



Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem

**Édesvízi klorofill-a meghatározási
eljárások összehasonlító elemzése és
fejlesztése távérzékelési módszerek
alkalmazásával**

Doktori értekezés tézisei

DOI: 10.54598/002430

Tóth Veronika Zsófia

Budapest

2022

A doktori iskola megnevezése:

Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: kertészeti biológia

vezetője: Zámboriné Dr. Németh Éva

Tanszékvezető, egyetemi tanár, DSc

MATE, Kertészettudományi Kar,

Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Témavezető: Dr. Jung András

Habilitált egyetemi docens

ELTE, Informatikai Kar,

Térképtudományi és Geoinformatikai

Intézet

.....

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, a kitűzött célok

A tavak ökológiai állapotát, gazdasági használhatóságát és turisztikai vonzerejét jelentős mértékben meghatározza a benne jelen lévő algák mennyisége, amelynek vizsgálatához jellemzően a vele szoros korrelációt mutató klorofill-a mennyiséget határozzák meg. A tavak kiemelt szociális és gazdasági szerepet töltenek be, továbbá ivóvízbázisként, turisztikai célpontként szolgálnak, a halgazdasággal pedig a gazdasági növekedéshez járulnak hozzá. Az algák a vízi tápláléklánc alapját képezik, alapvetően meghatározzák a tó ökológiai állapotát. Túlszaporodásuk, az úgynevezett algavirágzás azonban komoly problémákat vet fel. Ezért az algák rendszeres monitoringja, mennyiségük és faji meghatározásuk kiemelkedő fontosságú.

A klorofill-a mérésre két alapvető módszer áll rendelkezésre. A helyi mintavételek laboratóriumi vizsgálata és a távérzékeléses módszerek. A hagyományos helyszíni mintavétellel és a laborban történő vizsgálatokkal összehasonlítva a távérzékeléses vizsgálatok számos előnnyel rendelkeznek.

Távérzékeléses módszereket alkalmazó kutatásom célkitűzései a következők:

I. Új mérési eljárás

Komplex távérzékelési rendszer és módszertan kidolgozása annak igazolására, hogy a klorofill-a koncentráció laboratóriumi eredményekkel kalibrálva eredményesen

mérhető drónos multispektrális távérzékelési eljárással is. A módszer a repülőgéppel vagy műholddal végzett méréseknél nagyobb felbontású felvételeket biztosítana, lehetővé tenné a napi szintű monitoring tevékenységet.

II. Új adatfeldolgozási eljárás

Új, jelen kutatási területre optimalizált, klorofill-a meghatározásra alkalmas algoritmus, műholdas és drónos multispektrális felvételekre alkalmazható, kis számítási igényű és egyszerűbben automatizálható korrekciós eljárás kidolgozása. A mintavételezési lehetőségekhez képest az eljárás tesztelése a Balaton több helyszínén (mind a négy medence területén, északi és déli területen).

III. Új adatkinyerési eljárás

A kutatómunka részeként előfeldolgozott távérzékeléses felvételek koordinátái alapján történő reflektanciaértékek kinyerése, a munka automatizálásának érdekében, a Magyar Tudományos Akadémia és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (MTA-BME) Vízgazdálkodási Kutatócsoportjának kutatómunkájába bekapcsolódva. Az elkészült script alkalmazása a Sentinel-2 műholdfelvételeire a klorofill-a meghatározás érdekében.

IV. A távérzékelés eredményességének igazolása

Műholdas adatbázis felépítésével (2015 és 2020 között) és feldolgozásával, a klorofill-a mennyiség tér- és időbeli vizsgálatának összevetése a korábban laboratóriumi vizsgálatokkal és terepi mérésekkel igazolt eredményekkel.

A kísérleti terület jellemző algafajainak spektrális vizsgálata, egy prototípus spektrális könyvtár létrehozása további tudományos vizsgálat céljából. E tevékenység célja megalapozni a specifikusabb algamennyiség és minőség meghatározását.

V. Műholdas és spektrális referencia adatbázis létrehozása

Hat évet felölelő tematikus klorofill-a térképek referencia adatbázisának és a Balaton jellemző algafajainak spektrális könyvtárának létrehozása. Az egyedi referencia adatbázis megfelelő alapot szolgáltat a rövid, közép és hosszú távú hidrológiai folyamatok megfigyeléséhez és a változáskövetéshez. Folyamatos bővítése alapul szolgálhat további tudományos vizsgálatokhoz.

2. Anyag és módszer

2.1. Drónos mérési metodika

Az adatgyűjtéshez használt drón egy DJI Mavic 2 Enterprise Thermal Dual eszköz, valamint egy LaQuinta multispektrális kamera volt. A kamera platformillesztését egy saját tervezésű, 3D nyomtatással kivitelezett kameraadapterrel oldottam meg. A 3D tervezés a SketchUp Pro 2019 és a Creality Slicer 1.2.3. programmal történt, míg maga a nyomtatás egy Ender 3 Pro 3D nyomtatóval. A drón repülési magassága minden alkalommal négy méter volt, körülbelül 10 méterre távolodva el a parttól. A metaadatok a kamera saját szoftveréből, az NDVIImageViewer programból olvashatóak ki, amelyek a fényintenzitás, irradiancia, GPS

koordináta, gain, shutter és egyéb értékeket is tárolták. Referenciaadatok alapján a reflektanciaértékek is kiszámolásra kerültek. A referenciaadatot egy fehér panelről készült felvétel szolgáltatta, melynek spektrális tulajdonságai ismertek voltak. A következő lépés a klorofill-a értékek meghatározásához szükséges algoritmusok létrehozása volt. Kutatásaim során, a szakirodalmi adatok alapján úgy találtam, hogy a kék/zöld, illetve a közeli infravörös/vörös hányados jól korrelál a klorofill-a mennyiséggel (Zeng et al. 2016; Gordon, Morel 2012; Ha et al. 2017; Han, Rundquist 1997). Ezen hányadosok és a laboratóriumban mért értékek korrelációjának grafikus megjelenítésekor láthatóvá vált, hogy nem alkalmazható egyazon képlet az összes mérési ponton. Külön kellett választani a Zala-folyó torkolatát, a Kis-Balatont, illetve vízmélységtől függően a Balaton különböző területeit. Külön képlet alkalmazandó az átlagosan fél-másfél méteres déli parton, illetve a 1,5-2,5 méteres átlagos mélységű északi parton, valamint az extrém sekély, 50 cm mélységű területeken. Az általam vizsgált (fentebb említett) tanulmányokban azt tapasztaltam hogy az arányszámokhoz szükséges valamilyen specifikus szorzó. Az arányszámok és a laboratóriumi ismeretek tükrében mindegyik mérésre specifikusan és lokálisan kidolgoztam azt az összefüggést, szorzót, ami kielégítően pontos egyezést mutatna a laboratóriumi eredményekkel is. Minden arányszámot minden lehetséges szorzóértékkel (a minimum és maximumértékek között) kombinálva, megkaptam a matematikailag lehetséges összes változatot. Ezt követően minden variációnál megnéztem a laboratóriumi értéktől való eltérést, a drónos mérés alapján kapott értékből kivonva a laboratóriumban mért értéket. Ezt minden arányszám minden szorzóval kapott eredményével megtettem és szintén táblázatba foglaltam. A következő lépés, hogy összeadtam az egy szorzóval kapott számított értékek és a nekik megfelelő

laboratóriumi mérték közötti eltéréseket. Ezt a műveletet elvégeztem az összes kapott szorzóval. Így alult ki minden területre a megfelelő lokális szorzóérték. A drónos mérésekkel egy időben, a mérés helyszínéről vettem vízmintát. Ezek a minták a laboratóriumi vizsgálatig hűtve, 4 °C-on, 1-5 napig tárolódtak. A klorofill-a tartalom a Felföldy-módszerrel lett meghatározva. Az eljárás során a mintát alkalmas szűrőn tömörítjük, forrásban lévő metilalkohollal kioldjuk belőle a pigmenteket, és mennyiségüket spektrofotométerrel mérjük. (Felföldy, 1963) Ezek a laboratóriumi mérések képezték a drónos mérések validálásához szükséges adatbázist. Az adatok statisztikai analízise az IBM SPSS v25 programmal történt. (ArmonkRMONK 2017) A laboratóriumi eredmények és a multispektrális kamera felvételein alapuló eredmények közötti összefüggés vizsgálatára Pearson-korrelációs eljárást alkalmaztam. Ezen analízis előfeltétele a minták homogén eloszlása, melyet Shapiro-Wilk normalitás teszttel vizsgáltam meg. A drónos és laboratóriumi mérések összehasonlítása érdekében költségvetési elemzést is készítettem. Az elemzés során az eszközök amortizációját, az energiafelhasználás költségét, az eszközök és az útiköltség árát is figyelembe vettem. Az amortizáció a könyvelők által is használt lineáris módszerrel került meghatározásra.

2.2. A műholdképen alapuló klorofill-a meghatározás validálása és a zonális statisztika

Egyik cél a Sentinel-2 műholdképek Acolite programmal létrehozott klorofill-a térképeinek egy édesvízi tóra történő validálása volt. Az Acolite program egy kifejezetten tengeri vízfelületről készült műholdfelvételek

feldolgozására tervezett program, mely négy különböző algoritmust is kínál klorofill-a meghatározásra. A szükséges felvételeket két forrásból szereztem be: USGS Earthexplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) és Copernicus Open Access Hub. (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) Ezt követően történt az Acolite-tal történő feldolgozás. (<https://odnature.naturalsciences.be/remsem/software-and-data/acolite>) A Sentinel-2 műhold a Balatont három részletben felvételezi, a három kép összeillesztési lehetősége a QGIS eszköztárában megtalálható, „mosaic raster layers” eszközzel kivitelezhető. Az adatok jó láthatósága, könnyű megkülönböztethetősége érdekében négy kategóriát hoztunk létre, mindegyik saját különböző klorofill-a tartományt jelöl. A négy kategória és azok tartományai az OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) által meghatározott tartományok szerint kerültek bemutatásra. A műholdfelvételek értékeinek validálásához a drónos felvételeknél is használt helyi mintavételek szolgáltak alapul, így a 2.1. fejezetben bemutatott körülmények és módszerek bemutatását itt mellőzzük. A négy algoritmus által meghatározott értékék mellett magam is kifejlesztettem két képletet a klorofill-a meghatározására. Ehhez az első lépés egy program létrehozása volt, mely a betáplált koordináta alapján kikereste a műholdkép által mért reflektanciaértékeket minden csatornához, pontosan az adott pontra. A program az RStudio Desktop 4.0.0. szoftveren fut, (<https://rstudio.com/products/rstudio>) a script írása az MTA-BME Vízgazdálkodási Kutatócsoporttal együttműködésben történt. A 2015 óta megjelenő szezonális trendek, területi különbségek vizsgálatához övezeti statisztikát alkalmaztam. Ennek érdekében egy úgynevezett shapefile-t hoztam létre a Balaton négy medencéjével, amelyek északi és déli negyedre tagolódtak. Így összesen nyolc részre osztottam a Balatont. Nyugatról keletre haladva a négy medence: A Keszthelyi-

medence, a Szigligeti-medence, a Szemesi-medence és a Siófoki-medence. Mind a négy területet északi és déli részre bontottam. Jelen esetben az átlag, minimum és maximum klorofill-a mennyiség térbeli eloszlását határoztam meg.

2.3. Spektrális könyvtár

Kutatómunkám során lehetőségem volt hat hetes nyári szakmai gyakorlaton részt venni az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetében, a magyarországi limnológiai kutatás központjában Tihanyban. Az itt töltött idő során kezdtem el az algák spektrális könyvtárának létrehozását. Az RGB Photonics GmbH által gyártott VNIR Qmini spektrométert (400-1000 nm) használtam. A Waves program teszi lehetővé az eszköz kezelését, eredmények megjelenítését (<https://www.rgb-photonics.com/products/spectrometers/product/qmini/>). Ezt követően került sor a fehérreferencia és a feketereferencia felvételére. A referenciaértékek felvétele után be kell állítani, hogy az eszköz ezeket az értékeket használja a mérés során, ez után sor kerülhet a mérésre. A folyamat során a szenzor függőlegesen, a mintától 30 centiméteres távolságra helyezkedett el. A megvilágítást biztosító halogén lámpa pedig 45 fokos szögben érte a vizsgálni kívánt mintát. Az expozíció ideje 0,5 s-re lett beállítva, a vizsgált minta 10 mm-es volt. A vizsgált algák a Selenastrum, Chlorella, Scenedesmus, Microcystis, Oscillatoria és fikoeritrines algák voltak. A spektrális könyvtár felvételekor a cél nem kizárólag az adatbázis létrehozása volt. A kutatás célja volt annak vizsgálata, hogy hogyan változik az egyes alfafajok spektrális görbéje különböző koncentráció esetén, illetve, ha a spektrométer nem a mintatartó közepére, hanem a szélére

irányul. Mindegyik algát vizsgáltam tömény, 2X, 4X, 8X és 16X-os hígított formában is. Ezen kívül nem csak tiszta algatenyészetéről származó spektrumot vettem fel, hanem algekeverékekét is.

3. Eredmények

3.1. Drónos mérési metodika eredményei

A Pearson-korreláció előfeltételeként normalitásvizsgálatot kellett elvégezni. A Shapiro-Wilk normalitásteszt eredményei alapján logaritmusos transzformációt kellett alkalmazni, ezt követően teljesültek a normalitás feltételei és a Pearson-korrelációs teszt végrehajthatóvá vált. A korrelációs vizsgálat eredményei az **1. táblázatban** láthatóak.

1. táblázat: A Pearson-féle korrelációs vizsgálat eredményei a laboratóriumi és drónos mérés adatai között

Korreláció							
		rbg	llbg	ibg	rnir	llnir	inir
lab	Pearson-korreláció	0.94***	0.96***	0.93***	0.88***	0.90***	0.91***
lab: laboratóriumi mérések; rbg: reflektancia B/G; llbg: fényszint B/G; ibg: irradiancia B/G; rnir: reflektancia NIR/R; llnir: fényerő NIR/R; inir: irradiancia NIR/R							
***p<0.001 mintaszám:32							

Mind a hat algoritmus eredményei szignifikáns korrelációt mutattak a laboratóriumi mérési adatokkal. A legmagasabb

korrelációs együtthatót a kék / zöld arányon alapuló index eredmények adták. ($r = 0.96$, $p < 0.01$) Az egyszerűsített költségelemzés a **2. táblázatban** látható, melyről leolvasható, hogy a drónos mérések költsége 25-30%-kal alacsonyabb, mint a laboratóriumi méréseké.

2. táblázat: A laboratóriumi és drónos mérések egyszerűsített költségelemzése (saját szerkesztés)

	laboratóriumi mérés	drónos mérés
útiköltség	1.000 Ft	1.000 Ft
amortizáció	1.500 Ft	1.600 Ft
elektromosság	500 Ft	20 Ft
vegyszerek	1.000 Ft	0 Ft
egyéb felszerelés/költség	1.000 Ft	700 Ft
összköltség/mérés	5.000 Ft	3.320 Ft

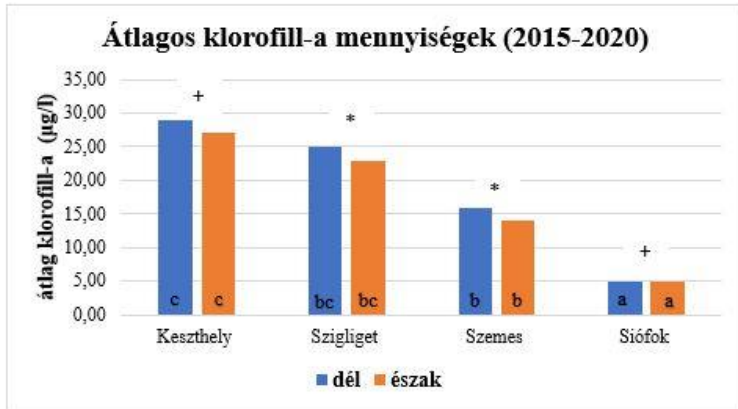
3.2. A műholdképen alapuló klorofill-a meghatározás validálása és a zonális statisztika eredményei

A normalitás vizsgálatához a Shapiro-Wilk normalitástesztet alkalmaztam, teljesültek a normalitás feltételei és a Pearson-korrelációs teszt végrehajthatóvá vált. Az Acolite-tal történő feldolgozásból származó adatokkal a korrelációs együtthatók megfelelő eredményeket mutattak. A **3. táblázatban** láthatóak a korrelációs koefficiensek.

3. táblázat: A laboratóriumi mérések és a távérzékeléssel nyert adatok korrelációs koefficiensei

	Pearson korrelációs koefficiens
chl_oc2	0.86***
chl_gons	0.83***
chl_mishra	0.75***
chl_moses3b	0.78***
chlextbg	0.93***
chlextnirr	0.85***
*** p<0.001	

A zonális statisztikai vizsgálatok célja az algák tér-és időbeli eloszlásának vizsgálata volt. Korábbi, nem távérzékeléses tanulmányok szerint szignifikáns nyugat-kelet trofikus gradiens figyelhető meg a Balaton esetében (Herodek et al. 1988; Istvánovics et al. 2007; Palmer et al. 2015b). Ezt az eredményt a távérzékelés alapú kutatás is alátámasztotta. Ezen kívül a déli és az északi területek összehasonlításakor a déli területek magasabb klorofill-a koncentrációja volt megfigyelhető. Az eredmények az **1. ábrán** láthatóak. A különböző betűk a szignifikánsan eltérő medencékre vonatkoznak (Turkey's, $p < 0,05$), míg a * és + jel a tó északi és déli része közötti különbséget jelöli ($p < 0,05$ és $p < 0,10$) a chl_oc2 algoritmus szerint.



1 ábra: Átlagos klorofill-a mennyiség öblönként, északi és déli régióra bontva

Az eredmény azt mutatja, hogy a legjelentősebb szignifikáns kölcsönhatás a Szigligeti-medence ($F(1; 70) = 6,3; p = 0,015$) és a Szemes-medence ($F(1; 70) = 4,0; p < 0,05$) esetében figyelhető meg. A Keszthelyi-medence ($F(1; 70) = 3,3; p < 0,07$) és a Siófoki-medence ($F(1; 70) = 3,1; p < 0,08$) esetében az interakció mérsékelten szignifikáns volt. Az átlagos klorofill-a érték a 2015-2020 közötti időszakot tavasszal: $17 \mu\text{g/l}$, nyáron: $16 \mu\text{g/l}$, ősszel: $20 \mu\text{g/l}$ és télen: $10 \mu\text{g/l}$. Ez annak köszönhető, hogy a Balaton egyik jellegzetes algafaja, a *Cylindrospermopsis raciborskii* kora ősszel éri el maximális mennyiségét. Mind a négy évszakban különbség volt az északi és a déli rész között. A klorofill-a tartalom a déli területeken mindig csekély mértékben magasabb volt, mint az északi területeken, de nem azonos mértékben. Az északi és déli régióban a legnagyobb különbség tavasszal mutatható ki, amikor a déli régió 19% -kal magasabb az északi klorofill-a értékhez képest. A legkisebb különbség

télen és ősszel volt kimutatható, amikor a déli régió 1% -kal magasabb az északi klorofill-a értékhez képest.

3.3. Spektrális könyvtár

Az eredmények mindegyik vizsgált algánál ugyanazt a tendenciát mutatták. A töménység növelésével megfigyelhető volt, hogy a 650 és 750 nm közötti szakaszon folyamatosan nőtt a visszaverődés mértéke. Ugyanakkor ez a növekedés egyre kevésbé volt jelentős a töménység növekedésével. A Scenedesmus és a Chlorella spektrális görbéje egyforma lefutású, míg a Selenastrum görbéje 600 és 700 nanométer között a másik két algafajtól eltérően nem 0,04 nW/nm, hanem 0,05 nW/nm értéket mutat. A három alga együttes vizsgálatakor a Scenedesmus-sal és Chlorellával megegyező görbét kapunk.

3.4. Új tudományos eredmények és tézisek

I. Új mérési eljárás

Komplex távérzékelési eljárást és módszertant dolgoztam ki, amellyel igazoltam, hogy az algakoncentráció laboratóriumi eredményekkel kalibrálva/korrigálva eredményesen mérhető drónos multispektrális távérzékelési eljárással. Az eljárás a hagyományos repülőgépes távérzékelésnél nagyobb felbontású felvételt biztosít és költséghatékonyabb, valamint jobban tervezhető. A műholdas technológiánál nagyobb felbontású felvételeket készít és lehetővé teszi akár a napi szintű monitorozást is. Az eljárás kisebb beruházási igényű,

mint egy hiperspektrális drónos módszer és az adatfeldolgozás is kisebb számítási kapacitást igényel.

II. Új adatfeldolgozási eljárás

Új, édesvizekre optimalizált, kék/zöld és infravörös/vörös reflektancia-hányadoson alapuló klorofill-a meghatározásra alkalmas algoritmust dolgoztam ki. A műholdas és drónos multispektrális felvételekre alkalmazható, kis számítási igényű és jól algoritmizálható korrekciós eljárással, melyben vízminták laboratóriumi vizsgálati eredményeit felhasználva jelentősen javítottam a korrelációt a klorofill – a (algakoncentráció) és a távérzékelte adatok között. Az eljárást a Balaton több helyszínén is sikerrel alkalmaztam. A módszer kiterjeszhető más élővizekre is.

III. Új adatkinyerési eljárás

Az MTA-BME Vizgazdálkodási Kutatócsoportjának kutatómunkájába bekapcsolódva a távérzékeléses felvételek koordináták alapján történő reflektanciaértékek kinyerésére készült script logikai lépéseit ötletgazdaként határoztam meg, a programozást tanácsadóként segítettem. A scriptet a Sentinel-2 B ikerműholdak felvételein sikerrel alkalmaztam. Az adatkinyerés egyedi módszere önálló kutatómunkám tudományos eredménye.

IV. A klorofill-a trofikus gradiens jelenség igazolása új módszerrel

Egyedi műholdas adatbázis felépítésével és feldolgozásával távérzékeléses eljárással igazoltam a kelet-nyugati irányú trofikus gradienst, valamint az északi és déli területek eltérő

klorofill-a mennyiségét és a szezonális mintázatot a Balatonban. A kísérleti terület jellemző algafajainak spektrális vizsgálata, egy prototípus spektrális könyvtár létrehozása további tudományos vizsgálat céljából jelen kutatás eredménye. A spektrális könyvtár további bővítés és kutatás után lehetőséget nyújthat a specifikusabb algamennyiség és minőség meghatározásához

V. Tematikus klorofill-a referencia adatbázis létrehozása

Hat évet felölelő tematikus klorofill-a térképek referencia adatbázisát és a Balaton jellemző algafajainak spektrális könyvtárát hoztam létre. Az egyedi referencia adatbázis létrehozása alapul szolgál a rövid, közép és hosszú távú hidrológiai folyamatok (pl.: szabályozások, vagy klímaváltozás hatása) megfigyeléséhez és a változáskövetéshez. Folyamatos bővítése alapul szolgálhat további tudományos vizsgálatokhoz.

4. Következtetések és a javaslatok

A korrelációs vizsgálatok alapján a drónos mérési módszer nagy pontosságú klorofill-a koncentráció meghatározását teheti lehetővé. A 3D nyomtatás bizonyította alkalmazhatóságát a kamera drónra szerelésében. A korrelációs vizsgálatok bizonyították mind a drónos, mind a műholdas felvételek alkalmazhatóságát tavak klorofill-a meghatározásában. A két módszer eltérő előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik. A rendszeres, precíz algamonitoring tevékeny végzésében a két módszer nem helyettesíti, hanem kiegészíti egymást. Az algák

specifikusabb meghatározása távérzékeléses módszerekkel nagy lépést jelentene, melyhez további kutatások szükségesek.

5. A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

Nemzetközi tudományos közlemények:

Tóth, V. Zs., Ladányi, M., Jung, A. (2021). Adaptation and Validation of a Sentinel-Based Chlorophyll-a Retrieval Software for the Central European Freshwater Lake, Balaton. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 89(4), 335-344. (Q1)

Tóth, V. Zs., Grósz, J., Ladányi, M., Jung, A. (2021). A new lake algae detection method supported by a drone-based multispectral camera. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 26(3), e12377. (Q3)

Konferenciák:

Tóth, V. Zs. (2018). Közép-Európa legnagyobb tavának távérzékeléses vizsgálata, PEME konferencia– Professzorok az Európai Magyarországért Egyesület XVII. PhD konferenciája, a konferencia kiadványának ISBN száma: ISBN 978 615 5709 05 0, pp.167-173 (full paper)

Tóth, V. Zs., Jung A. (2021). Algae investigation of Lake Balaton with Sentinel, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation éves nemzetközi konferencia, Stuttgart, Németország

Tóth V.Zs, Jung A. (2021). Investigation of algae in lakes supported by remote sensing methods, 10th Algal Biomass, Biofuels and Bioproducts Conference, Waikola, Hawaii

Tóth, V. Zs., Jung A. (2021). A Balatoni algásodás távérzékeléses vizsgálata, X. Magyar Földrajzi Konferencia* ISBN 978-615-01-2899-3 (absztrakt)

Rövidített Irodalomjegyzék

1. BAO, X. M., GU, D. X., WU, T. T., SHI, Z. L., LIU, G. F., HAN, S. Q., ZOU, S.Q., ZHOU, Q. (2015). Environmental effects of algae bloom cluster: impact on the floating plant water hyacinth photosynthesis. *Huan jing ke xue = Huanjing kexue*, 36 (6) 2070-2076.
2. CARMICHAEL, W. W., BOYER, G. L. (2016). Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. *Harmful algae*, 54, 194-212.
3. FELFÖLDY, L. (1963). A klorofill-mérés módszertani es elvi kérdései balatoni eredményeinkkel kapcsolatban. *Annal. Biol. Tihany*, 30, 137-105.
4. GORDON, H. R., MOREL, A. Y. (2012). Remote assessment of ocean color for interpretation of

satellite visible imagery: a review (Vol. 4). Springer Science & Business Media.

5. HA, N. T. T., THAO, N. T. P., KOIKE, K., NHUAN, M. T. (2017). Selecting the best band ratio to estimate chlorophyll-a concentration in a tropical freshwater lake using sentinel 2A images from a case study of Lake Ba Be (Northern Vietnam). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6, 290.
6. HAN, L., RUNDQUIST, D. C. (1997). Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: A case study in a turbid reservoir. *Remote sensing of Environment*, 62, 253-261.
7. HAVENS, K. E. (2008). Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. In *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs* (pp. 733-747). Springer, New York, NY.
8. HERODEK, S., LACZKÓ, L., VIRÁG, A. MISLEY, K. (1988). Lake Balaton: Research and Management; NEXUS Press: Budapest, Hungary
9. IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
10. ISTVÁNOVICS, V., CLEMENT, A., SOMLYÓDY, L., SPECZIÁR, A., TÓTH, L. G., PADISÁK, J. (2007): Updating water quality targets for shallow Lake Balaton, Hungary, recovering from eutrophication. *Hydrobiologia*, 581, 305–318.
11. KWON, Y. S., PYO, J., KWON, Y. H., DUAN, H., CHO, K. H., PARK, Y. (2020). Drone-based

hyperspectral remote sensing of cyanobacteria using vertical cumulative pigment concentration in a deep reservoir. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111517.

12. PALMER, S.; ODERMATT, D.; HUNTER, P.; BROCKMANN, C.; PRÉSING, M.; BALTZER, H.; TÓTH, V. (2015b) Satellite remote sensing of phytoplankton phenology in Lake Balaton using 10 years of MERIS observations. *Remote Sensing of Environment* 158 441–452
13. ZENG, C., XU, H., FISCHER, A. M. (2016). Chlorophyll-a estimation around the Antarctica peninsula using satellite algorithms: hints from field water leaving reflectance. *Sensors*, 16, 2075.
14. <https://odnature.naturalsciences.be/remsem/software-and-data/acolite> (megtekintés: 2020.12.10.)
15. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (megtekintve: 2020.12.11.)
16. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (megtekintve: 2020.12.11.)
17. <https://www.rgb-photonics.com/products/spectrometers/product/qmini/>