



Szent István Egyetem

**Hazai állóvizek vízminőségi
paramétereinek vizsgálata terepi és
távérzékelési eszközökkel**

**Grósz János
Gödöllő
2020**

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika, DSc
egyetemi tanár
MTA levelező tagja
Szent István Egyetem
Mezőgazdasági-, és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Habil. Vekerdy Zoltán
tudományos tanácsadó
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet

Társtémavezető: Dr. Waltner István
egyetemi adjunktus
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A társtémavezető jóváhagyása

A munka előzményei, célkitűzések

A víz tulajdonságainak vizsgálata a tudományok fejlődése során egy meghatározó kérdés volt. A víz az egyik legfontosabb és legjelentősebb természeti erőforrás, ezért nagy hangsúlyt kell fektetni a vizek fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak vizsgálatára, valamint az egyes paraméterek között lezajló hatások és kölcsönhatások elemzésére (DÉVAI et al., 1992). Napjainkra igen fontossá vált a vízminőségi paraméterekben bekövetkező változások minél részletesebb nyomon követése és a változások okainak feltárása. A vizek minősége a víz fizikai, kémiai, biológiai és bakteriológiai tulajdonságainak figyelembevételével határozható meg (ZSENI és BULLA, 2002).

A felszíni és a felszín alatti vizek védelme kiemelt fontosságú feladatok közé tartozik. A Víz Keretirányelv előírásai szerint, az Európai Unió tagállamaiban 2015 végéig jó állapotba kell hozni minden olyan felszíni és felszín alatti vizet amelyek esetében ez lehetséges, valamint a továbbiakban a jó állapotot fenn kell tartani és a vizek állapotromlását meg kell előzni (European Community, 2000).

A vízminőség változása sok esetben a reflektancia változását eredményezi, amit távérzékelési módszerek alkalmazásával mérni és érzékelni lehet (DEKKER et al., 2001). Ezen technológiák alkalmazásával lehetőség nyílik egyes vízminőségi paraméterek, mint például a hőmérséklet, lebegőanyag tartalom, a-klorofill koncentráció és az olajszenyezések vizsgálatára, valamint ezek időbeli változásainak megfigyelésére.

A vizek állapotfelmérése során, behatóbban és részletesebben lehet vizsgálni a vízi rendszerekben zajló folyamatokat, ha terepi és távérzékelési módszereket egyszerre alkalmazunk. A különböző módszerek és eljárások együttes alkalmazásával a vízminőségi paraméterek térbeli és időbeli változása jobban megfigyelhetővé válik, mint az egyes módszerek elkülönített alkalmazásával.

A vizek a-klorofill tartalma az egyik legfontosabb biológiai vízminőségi jellemző (PADISÁK, 2005). Egyes tápanyagok túlzott feldúsulása az algák jelentős elszaporodásával jár, amely negatívan befolyásolhatja a vizek minőségét, ezáltal a felhasználhatóságát akár gazdasági, akár társadalmi és ökológiai célokra (KISS KEVE, 1998). A fitoplankton állomány vertikális eloszlása a víztesten belül nem homogén és erősen befolyásolja az eredő optikai tulajdonságokat (REYNOLDS, 2006). A meghatározott vízminőségi jellemzők mellett, nagy hangsúlyt kell fektetni a planktonikus élőlények víztesten belüli viselkedésének elemzésére, valamint az

elhelyezkedésüket befolyásoló fizikai, kémiai, hidrodinamikai és fényklimatológiai jellemzők vizsgálatára (FELFÖLDY, 1974).

A fitoplankton állomány tekintetében, a maximum a-klorofill tartalom víztesten belüli elhelyezkedési mélysége hatással lehet a felszíni reflektanciára és a mérés pontosságára. Oly módon, hogy megváltoztathatja a reflektancia görbe alakját azáltal, hogy a maximum a-klorofill tartalom a felszín közelében vagy a mélyebb vízrétegekben helyezkedik el.

A kutatás során a főbb vizsgálandó vízminőségi paraméterek között szerepel az a-klorofill, a lebegőanyag-, oldott oxigén, összes Fe, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Na^+ tartalom, valamint vizek fényklimája és az UV sugárzás. A kutatáshoz szükséges mintavételezéseket két hazai mintaterületen a Budapesten található Naplás-tavon, valamint az Ecséden található Vég-tavon végeztem el.

A téma aktualitása és jelentősége három elemből épül fel. Egyrészt a Víz keretirányelv előírásból, miszerint az Európai Unió tagállamaiban a vizeket jó állapotba kell hozni és ezt az állapotot fenn kell tartani. Másrészt a fejlődő távérzékelési módszerek egyre bővülő mérési lehetőségeket nyújtanak. Ezeket a távérzékelési módszereket pedig a jövőben, a rendszeres és megbízható adatszolgáltatás irányába kell fejleszteni. Harmadrészt a biológiai, kémiai és fizikai vízminőségi paraméterek rendszeres monitoringja, valamint az egyes paraméterek közötti hatások és kölcsönhatások pontosabb ismerete elengedhetetlen a vizek egyre szélesebb körű felhasználásához.

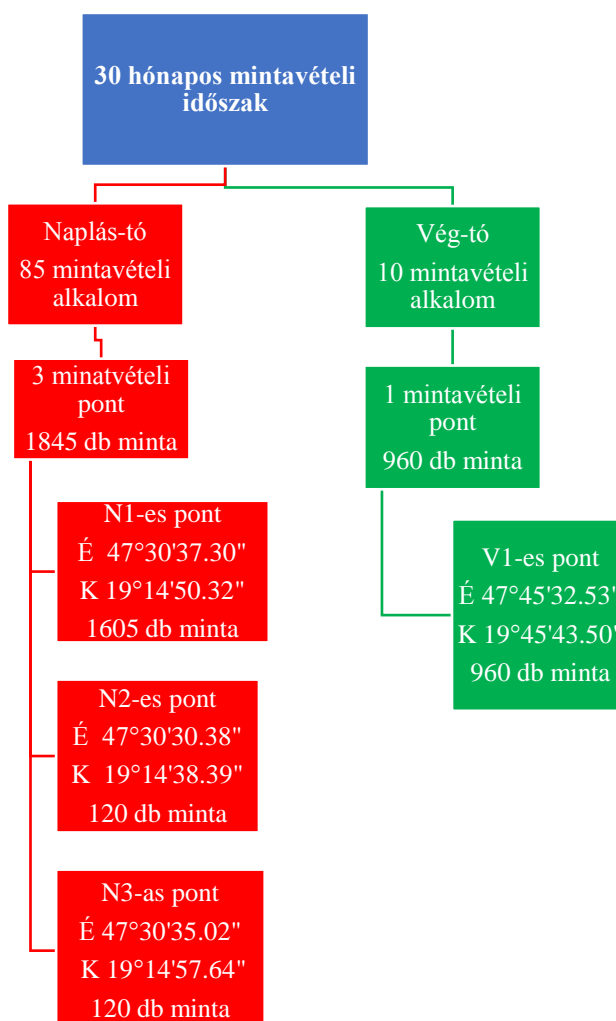
A kutatás fő célkitűzése annak a meghatározása, hogy az a-klorofill tartalom vertikális eloszlása, miként befolyásolja a víz felszíne felett meghatározott reflektancia értéket. A fő célkitűzés megvalósítását az alábbi rész-célkitűzések támogatják:

1. Komplex mérési program (távérzékelésen, helyszíni és laboratóriumi méréseken alapuló) létrehozása, amely egyidejűleg a víz fizikai, kémiai, biológiai, algológiai és spektrális tulajdonságainak vizsgálatát célozza.
2. A fitoplankton állományok térbeli és időbeli zonációjának meghatározása, a befolyásoló tényezők alapján.
3. Összefüggések megállapítása a fitoplankton állomány vertikális eloszlása és a víz alatti fényviszonyok között.
4. A különböző vertikális fitoplankton eloszlásokhoz tartozó távérzékelési reflektancia spektrumok megfigyelési szögtől való függésének meghatározása.

Anyag és módszer

Mintavétel

A mintavételi időszak 2,5 évet, 2 teljes vegetációs időszakot ölel fel. Ezalatt az időszak alatt 95 alkalommal több mint 2500 mintát gyűjtöttem be a mintavételi területekről. A mintavételek számát tekintve a Naplás-tó esetében 85, a Vég-tó esetében 10 darab mintavételi kampányt hajtottam végre. A mintavételt saját készítésű mélységi vízmintavevővel, illetve búvárfelszerelés alkalmazásával végeztem. A Naplás-tó esetében 3, a Vég-tónál 1 mintavételi pontot jelöltem ki. A mintavételezés részletes bemutatása az 1 ábrán és az 1 táblázatban látható.



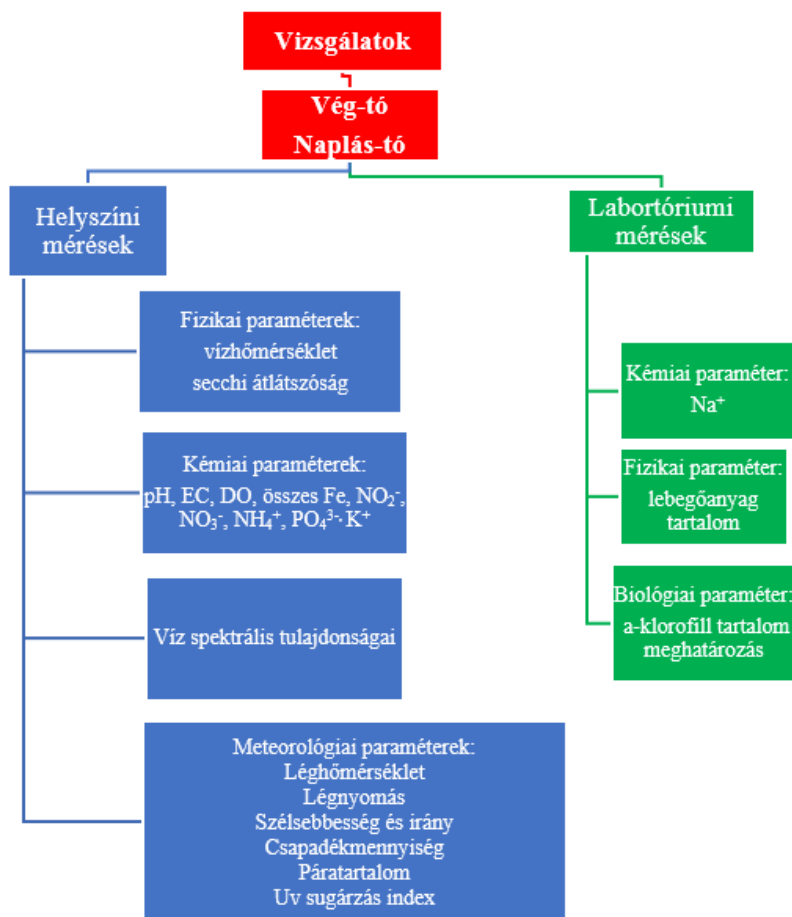
1. ábra Mintavételi időszak összefoglalása

1. táblázat Mintavételezés részletes paraméterei

Helyszín	Mintapont	Koordináták	Vízmélység	Mintamegoszlás 0-1 m	Mintamegoszlás 1 m-fenék	Mintamegoszlás 10-15 m	Mintaszám	Időszak
Naplás-tó	N1	47°30'36.17" É; 19°14'50.66" K	1,8 m	0,1 m -ként	0,2 m- ként	-	15	tavaszi, nyári, őszi 14:00 h (napsza- kos mérésn- él még 9:00 h és 19:00 h)
	N2	47°30'30.38" É; 19°14'38.14" K	1,8 m	0,1 m -ként	0,2 m- ként	-	15	téli 14:00 h
	N3	47°30'34.23" É; 19°14'59.84" K	0,7 m	0,1 m -ként	-	-	8	vízvirág- zás során, 15:00 h
Vég-tó	V1	47°45'31.55" É; 19°45'44.09" K	15 m	0,1 m -ként	0,2 m- ként	1 m- ként	60	tavaszi, nyári, őszi 14:00 h

Fizikai, kémiai, biológiai és spektrális vizsgálatok

A kutatás során elvégzett fizikai, kémiai, biológiai és spektrális vizsgálatok célja volt egyrészt, hogy információkat és adatokat gyűjtsenek az a-klorofill tartalom zonációját befolyásoló tényezőkről. Másrészt, hogy vizsgáljam az a-klorofill tartalom vertikális elhelyezkedésének hatását a víz spektrális tulajdonságaira. Az elvégzett vizsgálatok részletes bemutatása a 2. ábrán látható.



2. ábra Kutatás folyamán végzett vizsgálatok összefoglalása

Fizikai vízminőségi paraméterek között szerepelt a vízhőmérséklet, a secchi átlátszóság, amelyeket helyszíni mérések során határoztam meg. A vízhőmérséklet mérését búvárkomputer (Mares Icon HD) segítségével végeztem, a secchi átlátszóság meghatározásánál pedig, szabványos secchi korongot alkalmaztam. A minták lebegőanyag tartalmának meghatározását laboratóriumban végeztem, az összes szárazanyag tartalom és az összes oldottanyag tartalom különbségének kiszámításával.

Kémiai vízminőségi paraméterek esetében, a helyszínen terepi fotométer (Hanna Instruments HI 83399) segítségével mértem a minták összes Fe, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, K⁺ tartalmát, valamint a pH értéket, oldott oxigén tartalmat (DO) és vezetőképességet (EC). Laboratóriumi vizsgálatok során pedig lángfotométer (MOM Falmom-B) alkalmazásával meghatároztam a minták Na⁺ tartalmát.

Biológiai vízminőségi paraméterek köréből az egyik legfontosabb az a-klorofill tartalom meghatározása, amelyet laboratóriumban spektrofotométer (Jenway 6400) alkalmazásával és Felföldy Lajos 1981-ben közzétett módszerével végeztem (FELFÖLDY, 1981). A begyűjtött vízminták fitoplankton állományának vizsgálatakor mikroszkóp (BTC BIM 312T) segítségével taxonómiai elkülönítést végeztem.

Spektrális mérések folyamán vizsgáltam az a-klorofill tartalom és a víz spektrális tulajdonságainak egymásra gyakorolt hatását. A víz spektrális tulajdonságainak vizsgálata során egyrészt mértem a vízfelszín érő, majd a vízoszlopba bejutó fény energiáját és intenzitását, valamint a felszíni reflektanciát a hullámhossz függvényében. Másrészt vizsgáltam az optikai érzékelőnek a felszíni reflektanciára gyakorolt szögfüggését. A méréseket Ocean Optics (STS-VIS) moduláris spektrométer segítségével végeztem 90°-os, 60°-os és 45°-os szögben elhelyezett detektorállásokban.

Meteorológiai paraméterek közül például a szél, hőmérséklet, légnyomás és UV sugárzás jelentős hatással vannak a fitoplankton állomány horizontális és vertikális elhelyezkedésére. A mintavételi időszak alatt, mobil meteorológia adatgyűjtő berendezés (Hyundai WSP 3080RWIND időjárás állomás) kihelyezésével mértem a léghőmérsékletet, légnyomást, szélességet és szélirányt, csapadékmennyiséget, páratartalmat, valamint az UV sugárzást.

Mintaterületek

A helyszíni mérések elvégzésére és a minták begyűjtésére két hazai mintaterületet választottam ki. Mintaterületek kijelölésénél több aspektust is figyelembe kellett venni. A kutatás szempontjából egyik legfontosabb tényező, hogy a víztestek különböző mederveviszonyokkal és különböző trofitási szinttel rendelkezzenek. A mederveviszonyokat tekintve, az a-klorofill tartalom vertikális eloszlása eltérő képet mutat a sekély és a mélyebb víztestekben. A trofitás viszonylatában pedig, az eutrotróf vizekben a nagyobb számban bekövetkező vízvirágzás jelentősen módosíthatja a fényklimatikus viszonyokat.

Naplás-tó

A Naplás-tó Budapest legnagyobb kiterjedésű állóvize. A tó és környezete a 150 hektáros nagyságával, a második legnagyobb természetvédelmi terület Budapesten. A víztest trofitási szintjét tekintve eutrotróf kategóriába tartozik. A tó és közvetlen környezete 1997 óta tájvédelmi körzet. Mederkarakarakterisztika alapján a Naplás-tó a sekély tavak közé tartozik, átlagos mélysége 1,5 m, a legnagyobb vízmélysége pedig 3 m. A tó vízutánpótlását a Szilas-patak biztosítja.

Vég-tó

Az Ecséden elhelyezkedő Vég-tó hazai viszonyok között mély, a trofitási viszonyokat tekintve pedig oligotróf és mezotróf víztest. A tó Magyarország első lignitbányájának záró gödrében alakult ki, a bányászati tevékenység felhagyását követően 1970-ben. A Vég-tó átlagos vízmélysége 15 m, a legnagyobb mélysége pedig 30 m. A tó magántulajdonban van, sporthorgászati és búvárkodási célból hasznosítják. Vízutánpótlás a tóba 9 felszín alatti forrásból érkezik, amelyek egy szénfalon áramlanak keresztül.

Eredmények és azok megbeszélése

Az a-klorofill tartalom dinamikája a vizsgált területeken

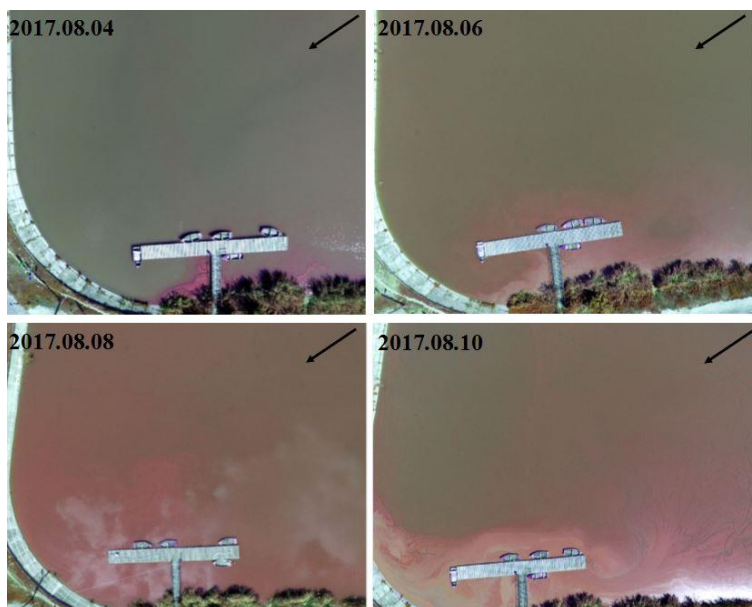
Kutatásom alapvető feladata volt a mintaterületek fitoplankton állományának feltérképezése. A Naplás-tó az átlag és maximum a-klorofill tartalom alapján egy eutrotróf víztest. A fitoplankton állomány tekintetében a vegetációs időszak elején a *Heterocontophyta* törzsön belül, a *Bacillariophyceae* osztályba tartozó fajok voltak az egyeduralkodók. A nyári időszak első felében a *Chlorophyta* törzs, majd a nyár vége, kora őszi időszakban a *Cyanobacteria* törzsbe tartozó fajok voltak a dominánsak. Trofitási kategóriát tekintve a Vég-tó egy oligotróf, mezotróf víztest. A Vég-tó esetében is a vegetációs időszak elején a *Bacillariophyceae* osztály, majd a nyári időszakban pedig a *Chlorophyta* törzs csoportjai voltak az uralkodók. A Vég-tó esetében a cianobaktériumok nem jelentek meg, mert a tó egy tápanyaglimitált oligotróf víztest.

Fitoplankton állomány zonációját befolyásoló tényezők vizsgálata

A vizsgált fizikai, kémiai, biológiai és spektrális paraméterek közül statisztikai vizsgálatok (többváltozós lineáris regresszió, klaszteranalízis, varianciaanalízis) alapján, a fitoplankton állomány zonációját leginkább a vízhőmérséklet, az UV sugárzás, a rendelkezésre álló hasznosítható fény és a tápanyagok befolyásolták.

Tápanyagok

A kémiai vízminőségi paraméterek közül inverz vertikális eloszlás volt megfigyelhető az összes Fe, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} tartalom esetében. Ez azt jelentette, hogy abban a mélységben, ahol az a-klorofill tartalom a maximum értéket vette fel, ott a tápanyagok a minimum értéket. A meteorológiai adatok elemzése alapján a nagy esőzések (napi csapadék összege a 10 mm felett) hatására szignifikánsan megemelkedett a tápanyagok koncentrációja a víztestben, különösen a Na^+ tartalom. A többlet Na^+ tartalom hozzájárul a vízvirágzások kialakulásához, ugyanis a *Cyanobacteria* törzsbe tartozó fajok számára nélkülözhetetlen elem. A nagy vízvirágzások rendszerint akkor következtek be, ha Na^+ tartalom meghaladta 200 mg l^{-1} . Ez a többlet Na^+ tartalom származhatott egyrészt antropogén (élelmiszeriparban, mezőgazdaságban és állattenyésztésben használt tisztító és fertőtlenítő szerek, szennyvíz) másrészt természetes (kilúgzási folyamatok) forrásból. Egy vízvirágzás alakulásnak idősoros drónfelvétele a 3. ábrán látható.



3. ábra Vízvirágzás Naplás-tó (drónfelvétel hamis színezetű)

Víz hőmérséklet

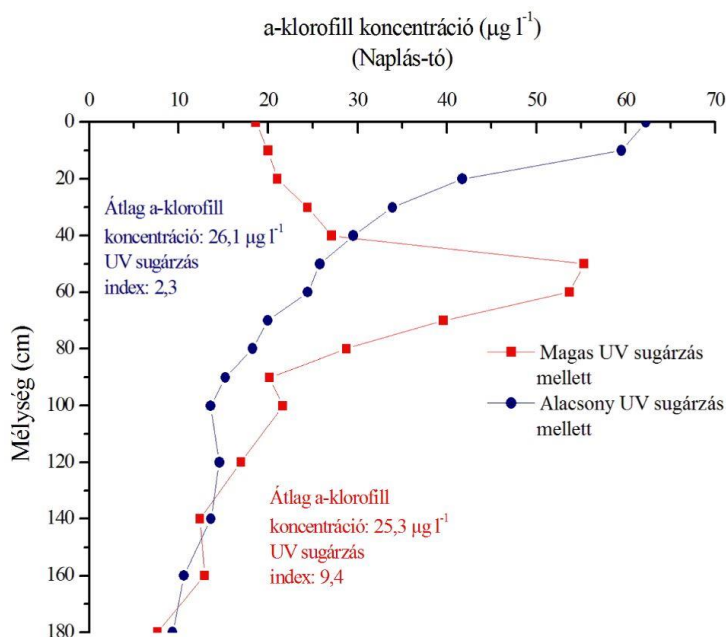
A kutatás során az a-klorofill tartalom maximuma leggyakrabban a 20-27°C hőmérsékleti tartományú rétegekben helyezkedett el. A vizsgálatok alapján a nyári időszakban a magas hőmérsékletű felszíni rétegekben, az a-klorofill tartalom a minimum értéket vette fel. Ebben szerepe volt a viszkozitásnak is, ugyanis a melegebb víz viszkozitása kisebb, mint a hidegebb vízé. Ennek a biológiai szerepe jelentős, ugyanis a vízben lebegő élőlények a melegebb vízben gyorsabban süllyednek, mint a hidegebb vízben. Ez a fajta vertikális eloszlása a fitoplankton állománynak, normál trofitási körülmények mellett és 29,5°C-nál nem melegebb felszínközeli víz hőmérséklet esetén volt megfigyelhető.

UV sugárzás

A kutatás során az UV sugárzás jelentős hatással volt a fitoplankton állomány vertikális elhelyezkedésére. Az UV sugárzás hatása a fitoplankton állományra a 4. ábrán látható. A vizsgálati eredmények alapján négy, szignifikánsan egymástól eltérő alapesetet különböztettem meg:

- 1. alapeset
 - alacsony UV sugárzás mellett (UV sugárzás index: 0-3), az a-klorofill tartalom maximuma a felszínközeli (0-30 cm) vízrétegekben helyezkedett el
- 2. alapeset
 - magas UV sugárzás mellett (UV sugárzás index: 7 felett), az a-klorofill tartalom maximuma a mélyebb (50 cm-nél mélyebb) vízrétegekben helyezkedett el
- 3. alapeset
 - víz hőmérséklet is hatást gyakorolt a fitoplankton állomány elhelyezkedésére
 - alacsony UV sugárzás (UV sugárzás index: 0-3) ellenére, az a-klorofill tartalom maximuma a mélyebb rétegekben (50 cm-nél mélyebb) maradt. Ezen esetekben, a felszínközeli (0-20 cm) vízrétegek hőmérséklete meghaladta a 29,5°C-ot. Így hát a magas felszínközeli víz hőmérsékletből fakadóan, az algaállomány jelentős része a mélyebb rétegekben maradt.
- 4. alapeset
 - különleges hidrobiológia körülmények mellett, vízvirágzás idején volt megfigyelhető

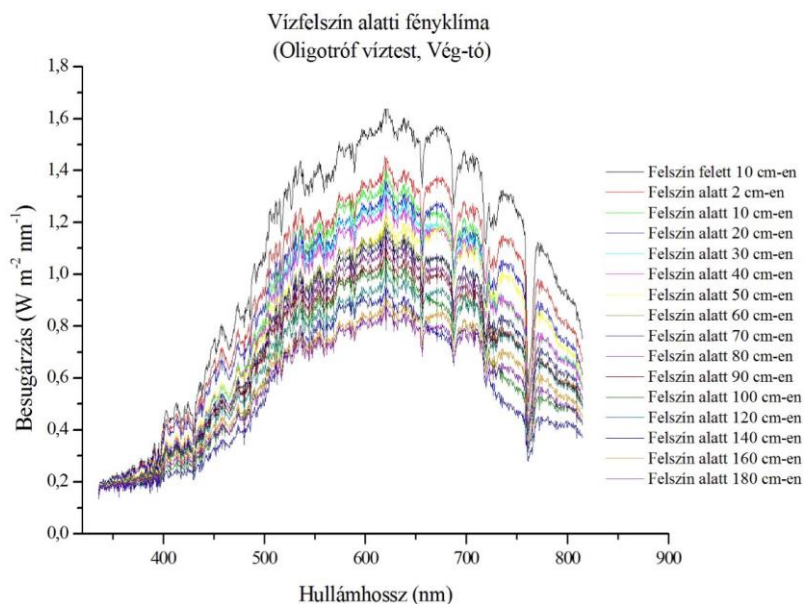
- ilyen körülmények között magas felszíni vízhőmérséklet ellenére, az a-klorofill tartalom maximuma a vízfelszínen helyezkedett el



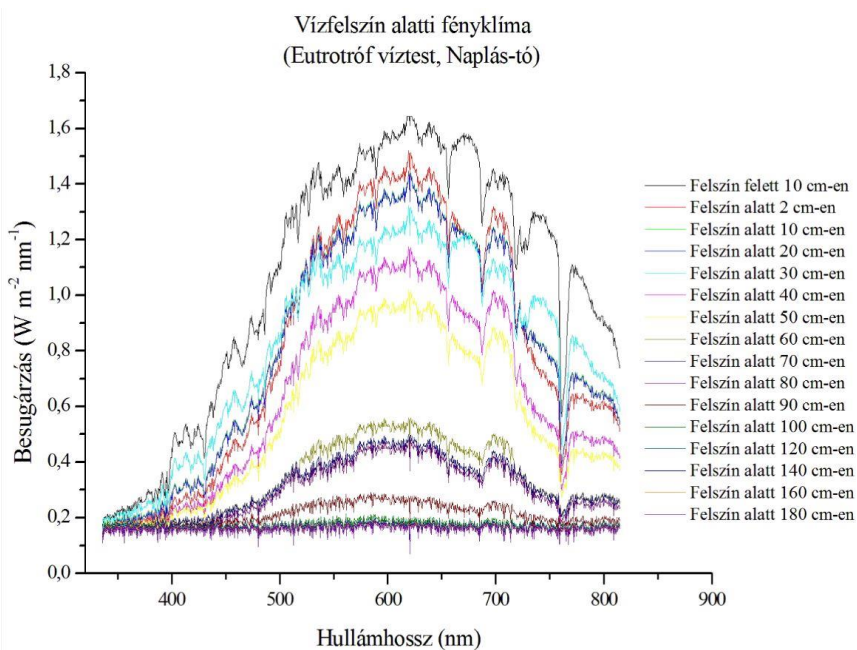
4. ábra Fitoplankton állomány vertikális eloszlása különböző UV sugárzás mellett (Naplás-tó, N1 mintavételi pont)

Rendelkezésre álló fény

A kutatás folyamán a lebegőanyagtartalom több mint 85 %-át a planktonikus élőlények alkották. A víz alatti fényklimatikus viszonyok szignifikánsan eltértek egymástól, a különböző trofitási kategóriába tartozó víztestek esetében. A különböző trofitási kategóriába tartozó víztestek víz alatti fényklimatikus viszonyai, az 5. és 6. ábrán láthatók. A mérési eredmények alapján az a-klorofill tartalom szignifikánsan csökkent abban a mélységben, ahol a spektrométerrel mért maximum besugárzás $0,4 \text{ W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ alá csökkent, a kék (420 – 490 nm) és a vörös (650 – 750 nm) hullámhossz tartományban. Tehát, ebben a vízmélységben a fitoplankton állomány jelentős részének már nem volt elegendő hasznosítható hullámhosszú fény. A vízbe jutó fény energiája a maximum a-klorofill tartalom elhelyezkedési mélysége után, nagymértékben csökkent. A mérési eredmények elemzése alapján a maximum a-klorofill tartalom elhelyezkedési mélységében, és az ezt megelőző ponton mért maximum fényenergia különbségének a mértéke, egyenes arányos volt az a-klorofill koncentráció növekedésével.



5. ábra Fényklimatikus viszonyok alakulása a mélység függvényében oligotróf víztestben (Vég-tó; V1 mintavételi)



6. ábra Fényklimatikus viszonyok alakulása a mélység függvényében eutrotróf víztestben (Naplás-tó; N1 mintavételi)

Felszín felett meghatározott reflektancia

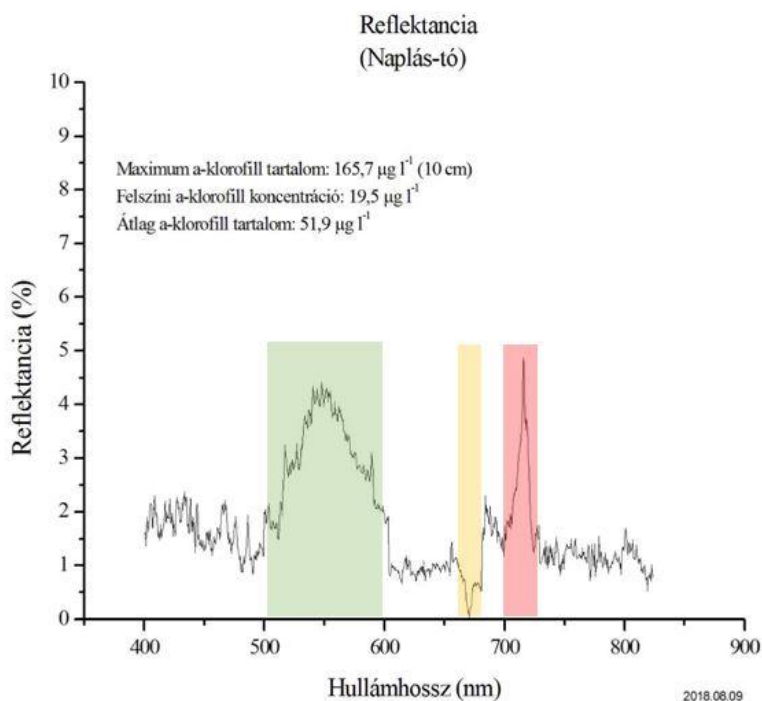
Kutatásom fő feladat volt, a maximum a-klorofill tartalom elhelyezkedési mélységének a felszín felett meghatározott reflektanciára gyakorolt hatásának a vizsgálata. A mérési eredmények alapján, négy alapvető szignifikánsan eltérő esetet különböztettem meg, a maximum a-klorofill tartalom elhelyezkedési mélysége szerint:

- az a-klorofill tartalom maximuma a 0-20 cm-es felszín közeli vízrétegben helyezkedett el
- az a-klorofill tartalom maximuma a 50 cm-nél mélyebb vízrétegben helyezkedett el
- vízvirágzás (az a-klorofill tartalom maximuma a felszínen helyezkedett el)
- planktonszíneződés (vízvirágzást megelőző időszak, maximum a-klorofill tartalom a vízfelszínen)

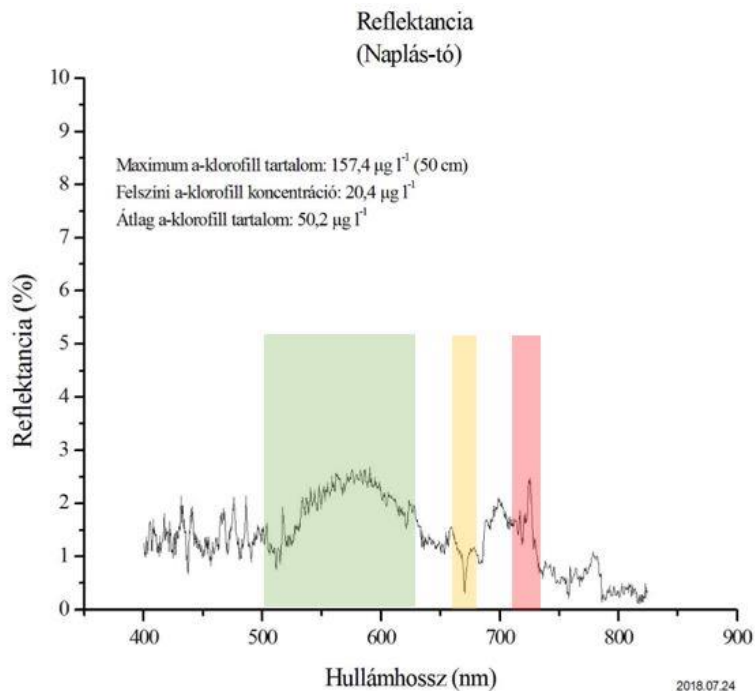
A reflektancia görbék lefutását hat, az a-klorofill szempontjából nevezetes hullámhossz tartományokban vizsgáltam:

- 500-600 nm közötti tartomány (jelölés színe: zöld): Növekvő reflektancia értékek, a fotoszintetikus pigmentek csökkenő fényelnyelése és a lebegőanyagokról való fényvisszaverődés miatt (CAMPBELL, 2006).
- 565 nm körüli tartomány (jelölés színe: kék): fotoszintézisben résztvevő pigmentek közül a fikoeritrin elnyeléséhez kapcsolódó fényvisszaverési minimum érték (SVÁB, 2008).
- 630 nm körüli tartomány (jelölés színe: lila): Fotoszintézisben résztvevő pigmentek közül a fikocianin elnyeléséhez kapcsolódó fényvisszaverési minimum érték (SVÁB, 2008).
- 650 nm körüli tartomány (jelölés színe: barna): Megjelenő helyi maximum érték, amely a lebegőanyagok fényvisszaverési tulajdonságaihoz kapcsolható (DEKKER et al. 1992).
- 670 nm körüli tartomány (jelölés színe: sárga): Az a-klorofill elnyeléséhez kapcsolódó fényvisszaverési minimum érték (DEKKER et al. 1992).
- 685-730 nm közötti tartomány (jelölés színe: vörös): Megjelenő helyi maximum érték, amely fitoplankton állomány sajátos fényemissziós jelenségéhez kapcsolódik (CAMPBELL, 2006).

Abban az esetben mikor az a-klorofill tartalom maximuma a felszín közeli rétegekben helyezkedett el, akkor 500-600 nm között meredeken emelkedő, magas reflektancia értékeket lehetett detektálni. Ezt követte a 670 nm megjelenő minimum érték, amely az a-klorofill fényelnyeléséhez köthető. Végezetül 715 nm-en lehetett detektálni a fitoplankton állomány fényemissziójához köthető maximum értéket. Ezzel ellentétben mikor az a-klorofill tartalom maximuma a mélyebb rétegekben volt, 500-600 nm között már egy elnyúló, lapos görbejelleg mutatkozott alacsonyabb reflektancia értékekkel. Az a-klorofill elnyeléséhez kapcsolódó minimum értéket ebben az esetben is lehetett detektálni. Az előző esettől eltérően a csúcstelődással 725 nm-en lehetett regisztrálni a fényemisszióhoz kapcsolódó maximum értéket. Elemezve a vizsgálatok során kapott eredményeket, 30% alacsonyabb reflektancia értékeket lehetett mérni abban az esetben, ha az a-klorofill tartalom maximuma a mélyebb rétegekben volt, mint abban az esetben, ha a felszín közelében helyezkedett el. A 7. és 8. ábrán láthatók a két alapesetben kapott reflektancia görbék.

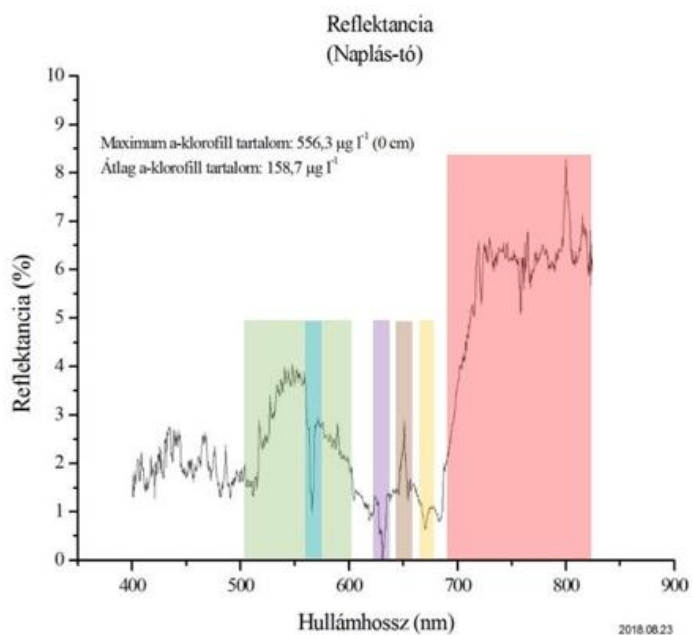


7. ábra Reflektancia görbe lefutása abban az esetben, ha az a-klorofill tartalom maximuma a 0-20 cm-es felszín közeli vízrétegben helyezkedett el

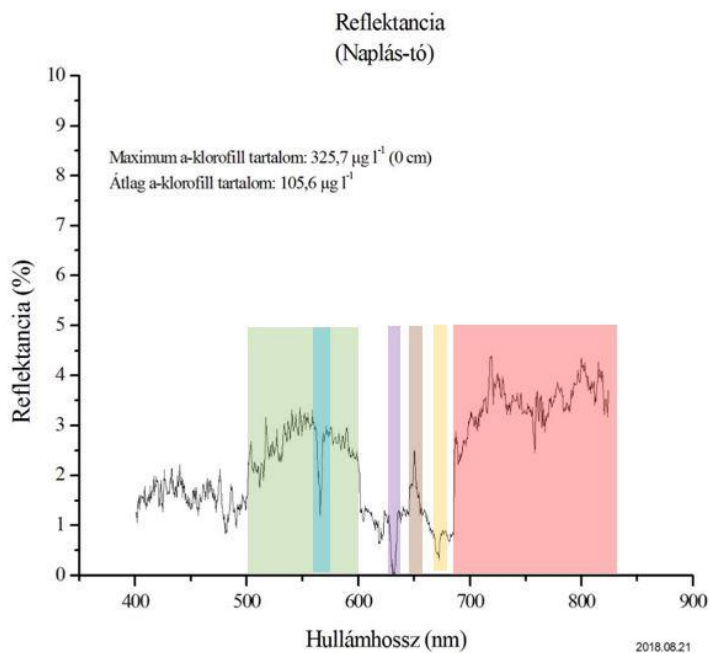


8. ábra Reflektancia görbe lefutása abban az esetben, ha az a-klorofill tartalom maximuma a 50 cm-nél mélyebb vígrétegben helyezkedett el

Vízvirágzás során is 500-600 nm között meredeken emelkedő magas reflektancia értékeket lehetett meghatározni, amit 565 nm-en megszakított a fikoeritrin elnyeléséhez kapcsolódó minimum érték. Ezt követi a 630 nm-en megjelenő minimum érték, amely a fikocianin elnyeléséhez kapcsolható. Mindkét említett minimum érték a cianobaktériumok elszaporodásához kapcsolódik. A megnövekedett lebegőanyag tartalomhoz köthető a 650 nm-en detektált maximum érték. Az előző esetektől eltérően 685 nm-től meredeken emelkedő görbejelleg volt tapasztalható. Ehhez kapcsolódó magas reflektancia értékek az érzékelés tartomány végéig fennmaradtak. Ez a jelenség a fényemissziós tulajdonságokhoz és a felszínen csomóban összegyűlő fitoplankton állományhoz köthető. Planktonszíneződés esetén is hasonló görbejelleg lehetett detektálni azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben alacsonyabb reflektancia értékek és ellaposodó görbe mutatkozott. Értékelve a vízvirágzás és a planktonszíneződés során kapott reflektancia meghatározási eredményeket, planktonszíneződés esetében 35 %-kal alacsonyabb reflektancia értékeket lehetett detektálni, mint vízvirágzás idején. A vízvirágzás és a planktonszíneződés során kapott reflektancia görbék 9. és 10. ábrán láthatók.



9. ábra Reflektancia görbe lefutása, teljes vízvirágzás idején



10. ábra Reflektancia görbe lefutása, planktonszíneződés során (vízvirágzást megelőző időszakban)

A távérzékelési reflektancia spektrumok megfigyelési szögtől való függése

A kutatásom fontos feladata volt, a távérzékelési reflektancia spektrumok megfigyelési szögtől való függésének vizsgálata. A mérések során 60° és 45°-os megfigyelési szöget alkalmaztam a távérzékelési reflektancia spektrumok vizsgálatára. A mérési eredményeim alapján kimutatható volt a helyi minimum és maximum értékek szignifikáns eltolódása a magasabb hullámhossztartományok felé, illetve a reflektancia görbék ellaposodása. Ennek több oka is lehet: a fényút hosszának változása, koncentrációváltozás és a szóródás.

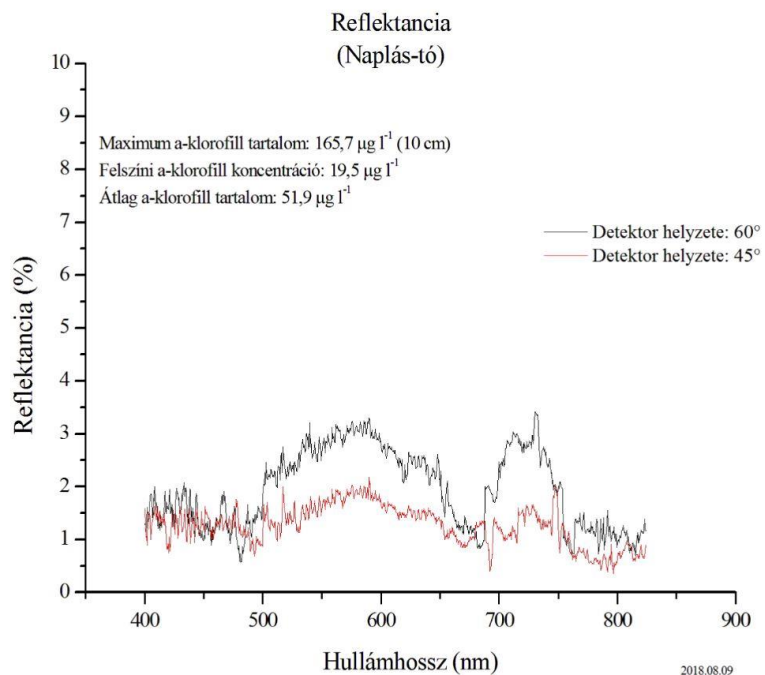
A távérzékelési reflektancia spektrumok megfigyelési szögtől való függését, a maximum a-klorofill tartalom elhelyezkedése szempontjából 3 esetben vizsgáltam:

- az a-klorofill tartalom maximuma a 0-20 cm-es felszín közeli vízrétegben helyezkedett el
- az a-klorofill tartalom maximuma az 50 cm-nél mélyebb vízrétegben helyezkedett el
- vízvirágzás (az a-klorofill tartalom maximuma a felszínen helyezkedett el)

A kutatás eredményei alapján, szignifikánsan különbözött a 60° és 45°-os megfigyelési szögben kapott reflektancia görbék lefutása abban az esetben, amikor az a-klorofill tartalom maximuma a felszín közeli vízrétegben helyezkedett el. A 45°-os megfigyelési szög esetén, elnyúló görbejelleg és szignifikánsan alacsonyabb reflektancia értékek jelentkeztek, a 60°-os detektorhelyezethez viszonyítva. A minimum és maximum értékek eltolódása a 2. táblázatban látható. A kapott reflektancia görbe lefutása pedig a 11. ábrán látható.

2. táblázat Minimum és maximum értékek eltolódása abban az esetben, mikor az a-klorofill maximuma a felszín közeli rétegekben helyezkedett el

Megfigyelési szög	500-600 nm	670 nm	685-730 nm
90°	550 nm	670 nm	715 nm
60°	580 nm	684 nm	730 nm
45°	585 nm	691 nm	750 nm



11. ábra Reflektancia görbék lefutása eltérő detektorállások mellett abban az esetben, ha az a-klorofill tartalom maximuma a felszín közeli rétegekben helyezkedett el

Az előzőekben bemutatott eredményekhez hasonlóan, minden esetben tapasztalni lehetett a csücseltolódást és a reflektancia görbék ellaposodását. Abban az esetben, amikor az a-klorofill maximuma a mélyebb rétegekben helyezkedett el, mindkét megfigyelési szög esetén egy teljesen ellaposodott, elnyúlt görbét lehetett detektálni, amely megnehezítette a nevezetes minimum és maximum értékek detektálását. A vízvirágzás esetén a legnagyobb különbség a két megfigyelési szögben kapott reflektancia értékek között, a 685 nm-től kezdődő tartományban jelentkezett. Itt ugyanis a 45°-os detektorállás esetén szignifikánsan alacsonyabb értékeket lehetett detektálni, a 60°-os eredményekhez viszonyítva.

Következtetések és a javaslatok

Doktori kutatásom során kidolgoztam egy komplex (távérzékelésen, helyszíni és laboratóriumi méréseken alapuló) mérési elrendezést a sekély, magas trofitási viszonyokkal és a mély, alacsony trofitás viszonyokkal rendelkező állóvizekre. Ezen strukturált mérési módszer, alapját képezheti a jövőben fejleszteni kívánt komplex mérési rendszereknek, amelyek alkalmazásával költséghatékonyan, részletesen lehet vizsgálni a vízi rendszereket.

Mikroszkópos vizsgálatok eredményei alapján, taxonómiai elkülönítéssel létrehoztam a Naplás-tó és a Vég-tó fitoplankton állomány monitorozását célzó adatbázist, a tavakban leggyakrabban előforduló fitoplankton családokkal és nemzetségekkel, amely később felhasználható a fitoplankton állomány taxonómia elkülönítését célzó távérzékeléses vizsgálatok fejlesztésére.

Fitoplankton állományok zonációjára a vizsgált fizikai, kémiai, biológiai és spektroszkópiai paraméterek közül leginkább az UV sugárzás, a vízhőmérséklet, a rendelkezésre álló hasznosítható fény volt szignifikáns hatással. A fitoplankton állomány vertikális elhelyezkedését célzó vizsgálatok során a kapott eredményeim felhasználhatók, olyan explicit modellek paraméterezéséhez és előkészítéséhez, amely spektrális adatokkal kombinálva alkalmazható a hullámterjedés vizsgálatára a vízben, illetve a víz és az érzékelő közötti térben lezajló folyamatok esetén.

Az állóvizek mélységgel változó spektrális tulajdonságainak vizsgálatával megállapítottam, hogy a maximum a-klorofill tartalom vízoszlopon belüli vertikális elhelyezkedése, egyenes arányosan befolyásolta a felszín felett meghatározott reflektanciát. A reflektancia meghatározások során kapott eredmények felhasználhatók, illetve segítséget nyújthatnak olyan bio-optikai modellek fejlesztésében, amelyek figyelembe veszik a víztesten belüli a-klorofill tartalom vertikális eloszlását. Efféle megoldásokkal fejleszteni lehet a távérzékeléssel végzett a-klorofill tartalom meghatározási módszereket és a meghatározások pontosságát.

Meghatároztam, hogy a távérzékelési reflektancia spektrumokra az alkalmazott megfigyelési szög (spektrométer detektorának szöghelyzete) hatással volt. Ez a hatás, a nevezetes minimum és maximum értékek eltolódásában és a reflektancia görbék ellaposodásában nyilvánult meg. A távérzékelési reflektancia spektrumok megfigyelési szögtől való függésének vizsgálata során kapott eredmények felhasználhatók, olyan távérzékelési módszerek fejlesztésére, amelyekben több eltérő megfigyelési szögben vizsgálják az adott objektumot vagy jelenséget, javítva ezzel a meghatározások pontosságát.

Új tudományos eredmények

1.) Kidolgoztam egy komplex (távérzékelésen, helyszíni és laboratóriumi méréseken alapuló) mérési elrendezést a sekély, magas trofitási viszonyokkal és a mély, alacsony trofitás viszonyokkal rendelkező állóvizekre. A mérési program kiterjed a víz fizikai, kémiai, biológiai, algológiai és spektrális tulajdonságainak vizsgálatára, elemzésére és kiértékelésére. Ezen strukturált mérési módszer alapját képezheti a jövőben fejleszteni kívánt komplex mérési rendszereknek, amelyek alkalmazásával költséghatékonyan, részletesen lehet vizsgálni a vízi rendszereket.

2.) Fitoplankton állományok zonációjára a vizsgált fizikai, kémiai, biológiai és spektrális paraméterek közül, a ható tényezők között fennálló kapcsolati viszonyrendszer statisztikai elemzése alapján, leginkább az UV sugárzás (0,79), a rendelkezésre álló hasznosítható fény (0,76), és a vízhőmérséklet (0,53) volt szignifikáns hatással.

3.) Az állóvizek mélységgel változó spektrális tulajdonságainak vizsgálatával megállapítottam, hogy a maximum a-klorofill tartalom vízoszlopon belüli vertikális elhelyezkedése, egyenes arányosan befolyásolta a felszínen felett meghatározott reflektanciát, aminek következtében hatással van az a-klorofill tartalom távérzékeléssel történő meghatározására.

- Ha a fitoplankton állomány a mélyebb vízrétegekben helyezkedett el, 30 %-kal alacsonyabb felszín felett meghatározott reflektancia értéket lehetett detektálni, mint a felszín közeli maximum esetében.
- Planktonszíneződés esetében pedig 35 %-kal alacsonyabb reflektancia értékeket lehetett meghatározni, mint vízvirágzás idején.

4.) Meghatároztam, hogy a távérzékelési reflektancia spektrumokra az alkalmazott megfigyelési szög (spektrométer detektorának szöghelyzete) szignifikáns hatással volt. Ez a hatás a nevezetes minimum és maximum értékek eltolódásában és a reflektancia görbék ellaposodásában nyilvánult meg, amely befolyásolja reflektancia görbék értékelését. A vizsgálatok alapján a 45°-os megfigyelési szögben már nehézkes, több esetben pedig nem volt lehetséges a nevezetes hullámhossztartományok azonosítása és értékelése az a-klorofill tartalom tekintetében.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. Folyóiratcikkek

1.1. IF-es folyóiratcikkek

GRÓSZ, J.; WALTNER, I.; VEKERDY, Z. (2019):

First analysis results of in situ measurements for algae monitoring in Lake Naplás (Hungary). In: *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14 (2) 385-398. pp.

1.2. Nem IF-es (lektorált) folyóiratcikkek

1.2.1. Idegen nyelvű

GRÓSZ, J.; SEBŐK, A.; NAGY, N.; KOVÁCS, A.; WALTNER, I. (2019): Analysis results of in situ water and sediment quality of Újpest Backwater. In: *Tájökológiai Lapok*, 17 (2) 179-192. pp.

1.2.2. Magyar nyelvű

GRÓSZ, J.; KRUPPINÉ FEKETE, I. (2016): Az Ecsédi Vég-tó vízminőségének és üledékének környezetanalitikai vizsgálata. In: *Tájökológiai Lapok*, 14 (1) 13-20. pp.

SAEIDI, S.; **GRÓSZ, J.;** SEBŐK, A.; DEGANUTTI DE BARROS, V.; WALTNER, I. (2019): Területhasználat-változás a Szilas-patak vízgyűjtő területén 1990-től. In: *Tájökológiai Lapok*, 17 (2) 265-275. pp.

SAEIDI, S.; **GRÓSZ, J.;** SEBŐK, A.; DEGANUTTI DE BARROS, V.; WALTNER, I. (2019): Területhasználat-változás a Rákos-patak vízgyűjtő területén 1990-től. In: *Tájökológiai Lapok*, 17 (2) 287-296. pp.

1.3. Egyéb szakmai (nem lektorált) folyóiratcikkek

GRÓSZ, J. (2016): Az Ecsédi Vég-tó vízminőségének és üledékének vizsgálata. In: *Hidrológiai Tájékoztató*, 2016. évi szám 19-21.pp.

2. Konferencia kiadványok

2.1. Magyar nyelvű (teljes)

SEBŐK, A.; CZINKOTA, I.; FEKETE, GY.; DÁLNOKI, B.; **GRÓSZ, J. (2017)**: Humuszoldat adszorpciós és deszorpciós kinetikájának meghatározása homokos talajon oszlopkísérlet segítségével. In: *Tájvédelem Különszám*, 2017. év 251-260. pp.

2.2. Magyar nyelvű (absztrakt)

SEBŐK, A.; **GRÓSZ, J.**; WALTNER, I.; CZINKOTA, I. (2018): Humuszanyagokban bekövetkező változás mezőgazdasági területeken vízborítás hatására. In: JAKAB, G.; TÓTH, A.; CSENGERI, E. (szerk.): *Alkalmazkodó Vízgazdálkodás: Lehetőségek és kockázatok. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia, Szarvas, Magyarország, Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar*, 152-152. pp.

FEKETE, GY.; RÉTHÁTI, G.; KOVÁCS, A.; DÁLNOKI, B.; **GRÓSZ, J.**; TÓTH, P. (2017): Mikroalgák szervesanyag-tartalmának vizsgálata. In: *Környezetkémiai Szimpózium: Program és előadáskivonatok, Bakonybél, Magyarország*, 15. p.

WALTNER, I.; HOREL, Á.; SEBŐK, A.; **GRÓSZ, J.** (2018): Talajnedvesség monitoring hálózat kialakítása a Rákos-patak vízgyűjtőjén: poszter. In: BAKACSI, ZS.; KOVÁCS, ZS.; KOÓS, S. (szerk.): *Talajtani Vándorgyűlés: Absztrakt és program füzet: Talajhasználat – funkcióképesség, Magyar Talajtani Társaság*, 33. p.

2.3. Idegen nyelvű (teljes)

SEBŐK, A.; CZINKOTA, I.; DÁLNOKI, B.; WALTNER, I.; **GRÓSZ, J.** (2019): Long-term reduction effects to the extractable soil chemicals. In: *XXI. századi Vízgazdálkodás a tudományok Metszéspontjában: II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia Szarvas, Magyarország: Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar*, 349-355. pp.

2.4. Idegen nyelvű (absztrakt)

GRÓSZ, J.; WALTNER, I.; VEKERDY, Z. (2018): Analyzing the vertical distribution of freshwater algae in lakes. In: JAKAB, G.; TÓTH, A.; CSENGERI, E. (szerk.): *Alkalmazkodó Vizgazdálkodás: Lehetőségek és kockázatok. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia Szarvas, Magyarország: Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar, 272-272.* pp.

GRÓSZ, J.; WALTNER, I.; SEBŐK, A.; VEKERDY, Z. (2019): Results of a long-term data analysis for algae migration monitoring. In: JAKAB, G.; CSENGERI, E. (szerk.): *XXI. Századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában : II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia Szarvas, Magyarország : Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar, 287-287.* pp.

SAEIDI, S.; **GRÓSZ, J.;** CENTERI, CS.; WALTNER, I. (2019): Analysing land use change and geomorphometric parameters in small watersheds. In: HATVANI, G.; TANOS, P.; FEDOR, F. (szerk.): *Abstract Book of the GEOMATES 2019. International Congress on Geomathematics in Earth- & Environmental Sciences which is the 21th Congress of Hungarian Geomathematicians Pécs, Magyarország: Regional Committee of the Hungarian Academy of Sciences at Pécs, 51-51.* pp.

FEKETE, GY.; ALEXA, L.; KÖLES, P.; **GRÓSZ, J.;** DÁLNOKI, B. (2018): Investigation on the growth of microalgae affected by biomass ash extract treatment. In: KENDE, Z. (szerk.): *17th Alps-Adria Scientific Workshop: Abstract book Gödöllő, Magyarország: Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, 150-151.* pp.

DÁLNOKI, B.; SEBŐK, A.; **GRÓSZ, J.;** RÉTHÁTI, G.; TOLNER, L. (2018): Rapid biotest for fertiliser's effects. In: KENDE, Z. (szerk.): *17th Alps-Adria Scientific Workshop: Abstract book Gödöllő, Magyarország: Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, 138-139.* pp.

GRÓSZ, J.; WALTNER, I.; VEKERDY, Z. (2017): Water quality measurements by in situ and remote sensing tools (2017). In: *Poster European Space Agency (ESA) 7th. Advanced Training Course on Land Remote Sensing*

Felhasznált irodalom

- CAMPBELL, J. B. (2006): Introduction to Remote Sensing. In *Principles of Remote Sensing - An introductory textbook*. London: Taylor and Francis Group. 667. p.
- DEKKER, A. G., BRANDO, V. E., ANSTEE, J. M., PINNEL, N., KUTSER, T., HOOGENBOOM, H. J., MALTHUS, T. J. (2001): Imaging spectrometry of water. In: *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*, 4th ed., 307–359. pp. https://doi.org/10.1007/978-0-306-47578-8_11
- DEKKER, A. G., MALTHUS, T. J., WIJNEN, M. M., SEYHAN, E. (1992): The effect of spectral bandwidth and positioning on the spectral signatures analysis of inland waters. In: *Remote Sensing of Environment*, 41 211-225. pp.
- DÉVAI, G., DÉVAI, I., FELFÖLDY, L., WITTNER, I. (1992): A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója 3. rész Az ökológia vízminőség jellemzésének lehetőségei. In: *A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója 3. rész*, Debrecen: Acta Biol. debrecina, Suppl. oecol. hung.49–185. pp.
- EUROPEAN COMMUNITY (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Parliament*, L327(October 2000), 1–82. pp. <https://doi.org/10.1039/ap9842100196>
- FELFÖLDY, L. (1974): A biológiai vízminősítés. In *Vízügyi Hidrobiológia*. Vízügyi hidrobiológia 3. Vízdok. 234. p.
- FELFÖLDY, L. (1981): A vizek környezettana általános hidrobiológia (Wenszky, Á. Szerk.). Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 289. p.
- KISS KEVE, T. (1998): Bevezetés az algalógiába. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó. 283. p.
- PADISÁK, J. (2005): Általános Limnológia. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó. 310. p.

- REYNOLDS, C. S. (2006): The Ecology of Phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press 551.p.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- SVÁB, E. (2008): Sekélyvizű tavak vízminőség-vizsgálata, állapotfelmérése műholdas távérzékelés segítségével. ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest. 106. p.
- ZSENI, A., BULLA, M. (2002): Vízminőségvédelem. Győr: Széchenyi István Egyetem, Építési és Környezetmérnöki Intézet. 168. p.