

## Pilóta nélküli légi járművek alkalmazása a vizes élőhelyek modern felmérésében

\*DÖBRÖNTEY Réka, GRÓSZ János, KELETI Judit Rita, SZEGI Tamás, FUCHS Márta,  
MICHÉLI Erika, CSORBA Ádám  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Talajtani Tanszék, Gödöllő, Magyarország

(Beérkezett: 2023.10.09.; Elfogadva: 2024.03.01.)  
(Online megjelent: 2024.03.14.)

Szemle  
© Szerző(k) 2024



### Összefoglalás

A vizes élőhelyek a vízi és a szárazföldi ökoszisztémák között elhelyezkedő, igen változatos, és általában nehezen lehatárolható területek. Kiemelt jelentőségük annak köszönhető, hogy bár csak a globális szárazföldi területek mintegy 6–7%-át borítják, kulcsfontosságú szerepet játszanak az éghajlat szabályozásában, a vizes ökoszisztémák biodiverzitásának és hidrológiai viszonyainak fenntartásában, valamint számos további ökológiai és társadalmi funkciót is szolgáltatnak, beleértve az árvízvédelmi, víztisztítási, szén-dioxid-tárolási, élőhelytámogatási és kulturális, rekreációs előnyöket. A vizes élőhelyek azonban mind természetes, mind antropogén hatások következtében térben és időben is dinamikusan változnak, ezért védelmük és megfigyelésük napjainkra igen fontos kutatási területté nőtte ki magát. A műholdas távérzékelés nagyobb területek egyidejű megfigyelését teszi lehetővé, azonban érzékeny a felhőzetre és a légköri hatásokra, bizonytalanságot okozva ezzel az eredményekben. A hagyományos monitoring technológiák mellett a pilóta nélküli légi járművek térnyerése egyre kifejezettebb, köszönhetően rugalmasságának, hatékonyságának és alacsony költségének, miközben nagy térbeli és időbeli felbontású, szisztematikus adatszolgáltatásra képes. Tanulmányunk a pilóta nélküli légi járművek alkalmazási lehetőségeibe nyújt betekintést a vizes élőhelyek felmérésében, valamint áttekinti és összehasonlítja az egyéb távérzékelés technológiák alkalmazhatóságát ezen területek megfigyelésében. Célja, hogy elősegítse a dróntechnológia további terjedését és széles körű alkalmazását a vizes élőhelyek monitorozásában.

**Kulcsszavak:** távérzékelés, vizes élőhely, UAV, drón, műholdas távérzékelés

### Bevezetés

A vizes élőhelyek értékes természetes ökoszisztémák, amelyek környezetvédelmi szempontból nagy jelentőségűek, a világ legveszélyeztetettebb élőhelyei közé tartoznak (LU et al., 2022; LIU et al., 2021; COWARDIN et al., 1985;

\*Levelező szerző: DÖBRÖNTEY RÉKA, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.  
E-mail: dobrontey.reka.erika@uni-mate.hu

GOZLAN et al., 2019). A vizes élőhelyekre a nemzetközi irodalomban általános kifejezés a *wetland*, amely a szó szoros értelmében vizenyős területet jelent (PADISÁK, 2005). A Ramsari Egyezmény, hivatalos nevén „Egyezmény a nemzetközi jelentőségű vizes élőhelyekről, mint a vízmadarak élőhelyéről” szerint vizes élőhelynek, azaz „*wetland*”-nek nevezzük azokat a területeket, ahol a víz határozza meg elsődlegesen a környezetet, illetve a hozzá tartozó növény- és állatvilágot. Ezek a területek a talajvíz szintje általában a felszínhez közel van, vagy a talaj időszakosan vagy állandóan vízzel telített, vagy borított. Az egyezmény széleskörű megközelítést alkalmaz a vonatkozó vizes élőhelyek meghatározásakor. Eszerint vizes élőhelyek a következők: „mocsár, láp, tőzegláp, vagy egyéb vízi élőhelyek, melyek lehetnek természetesek, mesterségesek, ideiglenesek, és állandóak, folyó- vagy állóvizek, édesvizek, avagy félsósak, sósak, ideértve azon tengeri területeket, melyek mélysége apálykor nem haladja meg a hat métert” (THE RAMSAR CONVENTION MANUAL, 1997).

TARDY (2007) szerint vizes élőhelynek kell tekinteni azokat a víztereket, ahol a felületarányos vízmélység átlagosan nem haladja meg a 2 métert (középvízállás esetén). A vizes élőhely szegély jellegűnek tekintendő abban az esetben, ha a felületarányos vízmélység 2 méternél nagyobb. Ilyenkor állóvizek esetében a meder, vízfolyások esetében pedig a partszegély felületének csak azt a részét lehet a vizes élőhelyekhez sorolni, melynek legalább egyharmad részét hínár, illetve mocsári növényzet borítja (állóvizek esetén), valamint tipikus partszegélyi növénytársulások (égeresek, bokorfüzesek, mocsári növényzet) jellemzik (vízfolyások esetén) (TARDY, 2007). A vizes élőhelyek osztályozásánál nemzetközi szinten általában öt csoport különíthető el: (1) tengeri élőhelyek (partvidéki vizes élőhelyek tengerparti lagúnákkal, továbbá sziklás partok és korallszirtek); (2) deltákhoz kapcsolódó élőhelyek (delták, árapály mocsarak, és mangrove mocsarak); (3) tavi élőhelyek (tavakhoz kapcsolódó vizes élőhelyek); (4) folyó menti élőhelyek (vízfolyások mentén); és (5) mocsári élőhelyek (mocsarak, lápok és náddal borított fertők) (COWARDIN et al., 1985).

A vizes élőhelyek eltérő típusba tartozó ökológiai foltokat fognak össze, így alkotnak komplexeket. Átmenetet, úgynevezett ökotont képeznek a vízi és szárazföldi élőhelyek között (MITSCH & GOSSELINK, 2015; GATEBE & KING, 2016). A szegélyeken kialakult vizes élőhelyek fajai a szomszédos szárazföldi és vízi társulásból is származnak, ezzel kiemelkedő fajsűrűséget eredményezve. Számos ritka maradványfaj is él itt, illetve kiindulási pontot biztosít a fajok elterjedéséhez, így az ilyen helyek gyakran kitüntetettek mind természetvédelmi, mind pedig ökológiai szempontból (DÉVAI et al., 2001). A vizes élőhelyek emellett védelmet biztosítanak az árvizekkel, viharokkal szemben, a mezőgazdasági és ipari hulladékok szűrése révén javítják a vízminőséget, és feltöltik a víztartó rétegeket (KLEMAS, 2011).

Mivel a vizes élőhelyek a világ egyik legfontosabb ökoszisztémái közé tartoznak, sérülékenységük szükségessé teszi a változások folyamatos nyomon követését és feltérképezését (DAI et al., 2020; MINASNY et al., 2019). DÖMSÖDI (1986) a vizes élőhelyek közül a lápok jelentőségét hangsúlyozza, hiszen a tájak és talajok természeti egyensúlyában megnyilvánuló környezetvédelmi szerepük

meghatározó. A vizes élőhelyek, köztük a lápok kiterjedésére igen változatos térképi és irodalmi adat áll rendelkezésre, azonban a klímaváltozás okán az erre vonatkozó megbízható adatigény jelentős (MICHÉLI et al., 2017). Mára a távérzékelés a vizes élőhelyek feltérképezésének és nyomon követésének alapvető adatforrásává vált. Mivel a vizes élőhelyek dinamikus ökoszisztémák, besorolásuk számos különböző paramétertől függ. Tekintettel azonban összetett szerkezetükre, a vizes élőhelyek osztályozása kihívást jelent, ami néha több szenzorból álló távérzékelési technikák alkalmazását teszi szükségessé (KAPLAN & AVDAN, 2018; YANG et al., 2020; THAMAGA et al., 2021; TMUŠI' et al., 2020). A növénytakaró spektrális, térbeli és időbeli változékonysága miatt továbbra is kihívást jelent a feltérképezésük. Jelenleg nincs olyan műholdkonstelláció, amely optimalizálná a vizes élőhelyek feltérképezéséhez szükséges spektrális, térbeli és időbeli felbontást a helyszíni felmérések alapján megkülönböztetett élőhelyeknek megfelelően (ALVAREZ-VANHARD et al., 2020). A pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) hozzájárulhatnak a vizes élőhelyek biomasszájának és termelékenységének hatékonyabb feltérképezéséhez és nyomon követéséhez. Az UAV-k költséghatékony, rugalmas megközelítést kínálnak, és képesek az ökoszisztéma-változások megfelelő azonosításához és méréséhez szükséges finomabb térbeli és időbeli felbontást biztosítani (WHITEHEAD et al., 2014), valamint nagy potenciált mutattak a különböző vegetációs osztályok és fajok megkülönböztetésében és feltérképezésében is (MANFREDA et al., 2018; PÁSZTOR et al., 2023).

E tanulmány célja, hogy áttekintse és röviden összefoglalja a vizes élőhelyek feltérképezésében alkalmazható távérzékelési technikákat, különös tekintettel a pilóta nélküli légi járművek alkalmazására a monitoring területén. Valamint, hogy feltárja az egyes módszerek előnyeit és hátrányait, párhuzamba állítva a drónos megoldásokkal.

### **Távérzékelési módszerek alkalmazásának lehetőségei**

A távérzékelés hatalmas mennyiségű információt képes szolgáltatni a földfelszínről, folyamatosan növekvő térbeli, időbeli és spektrális felbontással (SZATMÁRI et al., 2020). Éppen ezért a távérzékelési technikák az elmúlt évtizedekben sikeres eszköznek bizonyultak a vizes élőhelyek feltérképezésében és megfigyelésében is (THAKUR et al., 2017; KAPLAN & AVDAN, 2018; CZAJKOWSKI et al., 2007; PÁSZTOR et al., 2023). A vizes élőhelyek jelenlegi kiterjedésének távérzékeléssel történő meghatározása nagyon értékes eszköz lehet a különböző vizes ökoszisztémák jelentőségének becsléséhez (BUBIER et al., 1997; TANÁCS et al., 2019). A távérzékelési technológia különösen értékes a vizes élőhelyek feltérképezéséhez, ahol a távoli fekvés, a kiterjedés vagy a vizes élőhelyek rendkívül dinamikus jellege miatt a helyszíni mérések nem kivitelezhetőek. A műholdas érzékelők különösen nagy időbeli felbontású szinoptikus képet tudnak készíteni a tájról, és így hatékonyak a vizes élőhely-komplexumok feltérképezésében. Az optikai érzékelők, mint például a Landsat sorozat, a Worldview-2 és a Rapid-Eye, a vizes élőhelyek térképezésének leggyakoribb érzékelői közé tartoznak (ADELI et al., 2020).

Számos tanulmány számolt be a vizes élőhelyek optikai érzékelőkkel történő térképezésének sikeréről, például ASLAM és munkatársai (2023) vizes élőhelyek dinamikájának feltérképezéséhez különböző módszereket és többek között a Sentinel-2, MODIS, Quick Bird, Aster DEM és ANN adatbázisokat használtak. GXOKWE és munkatársai (2020) pedig a Landsat Thematic Mapper (TM), Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Landsat Operational Land Imager (OLI), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Landsat Multispectral Scanner System (MSS), a Sentinel-1 és az Advanced Land Observing Satellite-1-The Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (ALOSPALSAR) adatbázisokat használták munkájuk során. A felhőzet korlátozza az optikai érzékelők adatgyűjtési képességét, ráadásul rövid hullámhosszuk miatt viszonylag kevésbé képesek áthatolni a növényzetet (ADELI et al., 2020). A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) a hagyományos platformok mellett megfelelő alternatívát kínálnak a nagy felbontású távérzékelési adatok gyűjtésére, alacsonyabb költségek és a működésükre jellemző nagyfokú rugalmasság mellett, ezen kívül olyan fejlett konstrukciókkal rendelkeznek, amelyek hasznos terhet és integrált repülésirányító rendszereket hordoznak, így félig vagy teljesen autonóm módon képesek repülni (KLEMAS, 2015). Az UAV-k különböző feladatok végrehajtására alkalmazhatók, mivel könnyen működtethetők és távolról irányíthatók. Az UAV-k által nyújtott szolgáltatások különösen olyan területeken vehetők igénybe eredményesen, amelyek más eszközökkel nehezen hozzáférhetők. Az UAV-rendszer magában foglal egy fedélzeti platformot, érzékelőket és egy repülésvezérlő platformot. A repülésvezérlő rendszerek és a navigációs rendszerek a kulcsfontosságú technológiák az UAV autonóm repülésének megvalósításához és a kijelölt feladat sikeres elvégzéséhez (FENG et al., 2021). A hagyományos pilóta nélküli légi járműveket eredetileg nem távérzékelési célokra tervezték, és számos távérzékelő eszközt nem kifejezetten UAV-khoz terveztek, aminek következtében az integráció a kezdeti szakaszokban nehézkes volt. Az érzékelők optimalizálásával, a távérzékelési technológia teljesítményének javulásával, a távérzékelő berendezések kompatibilitásának növekedésével, a távérzékelési adatok vételi és feldolgozási képességeinek növekedésével, valamint az UAV-platformok és érzékelők integrálásával azonban fokozatosan új lehetőségeket rejtő távérzékelési alkalmazások kifejlesztése vált lehetővé (YANG et al., 2022).

A távérzékelők alkalmazás és hullámhossz (IR (infrared) – infravörös; VIS (visible) – látható; NIR (near infrared) – közeli infravörös; TIR (thermal infrared) – termális infravörös) vagy aktív/passzív üzemmód szerint oszthatók. Az alkalmazási osztályok között vannak a képképzők, amelyek kétdimenziós képeket készítenek, és szárazföldi vagy óceáni jellemzők feltérképezésére használhatók. A radiométerek néhány meghatározott sávban pontosan mérik a sugárzási energiát, míg a spektrométerek az energia egy spektrális kontinuumban vagy több spektrális sávban történő eloszlását adják meg. A reflektancia értékeiből felépülő spektrum az adott felszíni objektumra, illetve annak állapotára jellemző, így közvetett módon, a visszaverődés alapján információt kapunk a földfelszínről is (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; 2010). A profilalkotók, mint például a radar és a LiDAR (Light Detection and Ranging), a domborzati elemek távolságát mérik, lehetővé téve egy terület

topográfiajának vagy batimetriájának meghatározását. A radar és a LiDAR elsősorban "aktív" eszközök, mivel saját impulzus energiát szolgáltatnak. A legtöbb más érzékelő "passzív", mivel a Nap vagy a Föld által biztosított elektromágneses energiát használja (KLEMAS, 2012) (1. táblázat).

A LiDAR, a hiperspektrális és radarképek, valamint különböző vegetációs indexek kombinálásával nemcsak egyes vizes élőhelyi fajok megkülönböztetésére van lehetőség, hanem a vizes élőhelyek növényzetének biokémiai és biofizikai paramétereinek, például a víztartalom, a biomassa és a levélfelület-index becslésében is előrelépés érhető el (ADAM et al., 2010). A pilóta nélküli, távirányítású repülőgépek vagy drónok különösen hasznos, biztonságos és kevésbé költséges módot kínálnak többek között a nehezen megközelíthető területek tanulmányozására is (LYU et al., 2022). Ezek a pilóta nélküli légitársaságok különféle mérőeszközöket hordozhatnak, a radartól kezdve a LiDAR-on át az infravörös érzékelőkig és a kémiai elemző eszközökig (KLEMAS, 2012).

1. táblázat  
Távérzékelésben használt szenzorok osztályozása

Osztályozás alkalmazás szerint <sup>a</sup>	Osztályozás hullámhossz szerint <sup>b</sup>	Osztályozás üzemmód szerint <sup>c</sup>
Képkészítők (leképezők)	VIS	Aktív
Fotográfiai	NIR	LiDAR
Multispektrális	TIR	Radar
Radar	Mikrohullám	Szonár
Side-scan szonár	Hanghullám	Passzív
Radiométerek	Szeizmikus hullám	VIS
Spektrométerek		IR
Profilalkotók		Mikrohullám
LiDAR, radar, szonár		

A vizsgált területről felülnézeti kép rögzíthető légi felvételezés segítségével, melyen a talajfelszín fedett, vagy fedetlen állapotban látszik. Színárnyalatok alapján könnyedén lehatárolhatók az egyes talajfoltok, amennyiben a felvételeken közvetlenül látható a csupasz talajfelszín. A növényzet azonban eltérő mértékben takarhatja a talajfelszín, mely esetben a különböző talajfoltok direkt lehatárolása nehézségekbe ütközik. Mindemellett a növényzet fejlődése jelentős mértékben összefügg a talajviszonyokkal, tehát a jellemző vegetáció alapján következtethetünk a talajviszonyokra is (PÁSZTOR & TAKÁCS, 2014; PÁSZTOR et al., 2020). Közvetett módon tehát lehatárolhatók az eltérő talajfoltok a növényzettel borított területeken is, a vegetáció fejlettségi állapotát figyelembe véve (TÓTH & KERTÉSZ, 1996). Az UAV-k képesek hatékonyan kiegészíteni a környezeti távérzékelés jelenlegi megfigyelési hiányosságait, és a vizes élőhelyek feltérképezéséhez, a vízkészletek állapotának előrejelzéséhez, az ökoszisztémák megfigyeléséhez, a természeti

katasztrófák előrejelzéséhez és a kárfelméréshez szükséges kulcsfontosságú információkat szolgáltatni. Az UAV-k kibővítik a logisztikai szempontból kihívást jelentő területeken végzett felmérések elvégzésének lehetőségét (KLEMAS, 2015; DRONOVA et al., 2021).

### **Kihívások és jövőbeli kilátások a vizes élőhelyek távérzékeléssel történő vizsgálatában**

A műholdas és légi távérzékelés hozzájárult a vizes élőhelyek heterogén és dinamikus természetének feltérképezéséhez és megfigyeléséhez (KLEMAS, 2008). A műholdas távérzékelés ismétlődő lefedettsége által elért nagy időbeli gyakoriság következtében, globális, hosszú távú adatarchívumokat eredményezett, amelyek felhasználhatók a vizes élőhelyek időbeli változásainak kimutatására (DOUGHTY, 2019). A különböző vizes élőhely osztályok térbeli eloszlása időben változhat, ez pedig a multi- és hiperspektrális műholdfelvételek – mint például a Landsat, Sentinel, MODIS, SPOT és RapidEye – segítségével nyomon követhető (THAMAGA et al., 2021). Figyelembe véve azonban a különböző vizes élőhelyi osztályok közötti összemosódást, a közepes felbontású optikai műholdképek, például a Landsat-felvételek használata nagy nehézségekbe ütközhet (OZESMI & BAUER, 2002).

A vizes élőhelyek hosszú távú tendenciáinak és rövid távú változásainak azonosításához távérzékelte képsorozatok elemzésére van szükség. A multispektrális felvételek idősorozatainak felvétele és elemzése azonban nehéz feladat, a képeket hasonló környezeti feltételek mellett (pl. azonos évszak és napszak) és azonos vagy hasonló spektrális sávokban kell felvenni (KLEMAS, 2011), a vizes élőhelyek biomasszájának multispektrális felvételekből történő becslésével kapcsolatban pedig számos korlátozás és kihívás merül fel (GALLANT, 2015). Ezek közé tartoznak a műholdképek térbeli, időbeli és radiometrikus felbontásának kompromisszumai, amelyek elfedhetik a finom léptékben lejátszódó, ökológiailag releváns mintázatokat és folyamatokat. A környezeti gradiensek és a szoros ökotonok megnehezíthetik a vizes élőhelyek számos jellemzőjének megkülönböztetését a közepes felbontású (10–30 m) képek alapján (ZOMER et al., 2009). A műholdas platformokkal szemben a repülőeszközökkel végrehajtott műveletek előnye, hogy nagyobb felbontású adatokat szolgáltatnak; hasonlóképpen programozhatók az optimális árapály- és időjárási feltételek melletti adatgyűjtésre (CHUST et al., 2008). Ezen kívül azonban a vizes élőhelyek növényzetének spektrális jellemzőit az alatta lévő talaj, a víz és a nem fotoszintetizáló növényzet által kibocsátott reflexió befolyásolja, valamint a növényi szövetek víztartalma és a növénytakaró szerkezete is módosíthatja. A biomasszára irányuló becslések az optikai távérzékelésben gyakran használnak spektrális információt vegetációs indexek formájában. A vegetációs indexek a biomasszára érzékeny látható és közeli infravörös hullámhosszokon belüli reflexiót foglalják össze, miközben a talaj és a légköri interferencia okozta eltéréseket is figyelembe veszik. A biomassza becslésének alapját a helyszíni biomasszamérések és a vegetációs indexek közötti korreláció adja (DOUGHTY, 2019). KLEMAS (2011) szerint a növényzet zavaró hatása a spektrális lenyomatokban azzal orvosolható, hogy a spektrális információt egyetlen indexre korlátozzuk, a multispektrális képeket

minden egyes időpontra vonatkozóan egyetlen indexmezőre redukálva, ily módon a probléma egyetlen változó idősorainak elemzésére egyszerűsödik, a képek minden egyes pixelére vonatkozóan (KLEMAS, 2011). A leggyakrabban használt index a normalizált differenciált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), amelyet a vörös és a közeli infravörös fényvisszaverődések különbségének és ezek összegének hányadosaként fejeznek ki. Ez a két spektrális sáv képviseli a zöld növények leginkább kimutatható spektrális jellemzőit (YOUNG & WANG, 2001).

A vizes élőhelyek légi úton történő feltérképezésénél a korlátozott térbeli és spektrális felbontás még mindig problémát jelenthet, ami a képelemzés során túl sok vegyes tulajdonsággal rendelkező pixelt eredményezhet. A költségek mellett egy másik probléma a képfeldolgozási eljárások összetettsége, amelyek szükségessé ahhoz, hogy a hiperspektrális vagy fuzionált multiszenzoros adatok felhasználhatók legyenek a vizes élőhelyek növényzetének vagy más jellemzőinek automatikus osztályozására (CHABRILLAT et al., 2002; TAMÁS & LÉNÁRT, 2006). A hiperspektrális képadatok nagy mennyisége speciális szoftvercsomagok használatát, nagy adattárolást és hosszabb feldolgozási időt tesz szükségessé (KLEMAS, 2012).

Az UAV-k szélesebb körű alkalmazásának még mindig vannak technikai és jogi akadályai. Az UAV-k üzemeltetése előtt álló egyik legnehezebb kihívás e rendszerek nem elkülönített légtérbe való beillesztése. Ez a pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó szigorú biztonsági követelményekből fakad (PEREIRA et al., 2009; LT., 1995).

### Összefoglalás

A vizes élőhelyek ökoszisztémái szélsőségesen eltérő területi kiterjedésűek, nagyfokú térbeli és időbeli változékonyságot mutatnak. Bár ma már nagy térbeli felbontású műholdas adatok is rendelkezésre állnak, a vizes élőhelyek kutatására és kezelésére szolgáló számos alkalmazáshoz gyakran szükség van arra, hogy biofizikai jellemzőiket nagy tér- és időbeli felbontásban nyomon lehessen követni, amit főként a légi járműveken és más fedélzeti platformokon elhelyezett aktív és passzív távérzékelők biztosítanak (KLEMAS, 2012).

Az új műholdkonstellációk, mint például a Sentinel-2, nagy időbeli frekvenciát és spektrális gazdagságot biztosítanak, de térbeli felbontásuk továbbra is túl alacsony ahhoz, hogy hatékonyan meg lehessen különböztetni a kicsi vagy foltszerűen megjelenő élőhelytípusokat (RAPINEL et al., 2019). A közelmúlt béli technológiai fejlődés széles körben elérhetővé tette az UAV-kat, amelyek új, páratlan tulajdonságokkal rendelkező, alacsony költségű távérzékelési adatforrást biztosítanak (ANDERSON & GASTON, 2013). Annak ellenére, hogy a könnyű UAV-k nem képesek nagy területeket lefedni, képesek nagyon nagy térbeli felbontású multispektrális adatokat szolgáltatni centiméteres és deciméteres térbeli felbontással, ami tiszta pixeleknek felel meg (KANEKO & NOHARA, 2014). Az UAV-alapú képalkotás nem fogja teljes mértékben helyettesíteni a műholdak által készített felvételek használatát a regionális és globális értékelésekhez, de nagymértékben hozzá fog járulni a kis és közepes léptékű helyi adatkezeléshez (LIBRÁN-EMBED et al., 2020).

### Irodalom

- ADAM, E.; MUTANGA, O., RUGEGE, D., 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*. **18**. 281–296.
- ADELI, S., SALEHI, B., MAHDIANPARI, M., QUACKENBUSH, L., J., BRISCO, B., TAMIMINIA, H., SHAW, S., 2020. Wetland Monitoring Using SAR Data: A Meta-Analysis and Comprehensive Review. *Remote Sensing*. **12**. (14) 2190.
- ALVAREZ-VANHARD, E., HOUET, T., MONY, C., LECOQ, L., CORPETTI, T., 2020. Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping? *Remote Sensing of Environment*. **243**. 111780
- ANDERSON, K., GASTON, K., J., 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **11**. (3) 138–146.
- ASLAM, R., W., SHU, H., JAVID, K., PERVAIZ, S., MUSTAFA, F., RAZA, D., AHMED, B., QUDDOOS, A., AL-AHMADI, S., HATAMLEH, W., A., 2023. Wetland Identification through Remote Sensing: Insights into Wetness, Greenness, Turbidity, Temperature, and Changing Landscapes. *Big Data Research*. **35**. 100416.
- BUBIER, J., L., ROCK, B., N., CRILL, P., M., 1997. Spectral reflectance measurements of boreal wetland and forest mosses. *Journal of Geophysical Research*. **102**. (D24) 483–494.
- CHABRILLAT, S., GOETZ, A., F., H., KROSLEY, L., OLSEN, H., W., 2002. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution. *Remote Sensing of Environment*. **82**. 431–445.
- CHUST, G., GALPARSORO, I., BORJA, Á., FRANCO, J., URIARTE, A., 2008. Coastal and estuarine habitat mapping, using LIDAR height and intensity and multi-spectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **78**. (4). 633–643.
- COWARDIN, L., M., CARTER, V., GOLET, F. C., LAROE, E. T., 1985. *Classification of Wetlands and Deep Water Habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington D.C.
- CZAJKOWSKI, K., TORBICK, N., LAWRENCE, P., 2007. Application and assessment of a giscience model for jurisdictional wetlands identification in Northwestern Ohio. In *Wetland and Water Resource Modeling and Assessment: A Watershed Perspective*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 2–12.
- DAI, X., YANG, G., LIU, D., WAN, R., 2020. Vegetation Carbon Sequestration Mapping in Herbaceous Wetlands by Using a MODIS EVI Time-Series Data Set: A Case in Poyang Lake Wetland, China. *Remote Sensing*. **12**. (18) 3000.
- DÉVAL, G., NAGY, S., WITTNER, I., ARADI, C., CSABAI, Z., TÓTH, A., 2001. A vízi és a vizes élőhelyek sajátosságai és tipológiája. In: BÓHM A., SZABÓ M. (szerk.) *Vizes élőhelyek: a természeti és a társadalmi környezet kapcsolata*. ELTE Természettudományi Kar; SZIE Környezetgazdálkodási Intézet; KöM Természetvédelmi Hivatal, Budapest. pp. 11–74.
- DOUGHTY, C., L., CAVANAUGH, K., C., 2019. Mapping Coastal Wetland Biomass from High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Remote Sensing*. **11**. (5) 540.
- DÖMSÖDI J., 1986. *Változások a tőzeglápokon. Talajjavító- Nyersanyagkutató és Tervező Iroda, Budapest*. pp. 127–150.



- DRONOVA, I., KISLIK, C., DINH, Z., KELLY, M., 2021. A Review of Unoccupied Aerial Vehicle Use in Wetland Applications: Emerging Opportunities in Approach, Technology, and Data. *Drones*. **5**. (2) 45.
- FENG, L., CHEN, S., ZHANG, C., ZHANG, Y., HE, Y., 2021. A comprehensive review on recent applications of unmanned aerial vehicle remote sensing with various sensors for high-throughput plant phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture*. **182**. 106033.
- GALLANT, A. L., 2015. The challenges of remote monitoring of wetlands. *Remote Sensing*. **7**. 10938–10950.
- GATEBE, C., K., KING, M., D., 2016. Airborne spectral BRDF of various surface types (ocean, vegetation, snow, desert, wetlands, cloud decks, smoke layers) for remote sensing applications. *Remote Sensing of Environment*. **179**. 131–148.
- GOZLAN, R., E., KARIMOV, B., K., ZADEREEV, E., KUZNETSOVA, D., BRUCET, S., 2019. Status, trends, and future dynamics of freshwater ecosystems in Europe and Central Asia. *Inland Waters*. **9**. (1) 78–94.
- GXOKWE, S., DUBE, T., MAZVIMAVI, D., 2020. Multispectral Remote Sensing of Wetlands in Semi-Arid and Arid Areas: A Review on Applications, Challenges and Possible Future Research Directions. *Remote Sensing*. **12**. (24) 4190.
- KANEKO, K., NOHARA, S., 2014. Review of effective vegetation mapping using the UAV (unmanned aerial vehicle) method. *Journal of Geographic Information System*. **6**. 733–742.
- KAPLAN, G., AVDAN, U., 2018. Monthly Analysis of Wetlands Dynamics Using Remote Sensing Data. *International Journal of Geo-Information*. **7**. 411.
- KLEMAS, V., V., 2008. Remote Sensing of Coastal Ecosystems and Environments. 2008 IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium.
- KLEMAS, V., V., 2011. Remote Sensing of Wetlands: Case Studies Comparing Practical Techniques. *Journal of Coastal Research*. **27**. (3) 418–427.
- KLEMAS, V., V., 2012. Airborne Remote Sensing of Coastal Features and Processes: An Overview. *Journal of Coastal Research*. **29**. (2) 239–255.
- KLEMAS, V., V., 2015. Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *Journal of Coastal Research*. **31**. (5) 1260–1267.
- LIBRÁN-EMBED, F., KLAUS, F., TSCHARNTKE, T., GRASS, I., 2020. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review. *Science of The Total Environment*. **732**. 139204.
- LIU, Y., JIN, R., ZHU, W., 2021. Conversion of Natural Wetland to Farmland in the Tumen River Basin: Human and Environmental Factors. *Remote Sensing*. **13**. (17) 3498.
- LT., 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről.
- LU, L., LUO, J., XIN, Y., DUAN, H., SUN, Z., QIU, Y., XIAO, Q., 2022. How can UAV contribute in satellite-based *Phragmites australis* aboveground biomass estimating? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. **114**. 103024.
- LYU, X., LI, X., DANG, D., DOU, H., WANG, K., LOU, A., 2022. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Remote Sensing in Grassland Ecosystem Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*. **14**. (5) 1096.
- MANFREDA, S.; MCCABE, M.; MILLER, P., LUCAS, R., PAJUELO, V., M., MALLINIS, G., BEN DOR, E., HELMAN, D., ESTES, L., CIRAULO, G., 2018. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing*. **10**. 641.

- MICHÉLI, E., FUCHS, M., TÓTH, J., A., CSORBA, Á., SZEGI, T., 2017. Javaslat a hazai láptalajok osztályozásának megújítására. *Agrokémia és Talajtan*. **66**. (1). 183–199.
- MINASNY, B., BERGLUND, Ö., CONNOLLY, J., HEDLEY, C., DE VRIESE, F., GIMONA, A., KEMPEN, G., KIDD, D., LILJA, H., MALONE, B., MCBRATNEY, A., ROUDIER, P., O'ROURKE, S., RUDIYANTO, PADARIAN, J., POGGIO, L., TEN CATEN, A., THOMPSON, D., TUVE, C., WIDYATMANTI, W., 2019. Digital mapping of peatlands – A critical review. *Earth-Science Reviews*. **196**. 102870.
- MITSCHE, W., J., GOSSELINK, J., G., 2015. *Wetlands*, 5th ed.. Wiley: Hoboken, NJ, USA. pp. 155–204.
- OZESMI, S. L.; BAUER, M. E., 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology Management*. **10**. 381–402.
- PADISÁK, J., 2005. *Általános limnológia*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., ILLÉS, G., SZABÓ, J., SZATMÁRI, G., 2020. Progress in the elaboration of GSM conform DSM products and their functional utilization in Hungary. *Geoderma Regional*. **21**. e00269.
- PÁSZTOR, L., TAKÁCS, K., 2014. Távérzékelés a talajtérképezésben. *Agrokémia és Talajtan*. **63**. (2) 353–370.
- PÁSZTOR, L., TAKÁCS, K., MÉSZÁROS, J., SZATMÁRI, G., ÁRVAI, M., TÓTH, T., BARNA, G., KOÓS, S., KOVÁCS, Z., A., LÁSZLÓ, P., BALOG, K., 2023. Indirect Prediction of Salt Affected Soil Indicator Properties through Habitat Types of a Natural Saline Grassland Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery. *Land*. **12**. (8) 1516.
- PEREIRA, E., BENCATEL, R., CORREIRA, J., FELIX, L., GONCALVES, G., MORGANO, J., SOUSA, J., 2009. Unmanned air vehicles for coastal and environmental research. In: DA SILVA, C., P. (ed.) *Proceedings of the ICS, Journal of Coastal Research*. Special Issue. **6**. pp. 1557–1561.
- RAPINEL, S., MONY, C., LECOQ, L., CLÉMENT, B., THOMAS, A., HUBERT-MOY, L., 2019. Evaluation of Sentinel-2 time-series for mapping floodplain grassland plant communities. *Remote Sensing of Environment*. **223**. 115–129.
- SZATMÁRI, G., BAKACSI, Z., LABORCZI, A., PETRIK, O., PATAKI, R., TÓTH, T., PÁSZTOR, L., 2020. Elaborating Hungarian Segment of the Global Map of Salt-Affected Soils (GSSmap): National Contribution to an International Initiative. *Remote Sensing*. **12**. (24) 4073.
- TAMÁS, J., LÉNÁRT, C., 2006. Analysis of a small agricultural watershed using remote sensing techniques. *International Journal of Remote Sensing*. **27**. (17) 3727–3738.
- TANÁCS, E., BELÉNYESI, M., LEHOCZKI, R., PATAKI, R., PETRIK, O., STANDOVÁR, T., PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., MOLNÁR, Zs., BEDE-FAZEKAS, Á., KISNÉ FODOR, L., VARGA, I., ZSEMBERY, Z., MAUCHA, G., 2019. Országos, nagyfelbontású ökoszisztéma-alaptérkép: módszertan, validáció és felhasználási lehetőségek. *Természetvédelmi Közlemények*. **25**. 34–58.
- TARDY, J. (szerk.), 2007. *A magyarországi vadvizetek világa*. Alexandra, Pécs.
- THAKUR, J., K., SINGH, S., K., EKANTHALU, V., S., 2017. Integrating remote sensing, geographic information systems and global positioning system techniques with hydrological modeling. *Applied Water Science*. **7**. 1595–1608.
- THAMAGA, K., H., DUBE, T., SHOKO, C., 2021. Advances in satellite remote sensing of the wetland ecosystems in Sub-Saharan Africa. *Geocarto International*. **37**. (20) 5891–5913.

- THE RAMSAR CONVENTION MANUAL: a Guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971), 1997. 2nd ed. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland.
- TMUŠÍ, G., MANFREDA, S., AASEN, H., JAMES, M., R., GONÇALVES, G., BEN-DOR, E., BROOK, A., POLINOVA, M., ARRANZ, J., J., MÉSZÁROS, J., ZHUANG, R., JOHANSEN, K., MALBETEAU, Y., PEDROSO DE LIMA, I., DAVIDS, C., HERBAN, S., MCCABE, M., F., 2020. Current Practices in UAS-based Environmental Monitoring. *Remote Sensing*. **12**. (6) 1001.
- TÓTH, T., KERTÉSZ, M., 1996. Application of soil-vegetation correlation to optimal resolution mapping of solonchak rangeland. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. **10**. 1–12.
- VISCARRA ROSSEL, R., A., WALVOORT, D., J., J., MCBRATNEY, A., B., JANIK, L., J., SKJEMSTAD, J., O., 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*. **131**. 59–75.
- VISCARRA ROSSEL, R., A., MCBRATNEY, A., B., MINASNY, B. (eds.), 2010. *Proximal Soil Sensing*. Springer, Dordrecht.
- WHITEHEAD, K., HUGENHOLTZ, C., H., MYSHAK, S., BROWN, O., LECLAIR, A., TAMMINGA, A., BARCHYN, T., E., MOORMAN, B., EATON, B., 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. **2**. 86–102.
- YANG, Z., YU, X., DEDMAN, S., ROSSO, M., ZHU, J., YANG, J., XIA, Y., TIAN, Y., ZHANG, G., WANG, J., 2022. UAV remote sensing applications in marine monitoring: Knowledge visualization and review. *Science of The Total Environment*. **838**. 155939.
- YOUNG, S., S., WANG, C., Y., 2001. Land-cover change analysis of China using global-scale Pathfinder AVHRR Landcover (PAL) data, 1982-92. *International Journal of Remote Sensing*. **22**. 1457–1477.
- ZOMER, R.J., TRABUCCO, A., USTIN, S., L., 2009. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing. *Journal of Environmental Management*. **90**. 2170–2177.

### **Application of unmanned aerial vehicles as modern tools for wetland monitoring**

\*Réka DÖBRÖNTEY, János GRÓSZ, Judit Rita KELETI, Tamás SZEGI, Márta FUCHS, Erika MICHÉLI, Ádám CSORBA

Department of Soil Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary

### **Summary**

Wetlands are highly diverse transitional territories situated between aquatic and terrestrial ecosystems, characterized by fuzzy boundaries resulted in difficulties in their mapping. While covering only 6% of the Earth's surface, wetlands play a key

role in regulating climate change, maintaining biodiversity and controlling hydrological conditions of these special ecosystems. They also provide several ecological and social functions as well, including flood control, water purification, carbon storage, habitat support and cultural, recreational benefits. However, wetlands show great temporal and spatial variability due to natural and human impacts, thus their protection and monitoring has become a significant area of research in the past decades. Remote sensing by satellite allows simultaneous monitoring of large areas, but is sensitive to cloud cover and atmospheric influences, creating uncertainty in the results. In addition to traditional monitoring technologies, the application of unmanned aerial vehicles becomes more pronounced, thanks to their flexibility, efficiency and low cost, while being able to provide systematic data with high spatial and temporal resolution. This paper provides an insight into the potential applications of unmanned aerial vehicles in wetland surveys, and reviews and compares the applicability of other remote sensing technologies for monitoring of these areas. It aims to promote the further spread and widespread use of drone technology in wetland monitoring.

**Keywords:** remote sensing, wetland, UAV, drone, satellite remote sensing

#### Tables and figures

*Table 1.* Classification of sensors used in remote sensing (a) classification by application (b) classification by wavelength (c) classification by operation mode

#### Összeférhetlenségi nyilatkozat

Michéli Erika a szerkesztőbizottság tagja. A kéziratot a bizottság egy másik tagja kezelte, ő a bírálat folyamatában semmilyen formában nem vett részt.

---

**Open Access nyilatkozat:** A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID\_1)

---