülése is megtörtént. A vizsgált terület vektorgrafikus foltterképének elkészítése a QGIS 3.28. (Quantum Geographical Information System - Földrajzi Információs Rendszer) program használatával készült.



3. ábra. A tihanyi Külső-tó Interspect Kft. által készített ortofotó részlete (Fotó Interspect, 2023.01.25.)  
Figure 3. A section of the orthophoto of Outer Lake of Tihany (Photo by Interspect Ltd., 25.01.2023.)

Az NRMH módszertanát alapul véve a fedvények elkészítése során alkalmazott jelrendszernek 9 fő kategóriája van (Internet4). A jelrendszer és az alkalmazott színskála újabb és újabb területek hálózatba történő becsatolásával fejlődik. A kutatás azt vizsgálta melyek a releváns kategóriák az adott nádas esetén.

### EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

#### A tihanyi Külső-tó hőtérképes felmérése

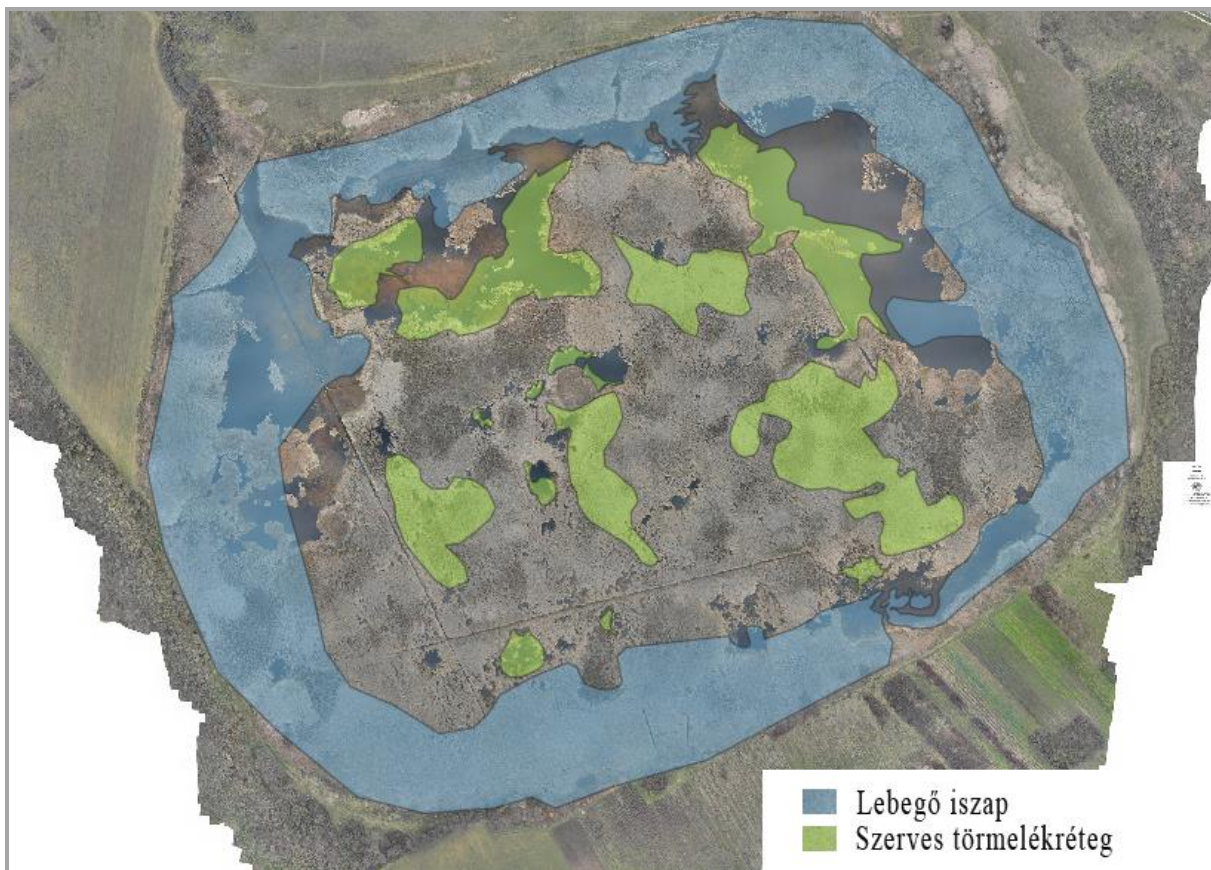
A part menti sávban talaj bemosódás következtében vízbe került, magas ásványi anyag tartalmú iszap lebeg (4. ábra), amit a térképen a kék szín jelöl.

A tó belső részén kemény tőfenék felett 10-20 cm magasságban lebeg a szerves törmelék. Ez a növényzet elhalt részeinek aprózódásából származó szerves törmelékreteg a 4. ábrán szintén megfigyelhető. A felvételezés során potenciális hőforrásokat is találtak (5. ábra), de ezek ellenőrzéséhez 0 °C fok körüli hőmérséklet és hajnali repülés szükséges, amire csak a következő télen nyílik lehetőség.

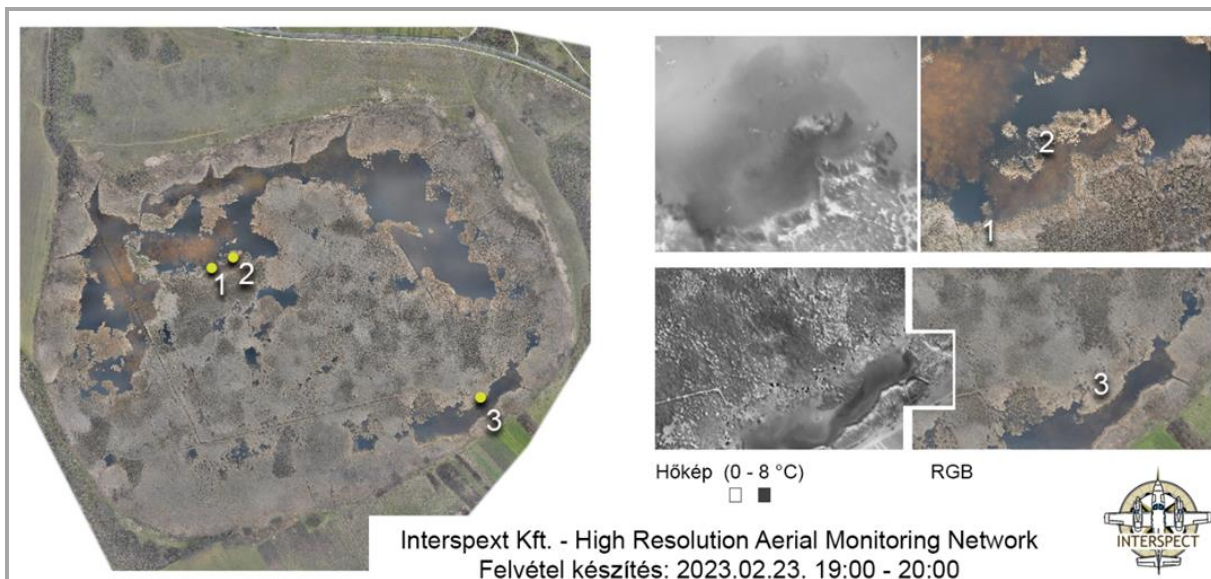
A források felfedésére azért nem tökéletes egy napnyugta utáni termális ortofotó, mert a közvetlen napsugárzás által felmelegített testek még sokáig adnak le hőt, ráadásul csökkenő mértékben, a repülési sorokon haladva is változik a tó egyes részeinek a hőképe. Napfelkelte előtt adódik az az időszak, amikor már minden felület visszahűlt, amelyet korábban napsugárzás melegített fel. A hőtartományú ortofotó-mozaik a fent említett két alkalmazáson túl arra is alkalmas volt, hogy a tavon és a tó melletti földeken meg lehessen számolni a vidrák, ludak és a bütykös hattyúk számát. A felvételezés az üledései régiók lehatárolására és a lehetséges hőforrások felkutatása céljából ment végbe, de az utóbbi bizonytalansága miatt új felvételezést terveznek.

#### A tihanyi Külső-tó NRMH vizes élőhelyre vonatkozó új kategóriái

Az NRMH kiértékelési kategóriái a tihanyi Külső-tó felszínborítási fedvény készítése során hat kategóriával bővültek (1. táblázat). A feltöltődésben lévő tó esetén már nem a nyílt vízfelület a domináns.



4. ábra. A tihanyi Külső-tóban lebegő iszap- és szerves törmelékréteg az éjszakai hő térképről elemezve, a januárban nappal készült ortofotó-mozaikon szemléltetve  
 Figure 4. Silt and organic debris layer floating in the Outer Lake of Tihany, analysed with the night-time thermal mapping, illustrated with the January daytime orthophoto mosaic



5. ábra. Lehetséges természetes források a tihanyi Külső-tóban (Fotó Interspect, 2023.02.23.)  
 Figure 5. Potential natural springs in the Outer Lake of Tihany (Photo by Interspect, 23.02.2023.)

1. táblázat. A vizsgálat során bevezetett új NRMH kiértékelési kategóriák  
Table 1. New HRAMN evaluation categories implemented by the study

LC (Felszínborítás, LandCover)		Rövid megnevezés, leírás
432	Hínaras állóvízfelület	Borításmentes vízfelület, amelyben hínaras figyelhető meg
433	Úszó növényzetfolt	Úszóláp, úszó növényzetfolt, úszó gyékénysziget
450	Vízfelület nádasban	A nádason belül megtalálható borításmentes vízfelület
451	Nádvágás során feltisztult terület	Borításmentes vízfelület, amely alatt nádvágás nyomai figyelhetők meg
453	Homogén nádas	Nagyjából egykorú nádfeület
455	Nádas felritkulása	Ismeretlen okból degradált, szegmentált, összeomló nádas

Hínaras állóvízfelület kategória: Borításmentes vízfelület, amelyben hínaras figyelhető meg. Azon foltok tartoznak ide, ahol a vízfelszín alatt barnás hínaras folt figyelhető meg a tenyészidőszakot megelőzően (6. ábra). A hínaras és a borításmentes, szabad vízfelszín határa nem éles, ezért a pontos határvonal behúzása nehézkes, a pontosság a poligonok töréspontjainak sűrűségével kerül jelölésre.



6. ábra. Hínaras állóvízfelületek foltjai a tihanyi Külső-tó területén

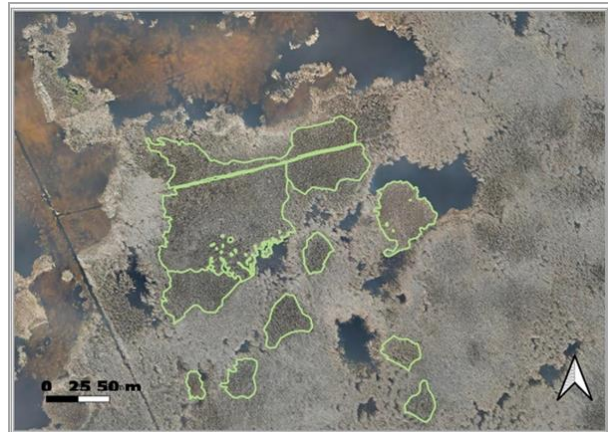
Figure 6. Patches of seaweed in the Outer Lake of Tihany

Úszó növényzetfolt kategória: Úszóláp, úszó növényzetfolt, úszó gyékénysziget tartozik ebbe a kategóriába (7. ábra). Méteres mozgás jellemző, amit a szél indukál, leginkább ott, ahol nagyobb a szabad vízfelszín (pl. a tó északi részén).

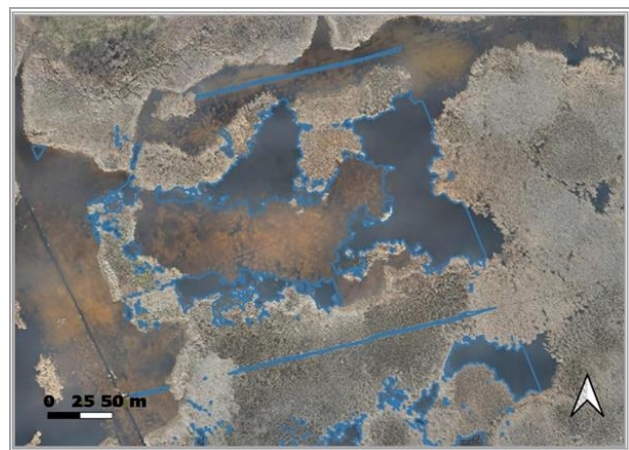
Vízfelület a nádasban kategória: A nádason belül megtalálható borításmentes vízfelület (8. ábra). A foltok azonosítása nem okozott komolyabb nehézséget. A nádason belül az 1 m<sup>2</sup>-nél kisebb területek esetén, ahol különösen nehéz volt a lehatárolás, ott kevés törésponttal leírt poligonok reprezentálják az egységeket, jelezve, hogy a határvonal relatív. Ezzel szemben a markáns határvonalakkal leírható foltátmeneteken sűrű töréspontrendszerű poligonok írják le az egységeket. A legkisebb térképezett terepi folt mérete 0,5 m<sup>2</sup>.

Nádvágás során feltisztult terület kategória: borításmentes vízfelület, amely alatt a nádvágás nyomai figyelhetőek meg (9. ábra). A tó északi és nyugati részén találhatóak meg ezek a foltok, melyek nem kerültek összevo-

násra a borításmentes vízfelülettel. A víz alatti nádvágásra 2014-ben került sor a nádas visszaszorítása érdekében, akkorra a nyílt vízfelület már 10% alá csökkent. A levágtott törzsek 2022-ben tűntek fel újra, ami az évi alacsony víz/csapadék alakulás eredménye.



7. ábra. Úszó növényzetfoltok a tihanyi Külső-tó területén  
Figure 7. Floating vegetation patches in the Outer Lake of Tihany



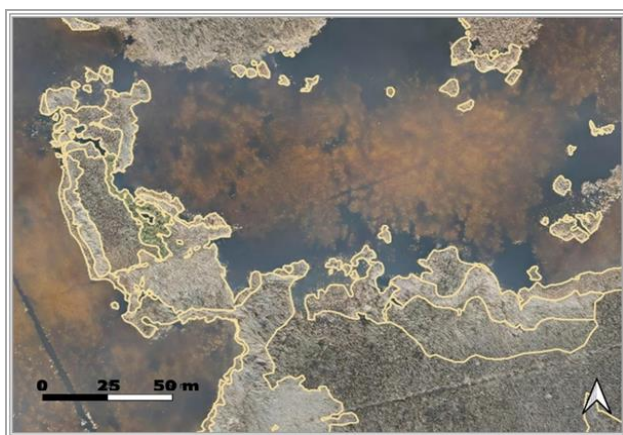
8. ábra. Borításmentes vízfelület a nádasban a tihanyi Külső-tó területén

Figure 8. Water surface in the reedbed in the Outer Lake of Tihany

Homogén nádas kategória: nagyjából egykorú nádfeület (10. ábra), mely egyértelműen elkülöníthető a többi kategóriától. A nehézséget a különböző nádtípusok határvonalának meghúzása jelentette.



9. ábra. Nádvágás során feltisztult terület a tihanyi Külső-tóban  
Figure 9. Land cleared by reedbed cutting in the Outer Lake of Tihany



10. ábra. Homogén nádas a tihanyi Külső-tó területén  
Figure 10. Homogeneous reedbed in the Outer Lake of Tihany

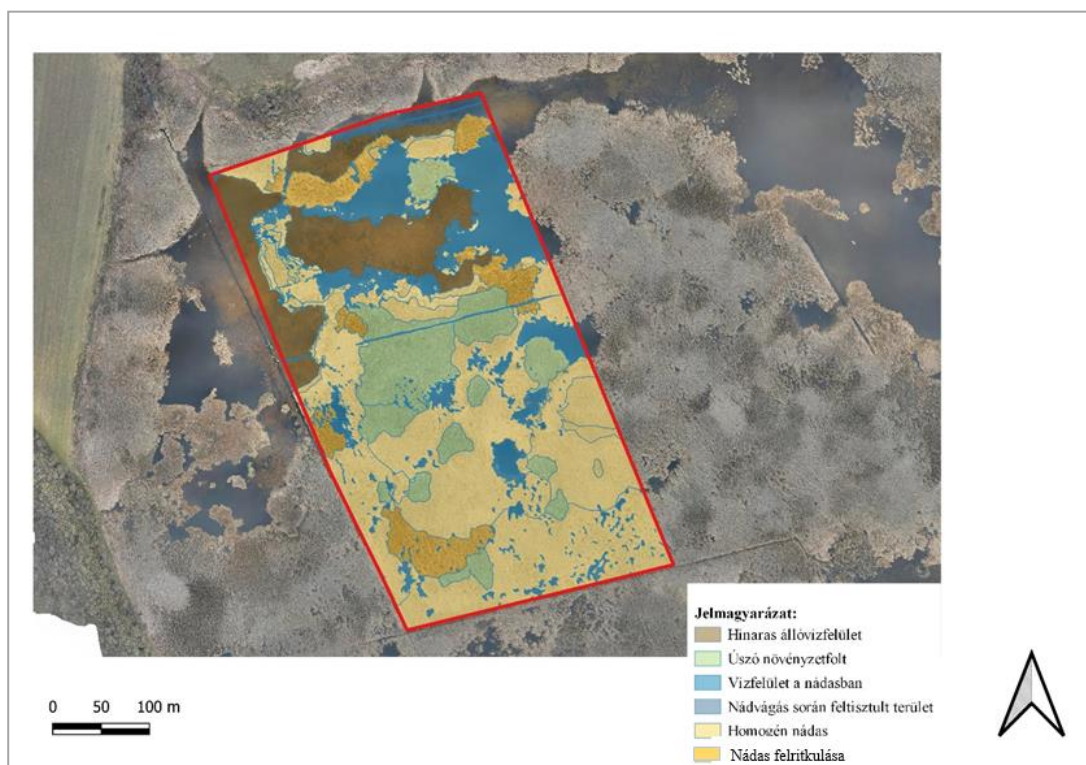
Nádas felritkulása kategória: ismeretlen okból degradált, szegmentált, összeomló nádas (11. ábra). Olyan foltok sorolhatóak ide, ahol a nádas kinyílik, ritkulni kezd, kisebb szabad vízfoltok azonosíthatóak a nádas kinyílása mentén (ezen szabad vízfoltok azonban önálló poligonként még nem kerültek felvételre).



11. ábra. Nádas felritkulása a tihanyi Külső-tó területén  
Figure 11. Self-clearing of reedbed in the Outer Lake of Tihany

#### A mintaterület jelenlegi állapota

Az állapotfelmérés során a következő lépés a tihanyi Külső-tavat reprezentáló részletes felszínborítási térkép elkészítése, a 2023. januári állapotokat tükröző 2,85 cm terepi felbontású ortofotó alapján. Az így elkészült térkép alapján lehetőség lesz a nemzeti park munkatársai számára a terület monitorozására, a térképi információk adattartalommal való feltöltésére (különös tekintettel a nád állomány minősítésre, a nyílt vízfület változásának követésére). A 2,85 cm-es terepi felbontás lehetővé teszi a nehezen megközelíthető, csónakkal sem elérhető terepen (például az összefüggő nádas esetén) a részletesebb, kisebb élőhelyfoltok azonosítását (12. ábra).



12. ábra. A tihanyi Külső-tó felszínborítási térképe  
Figure 12. Land cover map of Outer Lake of Tihany

A korábban ismertett kategóriarendszer szerint lehatárolt foltok alapján megállapítható az egyes felszínborítási kategóriák (LC) kiterjedése (2. táblázat). A kiválasztott terület a tó közép-nyugati része, melynek északi részén 2013-2014-ben nádvágás történt.

2. táblázat. Felszínborítási kategóriák eloszlása a mintaterületen  
Table 2. Distribution of land cover categories in the sample area

LC kategória		Terület	
Kód	Megnevezés	m <sup>2</sup>	%
432	Hírnás állóvízfelület	21 925,70	14,45
433	Úszó növényzetfolt	20 188,51	13,30
450	Vízfelület nádasban	22 585,16	14,88
451	Nádvágás során feltisztult felület	2 564,08	1,69
453	Homogén nádas	71 969,10	47,42
455	Nádas felritkulása	12 541,78	8,26

A szabad, borításmentes vízfelület a területnek 14,88%-a, az összefüggő, homogén nádas a terület majdnem felét foglalja el (47,42%). Korábban *Dömötör (2011)* vizsgálta a tó vízszintváltozását, mely során 1987-2005 közötti időszakban egyértelmű csökkenést állapított meg, 2005-re a tó nyílt vízfelülete 10% alá csökkent. A borításmentes vízfelület növelése érdekében, a nádas visszaszorítása miatt következett be a víz alatti nádvágás és a régi csatornák megtisztítása (*Futó és Vers 2014*). A felszínborítási térképezés során megállapítható, hogy a víz alatti nádvágás nyomai az ortofotókon egyértelműen elkülöníthetők és a nádas továbbra is víz alatt van. A minterület északi és déli része (a korábbi csatorna vágástól nézve) erősen különbözik egymástól, az északi részen a borításmentes vízfelület a domináns, míg a déli részen egyértelműen a nádas a meghatározó, ami a tó bezáródására, feltöltődésére utal.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A táj térszerkezetében az elmúlt évtizedekben bekövetkező gyors változások indokoltá teszik azokat a kutatásokat, melyek segítenek megérteni és előre jelezni a változásokat és azok tendenciáit. A tájkutatás módszerei is ennek mentén változóban vannak, a térinformatika és a légi távérzékelés egyre hangsúlyosabb szerepet kap egy-egy mintaterület alapállapotának rögzítése során, melyek ezáltal pontosabb, részletesebb felméréssel készülhetnek el, részben automatizálhatók, a sűrűbben végbemenő és mélyebb vizsgálatok révén választ adva a változásokra. A vizes élőhelyek minden változásra érzékenyen, azonnal reagálnak, ezért is fontos ezen élőhelyek monitoringja. A vízi- és mocsári ökoszisztémák meghatározó élőhelye a nádasok, ezért különösen fontos a minősítésük. A Külső-tó a Tihanyi-félsziget három kis kiterjedésű tavának egyike. A Külső-tó kiemelkedő jelentőségű, országos védelem alatt álló vizes élőhely. A tó sekély, feltöltődőben lévő vizes élőhely, melynek területhasznosítása, a nyílt vízfelület aránya az évszázadok folyamán többször változott.

A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH) egy olyan zavarásmentes, interdiszciplináris

kiértékelő, gyakorlatorientált, terepen könnyen alkalmazható információs rendszer, mely különböző környezet-, táj- és természetvédelmi döntések meghozása során támogatja a döntéshozókat. Az eljárás lényege, hogy nagy gyakorisággal centiméteres felbontású részletes felvételek készülnek a vizsgált területről, melyek alkalmasak egy-egy mintaterület pontosabb és részletesebb felmérésére. A monitoring hálózat műszaki alapjait az Interspect Kft. dolgozta ki. A felmérés során használt RGB fotókat és termódelleket, valamint hőtérképeket az Interspect Kft. készítette a BFNP támogató jelenlétében. A vizsgált terület vektorgrafikus térképének elkészítéséhez QGIS programot használtunk, és az NRMH módszertanát vettük alapul a fedvény készítése során, melynek kilenc fő kategóriája van. Az elemzés során hat új kategóriával bővítettük a szempontrendszert a vizes élőhelyre vonatkozóan (hírnás állóvízfelület, úszó növényzetfolt, vízfelület a nádasban, nádvágás során feltisztult terület, homogén nádas, nádas felritkulása). Ez alapján elkészült a terület felszínborítási térképe a kiválasztott mintaterületre. A szabad, borításmentes vízfelület a területnek 14,88%-a, az összefüggő, homogén nádas a terület majdnem felét foglalja el (47,42%). A felszínborítási térképezés során megállapítható, hogy a víz alatti nádvágás nyomai az ortofotókon egyértelműen elkülöníthetők és a nádas továbbra is víz alatt van. A minterület északi részén a borításmentes vízfelület volt a domináns, míg a déli részen egyértelműen a nádas meghatározó, ami a tó bezáródására, feltöltődésére utal.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki az Interspect Kft-nek, a Balaton-Felvidéki Nemzeti Park Igazgatóságnak, a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának, illetve a Dupli-tech Kft. részére az engedélyek és a rendelkezésre bocsátott hőtérképező szenzor tekintetében.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Bakó G. (2019a). Nagy terepi felbontású és frekvenciájú légi felmérésen alapuló monitoring-hálózat kiépítési módszertana. *Tájökológiai Lapok*. 17(1). pp. 61-74. <https://doi.org/10.56617/tl.3465>
- Bakó G. (2019b). Repülőgépes megfigyelőhálózat. *Élet és Tudomány*. 64(8). pp. 242-244.
- Bakó G., Molnár Zs., Szilágyi Zs., Biró Cs., Morvai E., Ábrám Ö., Molnár A. (2020). Accurate Non-Disturbance Population Survey Method of Nesting Colonies in the Reedbed with Georeferenced Aerial Imagery, *Sensors*. 20(9). 2601. <https://doi.org/10.3390/s20092601>
- Bakó G., Molnár Zs., Bakk L., Horváth F., Fehér L., Ábrám Ö., Morvai E., Biró Cs., Pápay G., Fűrész A., Penksza K., Pácsonyi D., Demény K., Juhász E., Dékány D., Csernyava L., Illés G., Molnár A. (2021). Toward a High Spatial Resolution Aerial Monitoring Network for Nature Conservation – How Can Remote Sensing Help Protect Natural Areas? *Sustainability*. 1 (16). 8807. <https://doi.org/10.3390/su13168807>
- Berényi A., Pongrácz R., Bartholoy J. (2021). Csapadékszélsőségek változása Európa déli alföldi régióiban az 1951-2019 időszakban. *Modern Geográfia*. 16(4). pp. 85-101. <https://doi.org/10.15170/MG.2021.16.04.05>



- Czigány B., Pirkhoffer E., Balassa B., Bugya T., Bötökös T., Nagyváradai Gyenizse P., Lóczy D., Geresdi I.* (2010). Villámárvíz mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. *Földrajzi Közlemények*. 134(3). pp. 281-298.
- Demény K., Centeri Cs.* (2012). A Gödöllői-dombság tájtörténeti elemzése katonai térképek alapján. VI. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged. Konferencia tanulmánykötete, pp. 155-164.
- Dömötör D.* (2011). Tihanyi-félsziget Külső-tavának hosszú idejű vízszintváltozásainak elemzése távérzékelt állományok retrospektív elemzésével. RS&GIS Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai szakfolyóirat I. 1 (1).
- Dömötörfy Zs., Pomogyi P.* (1997). A KBVR vegetáció-térképezés módszerei. *Hidrológiai Közlöny*. 77(1-2). pp. 48-49.
- Dövényi Z.* (szerk.) (2010). Magyarország tájainak kistáj katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Futó J., Vers J.* (2014). A tihanyi Külső-tó. Élőhely védelem és helyreállítás a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság működési területén. Élőhelyvédelmi füzetek 7., Prospektus Nyomda, Veszprém.
- Fülöp S., Dömötörfy Zs., Pomogyi P.* (2006). A mocsári növényzet állapotának GIS alapú térképezése a Kis-Balaton Védőrendszer Ingói-berkében. *Földrajzi Értesítő*. 55(1-2). pp. 37-51.
- Gyenesé T., Zlinszky A., Albert G.* (2019). A Balatoni nádasok pusztulása és regenerációja a mederdinamika függvényében. *Földrajzi Közlemények*. 143. 3. pp. 197-209. <https://doi.org/10.32643/fk.143.3.1>
- Havril T., Tóth Á., Mádlné Szőnyi J., Müller I., Simon Sz., Péntek Cs., Molson J.* (2013). Tavak és felszín alatti vizek kölcsönhatásának vizsgálata terepi és numerikus szimulációs módszerekkel a Tihanyi-félszigeten. In: Ünnepi kötet Müller Imre professzor 75. születésnapja tiszteletére. ELTE TTK Földrajz és Földtudományi Intézet, Budapest.
- Kertész Á.* (2010). Hogyan értékelhető a tájváltozás? In: Szilassi P., Henits L. (szerk.): *Földrajzi Tanulmányok V., Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században*, Tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai, JATE Press. pp. 125-134.
- Konecsny K.* (2015). Változások néhány dunántúli vízfolyás kisvízi vízjárásában. In: Szlávik L., Gampel T., Szigeti E. (szerk.) XXXIII. Országos Vándorgyűlés. Szombathely, 2015. július 1-3. Budapest, Magyarország: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT). pp. 1-20.
- Kozma-Bognár V., Szeglet P., Soós G., Pintér Á., Anda A., Pomogyi P.* (2015). Kis-Balaton vegetációk tér-idő változásának vizsgálata. *Georgikon Journal*. 19(1). pp. 23-28.
- Marosi S., Somogyi S.* (1990). Magyarország kistájainak katasztere II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest.
- Molnár Zs., Góber E.* (2020). Repülőgépes adatgyűjtés a fenntartható jövőért. *Természettudományi Közlöny*. 151(2). pp. 66-69.
- Németh K., Martin U., Harangi Sz.* (2001). Miocene phreatomagmatic volcanism at Tihany (Pannonian Basin, Hungary). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 111(1-4). pp. 111-135. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(01\)00223-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00223-2)
- Pácsonyi D.* (2023). A Kis-Szénás mintaterület. <https://www.interspect.hu/NRMH/html/10.html> (2023. május 23.)
- Pácsonyi D., Bakó G.* (2022). Az NRMH Módszertanának fejlesztése a Budai Sas-hegyen. *Tájökológiai Lapok*. 20(1). pp. 107-122. <https://doi.org/10.56617/tl.3382>
- Pinczés P.* (2023). Pilis-oldal erdőrezervátum és Pilis-Tető mintaterület. <https://www.interspect.hu/NRMH/html/11.html> (2023. május 23.)
- Pomogyi P., Reskóné Nagy M., Szilágyi F.* (2007). A Balaton és a Velencei-tó, valamint vízgyűjtőjük speciális monitoring hálózata kialakításának makrofita szempontjai. Magyar Hidrológiai Társaság XXV. Országos Vándorgyűlése. Tata 2007. július 4-5. p. 14.
- Pomogyi P., Szalma E.* (2006). A VKI szerinti makrofita minősítő rendszer leírása. <https://enfo.hu/sites/default/files/Makrofita%20minosito%20rendszer.pdf> (2023. május 8.)
- Rakonczay Z.* (2002). Természetvédelem. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Szabó B., Centeri Cs., Vona M.* (2011). Turai legelő Természetvédelmi Terület és környezetének tájváltozás vizsgálat a katonai térképek alapján. *Tájökológiai Lapok*, 9(1). pp. 1-11. <https://doi.org/10.56617/tl.3818>
- Szabó M., Timár G., Győri H.* (2004). A Csicsói-holtág (Alsó-Csallóköz) kialakulása és fejlődése – a tájhasználat és a vizes élőhelyek változásai. *Tájökológiai Lapok*, 2 (2). pp. 267-286. <https://doi.org/10.56617/tl.4600>
- Uj B., Nagy A., Saláta D., Laborczi A., Malatinszky Á., Bakó G., Danyik T., Tóth A., S. Falusi E., Gyuricza Cs., Póti G., Penksza K.* (2015). Wetland habitats of the Kis-Sárrét 1860-2008 (Körös-Maros National Park, Hungary). *Journal of Maps*, 12. pp. 211-221. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.1001799>
- Vers J.* (2002). Természetvédelem az ezredfordulón – In: Futó J. (szerk.): *A Balaton-felvidék természeti értékei III. – A Tihanyi-félsziget*. Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, Veszprém.
- Zlinszky A., Tóth A., Pomogyi P., Timár G.* (2011). Initial report of the aimwetlab project: Simultaneous airborne hyperspectral, lidar and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica*. 1. pp. 101-117.
- Internet1:* <https://vizeink.hu> (2023. május 16.)
- Internet2:* [www.interspect.hu/NRMH.html](http://www.interspect.hu/NRMH.html)
- Internet3:* <https://eletestudomany.hu/wp-content/uploads/2022/02/1-32.jpg> (2023. május 17.)
- Internet4:* <https://www.interspect.hu/NRMH/html/hramn-lc.html>
- 22/1998. (II. 13.) Korm. rendelet a Balaton és a parti zóna nádasainak védelméről, valamint az ezeken folytatott nádgazdálkodás szabályairól.

**A SZERZŐK**

**DEMÉNY KRISZTINA** okleveles geográfus és földrajz szakos tanár, hidrológus. 2019-ben szerzett PhD fokozatot a Szent István Egyetemen környezettudomány-ágban. 2006 óta főállású oktató, jelenleg az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyv- és Könyvtudományi Karán egyetemi adjunktus, intézetigazgató-helyettes. Főbb kutatási területe a tájváltozás, az élőhelyek antropogén hatásra bekövetkező változás vizsgálata.



**BAKÓ GÁBOR** okleveles környezetmérnök, biológia tudományok doktora, távérzékelési szakember. Munkája során települési problémákat old meg a legmodernebb technológiai eszközökkel. A Légi Térképészeti és Távérzékelési Egyesület és a hasonló nevű konferenciasorozat megalapítója, a HRAMN ötletének megalkotója. Környezetvédelmi és képrögzítési területeken igazságügyi szakértő, a vízügy utolsó repülőgép fedélzeti légi fényképészeként kezdte a pályát.



**MOLNÁR ZSOLT** térinformatikus, távérzékelési szakember, az Interspect Kft. alapító tagja, a HRAMN számos alaptervezésének társkidolgozója. Számos település, repülőtér és nagyváros térinformatikai rendszereinek megalapozásában vett részt, több tucat repülőgép fedélzeti és UAS mérőműszerek kidolgozását végezte el.



**MOLNÁR ANDRÁS** programtervező matematikus, katonai műszaki tudományok doktora. Habilitációjának a címe: Kisméretű robotrepülőgépek elosztott irányítási rendszereinek és alkalmazásainak kutatása és fejlesztése (2014). Jelenleg az Óbudai Egyetem általános rektorhelyettese. Kutatási területe: robotrepülő, robotkutatás, automatizálás, elosztott alkalmazások, autonóm rendszerek.



**VERS JÓZSEF** természetvédelmi szakember, a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Kelet-Veszprém Tájégség osztályvezetője, a Természetvédelmi Őrszolgálat tájegység-vezetője.



Elkészült a siófoki vízleeresztő és hajózsilip, a balatonkiliti mederduzzasztó, illetve befejeződtek a munkálatok a Sió-csatornán. A beruházás súlyponti elemei a siófoki zsilipek, melyek egy hosszútávú víziót tükröznek a Balaton vízgazdálkodását illetően, tartalmazzák a ma elérhető legmodernebb megoldásokat, valamint olyan tájépítészeti, városképi elemeket tartalmaznak, melyek nemzetközi szinten is egyedülállónak mondhatóak. ([vizinform.hu](http://vizinform.hu))