

BODAJKI POLGÁRMESTERI HIVATAL

postán, gyűjtőládába, személyesen, faxon, e-mailen

Érkezett: 2017 -08- 0 8

Iktatószám: 456 / 2017 Előszám:

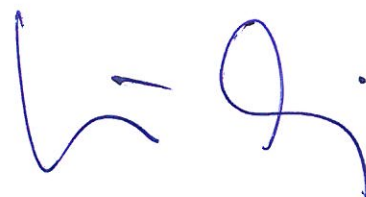
Melléklet: Előadó: Tófl, Σ

## Szakvélemény a Bodajki Tófürdő algásodásának állapotáról az algatúlszaporodás okairól és a megelőzés lehetőségeiről

### Tartalom

Előzmények .....	2
Jelenlegi állapot.....	2
A vizsgálat célja .....	2
A vizsgálat helyszíne és módszerei.....	2
A tó algái.....	3
Hínárok (teleptestű algák) a tóban.....	5
A tó vízminősége .....	7
A Tófürdő mint az algák környezete.....	9
Az algagyérítés lehetőségei a Tófürdőben .....	10
Összefoglalás .....	12
A felhasznált adatok forrásai.....	12

Tihany 2017 július 31.



Vörös Lajos  
az MTA doktora  
professzor emeritus

## Előzmények

A Dunántúli-középhegység területén a bányászat karsztvíz kivétele következtében a karsztvízszint az 1950-es évekhez képest 30-40 métert csökkent. Emiatt a Bodajki Tófürdőt tápláló forrás 1968-ban elapadt, a tó kiszáradt. Ezt időlegesen pótolta a 220 méter talpmélységű karszt kút, ami a tófenék vízzáró agyagréteggel való borításával együtt lehetővé tette a tófürdő további üzemeltetését egészen addig, amíg a bányászat megszűntével a karsztvíz szintje újból megemelkedett. A 2000-es évek közepétől a tófenéket borító agyagréteget megbontották és a tó a korábbi módon természetes úton vízzel újra feltöltődött, a kút üzemeltetését beszüntették. Az agyagréteget eltávolították és a meder fenekét kavicsréteggel borították.

## Jelenlegi állapot

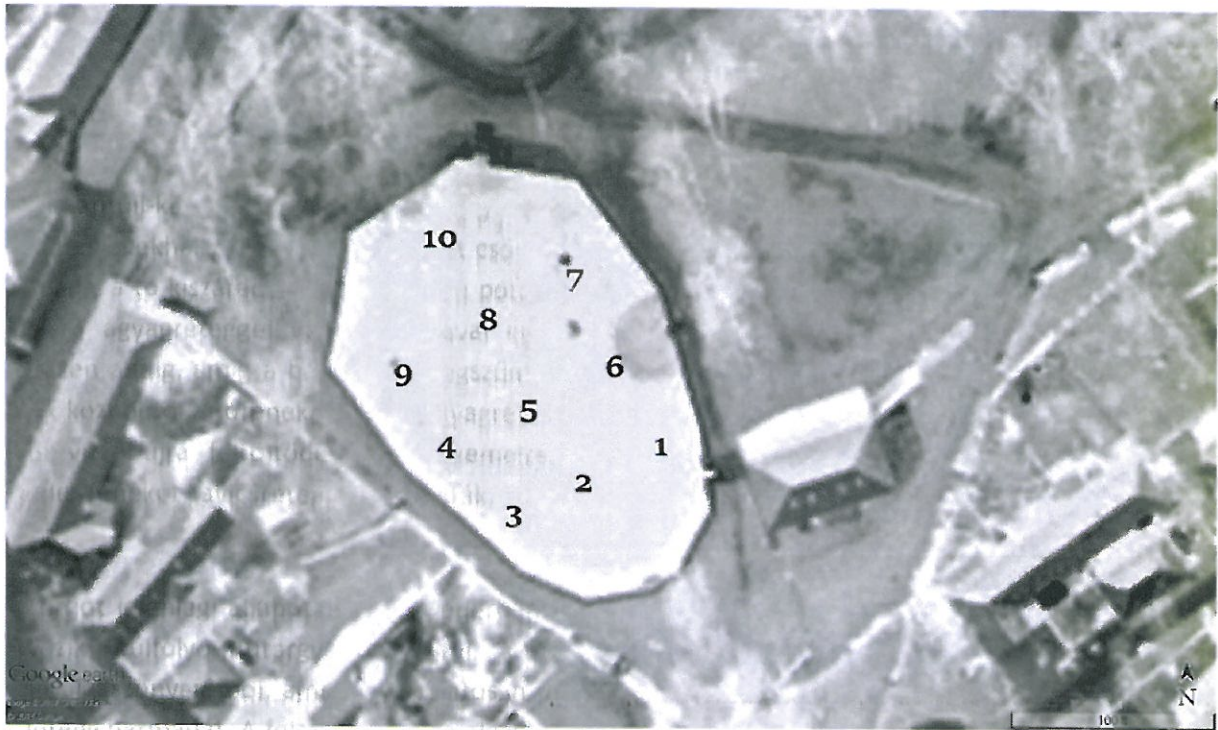
A fürdőt jelenlegi állapotában a mederben feltörő karsztvíz táplálja, ami folyamatosan áramlik és távozik a túlfolyó műtárgyon keresztül. A tó vize fenéig átlátszó, a medret vastag hínárral elegyes zöld algaszőnyeg fedi, amely folyamatosan felszakad és a felszínre úszik beborítva a tó felületének mintegy harmadát. A felszínre felúszó algagyep helyzete és sűrűsége a széljárással változik. Ebben az állapotában a tó a felszín borító gusztustalan algapamacsok és a fenékről felnyúló zöld masszának tűnő fonalas algák és hínárok miatt fürdőzésre alkalmatlan, de városi dísztoként sem nyújt elfogadható látványt

## A vizsgálat célja

Bodajk Város Polgármestere Wurczinger Lóránt 2017. június 21-én kelt felkérésére előzetes helyszíni bejárást követően 2017. július 20-án vizsgálatokat végeztem a tó vízminőségi/ökológiai állapota, az algaszaporodást kiváltó körülmények és a védekezés lehetséges módjainak kiderítése céljából.

## A vizsgálat helyszíne és módszerei

A Bodajki Tófürdő felszíne 2280 m<sup>2</sup>, térfogata a korábbi adatok szerint üzemi vízszinten 3530 m<sup>3</sup>. A szabálytalan ovális alakú mederben 10 mintavételi pontot jelöltünk ki vízmintavételre. Az 1. számú mintavételi hely az elfolyó műtárgy közelében van, a tóból kifolyó vizet reprezentálja a 7. számú mintavételi hely az intenzív vízfeltörés térsége, a beáramló karsztvízről ad információt. A tíz mintavételi hely kijelölésével a tóban esetlegesen kialakuló áramlások és áramlási holtterek meglétére kívántam következtetni (1. ábra). A helyszínen mértük a víz átlátszóságát, hőmérsékletét, pH-ját, oldott oxigén tartalmát és fajlagos elektromos vezetőképességét. A laboratóriumba szállított vízmintákban meghatároztuk az oldott reaktív foszfor (PO<sub>4</sub>-P) és a nitrát-nitrogén (NO<sub>3</sub>-N) koncentrációját. Az utóbbi kettő az alapvető szabályozó tényezője az algák és más vízínövények szaporodásának, csak az utóbbiak ismeretében lehet érdemi vízminőségi diagnózist felállítani. A tó foszforkoncentrációjáról nincs korábbi adat, a nitrát-ion koncentrációját egy alkalommal mérték 2015 áprilisában a Dunántúli Regionális Vízmű Zrt laboratóriumában.



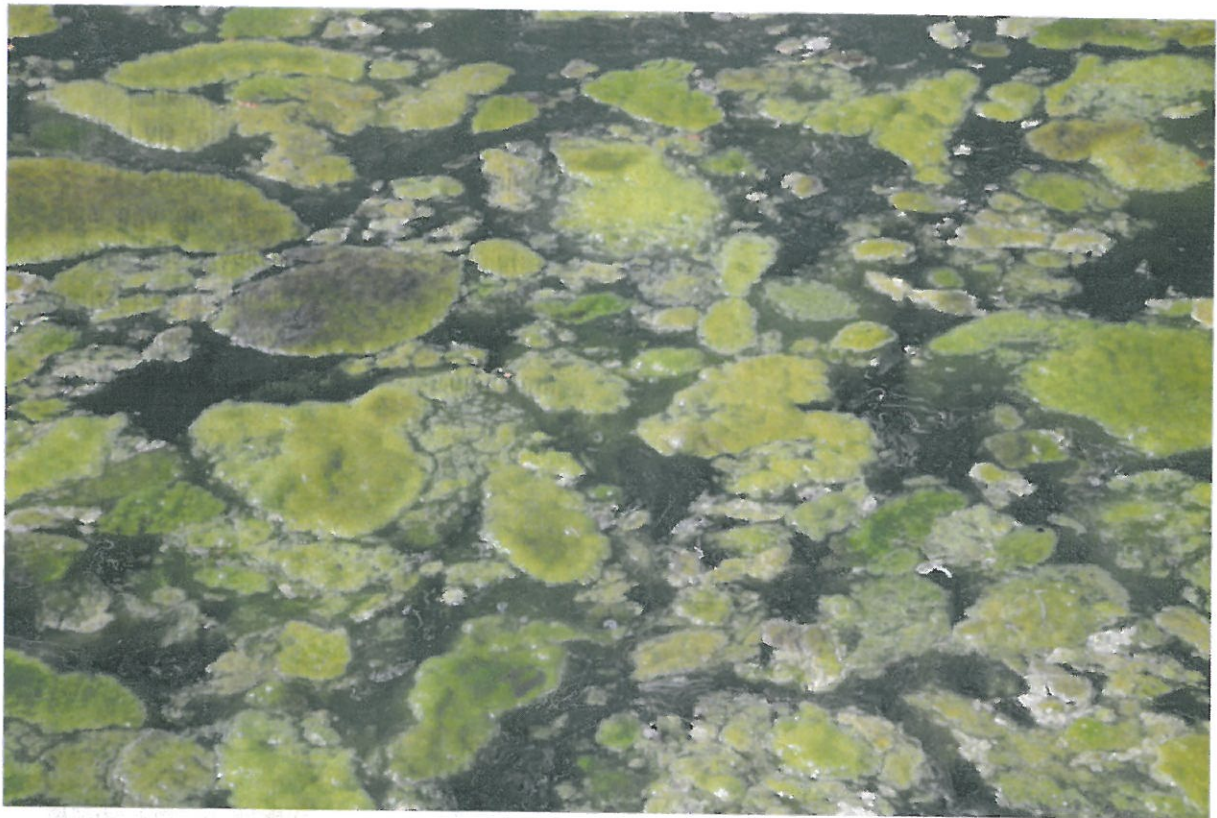
1. ábra. Vízmintavétel helyek 2017 július 20-án a Bodajki Tófürdőben.

### A tó algái

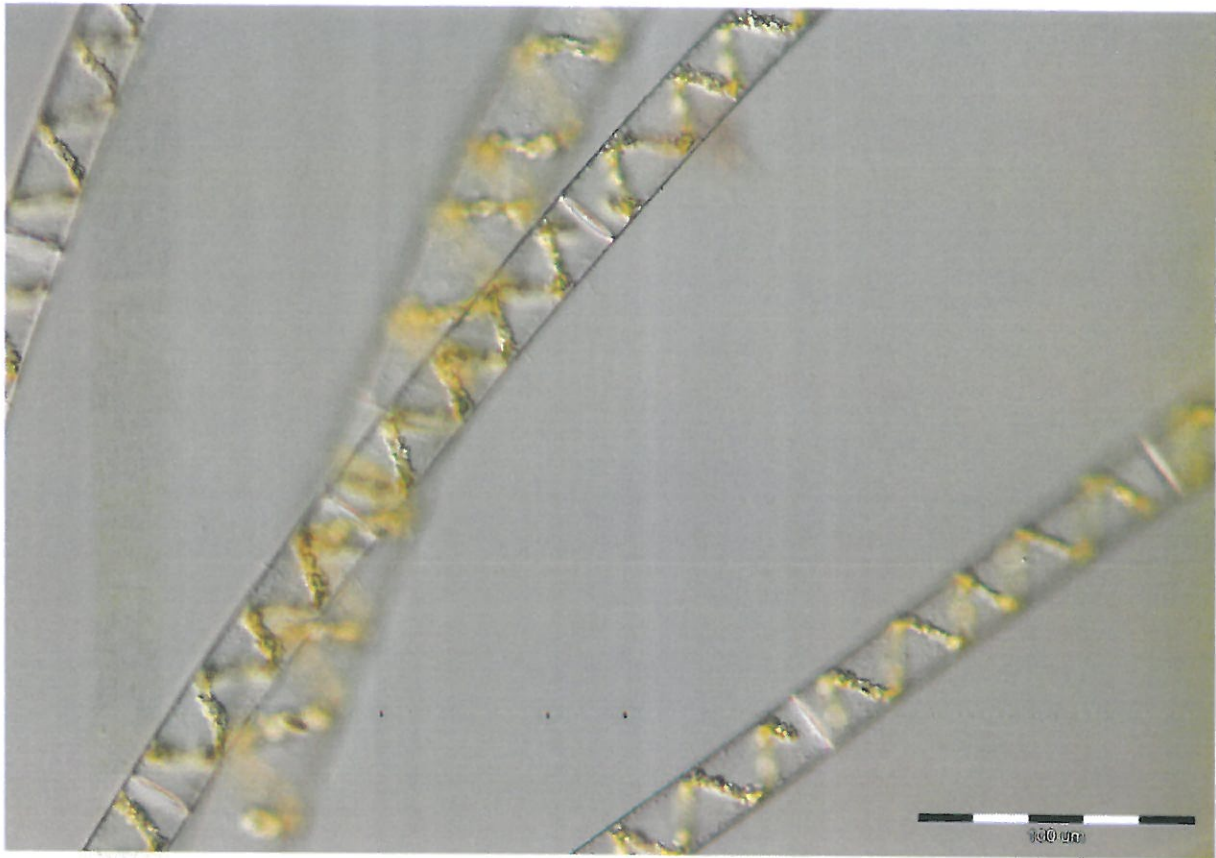
A meder fenekét mindenütt vastag rétegben borította fonalas algaszőnyeg, amelynek pamacsai felúsztak a víz felszínére és a vizsgálat idején a tó felületének mintegy egyharmadát borították (2. ábra). Ezt a nyálkás, sima tapintású zöld masszát, algavirágzást (3. ábra) egyetlen egy fonalas zöldalga egy un. járommoszat, egy *Spirogyra* faj alkotta. A *Spirogyra* fajok az egész világon elterjedtek és gyakran szaporodnak el az emberi vízhasználatokra káros mértékben. Az alganemzetség a spirálisan csavarodott zöld színtestjeiről kapta a nevét (4. ábra). A fiatal fonalak a vízfénkre vagy vízínövényekre tapadva kezdenek el növekedni majd később elszakadnak az aljzattól és a felszínre emelkednek. Ez a jelenség jól megfigyelhető a Tófürdő esetében is.



2. ábra. A tó panorámaképe a vízfelszínen úszó algagyeppelel (2017 július 20).



3.ábra. Algavirágzás a tó északnyugati végében.



4.ábra. Az algavirágzás mikroszkópi képe. A felszínre úszó algapamacsokat egyetlen fonalas alga, egy *Spirogyra* faj alkotja.

### Hínárok (teleptestű algák) a tóban

A tó fenekét borító, helyenként több deciméter vastagságú algagyepben előfordulnak a fonalas algákkal elletett hínárnövények pusztuló egyedei. Utóbbiak azonban nem valódi virágos növények, hanem teleptestű algák (csillárkamoszatok) amelyek megjelenésükben nagyon hasonlók a süllőhínárhoz (5. ábra). Egy hajtásrészletet kinagyítva láthatóvá válnak a gömbalakú, pirosas színű himivarszervek (6. ábra) ami mutatja, hogy ez esetben algáról és nem virágos növényről van szó. Ezek az akár egy méteresre megnövő algák mészből gazdag átlátszó tisztavízű vizek fenekén, akár 10 méter mélyen képesek összefüggő gyepeket alkotni. Így volt ez a Tófürdőben is, amíg be nem lepték azokat a fonalas algák (*Spirogyra*) tömege. A tófürdő vize mészből gazdag, kalcium-, magnézium-, hidrogénkarbonát-ionok által dominált, tiszta átlátszó víz. A napsugárzás lehatol a 2 méter mély tó fenekéig, a fotoszintetikusan aktív sugárzás (400-700 nm) extinkciós koefficiense a tóban:  $K = 0,6/m$ , ami azt jelenti, hogy az a vízmélység ahol még lehetséges növényi élet (1%-os mélység) a Tófürdőben 7,6 méter, az a mélység pedig ahová a fény 10%-a leér (leérne, ha olyan mély lenne a tó) az 3,8 méter azaz nagyobb mint a fizikai mélység. Ez nagyon lényeges adat a tó üzemirányítása szempontjából, mert a beeső fény 10%-ánál mindenfajta hínárnövény korlátlanul képes tenyészni. Ennél mélyebbre kellene a tavat mélyíteni, hogy a fény által korlátozzuk a hínárok és a fonalas algák szaporodását.



5. ábra. A tó hínövénye is egy alga, egy akár méteresre is megnövő csillárkamoszat (*Chara hispida*).



6. ábra. A csillárkamoszat hajtásrészlete, a vörös gömböcskék hímivarszervek.

### A tó vízminősége

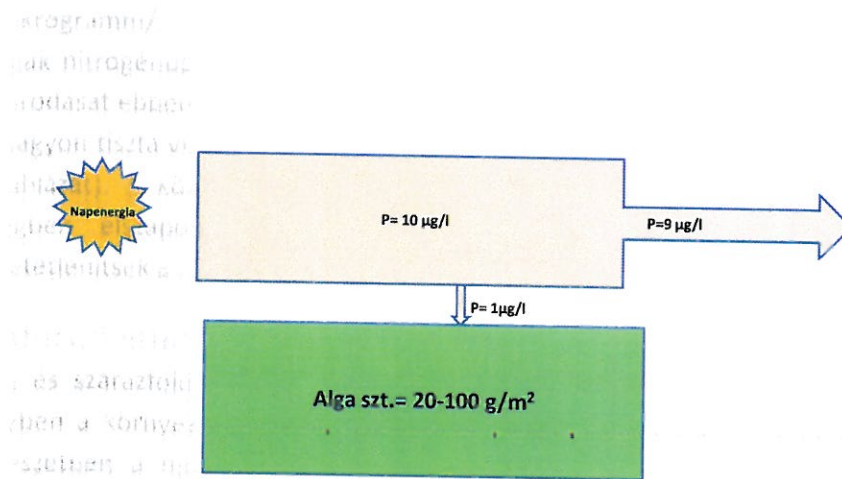
A tíz pontos vizsgálat eredményei (1. táblázat) azt mutatták, hogy nem voltak eltérő víz hőmérsékletű területek a tóban, a forrásvíz feltörésének körzete (7. pont) sem különbözött szignifikánsan a tó többi részétől, a 8.-10. pontok kissé magasabb hőmérséklete összefügghet azzal is, hogy az első mérések óta több mint egy óra telt el, a napsütés időközben felmelegítette a vizet. Ezek az adatok a tó víztömegének homogenitására, jó elkeveredésére utalnak. Ezt a megállapítást erősítik a vízben oldott oxigén adatok, amelyek átlagos értéke a tóban 132%-os túltelítettséget mutatott, és a frissen feltörő víz (7. pont) sem különbözött ettől (131%). Ennek a magyarázata, hogy a meder fenekét itt is algagyep borítja, és az algák fotoszintézise döntő hatással van az oxigénviszonyokra (100% feletti telítettséget csak a vízi növények fotoszintézise hozhat létre!). A korábbi elemzésekből tudjuk, hogy ez egy meszes karsztforrás, pH értéke (7,5) szerint enyhén lúgos karakterű, e tekintetben sincsenek területi különbségek a tóban (1. táblázat).

1. táblázat. A Bodajki Tófürdő vízminőségi adatai 2017 július 20-án.

Mintavételi hely	Elektromos vezetőképesség		pH	Hőmérséklet °C	Oldott oxigén		Oldott oxigén2 %	PO4-P µg/l	NO3-N µg/l	Vízmélység m	Átlátszóság
	µs/cm				mg/l						
1	764		7.57	21.4	11.9		140	9	86	1.75	fenékig
2	757		7.5	21.3	11.45		130	8	98	2.0	fenékig
3	718		7.47	21.5	11.28		130	9	96	2.0	fenékig
4	745		7.46	21.7	11.26		129	9	96	1.7	fenékig
5	749		7.47	21.5	11.46		131	8	96	2.0	fenékig
6	738		7.44	21.3	11.7		134	9	96	0.6	fenékig
7	753		7.44	21.2	11.49		131	10	111	2.0	fenékig
8	750		7.47	21.8	11.4		131	6	96	1.9	fenékig
9	712		7.44	22.1	11.44		132	10	106	1.8	fenékig
10	750		7.50	22.0	11.75		136	9	96	1.9	fenékig
<b>ÁTLAG</b>	<b>744</b>		<b>7.47</b>	<b>21.6</b>	<b>11.51</b>		<b>132</b>	<b>8.7</b>	<b>98</b>	<b>1.8</b>	



Annak következtében, hogy a Tófürdő medencéjében folyamatosan áramlik a víz, és annak tömege naponta legalább egyszer kicserélődik, az algák folyamatosan el vannak látva friss tápanyaggal (foszforral) és folyamatosan, szinte korlátlanul képesek gyarapodni, ha naponta csak 1 mikrogramm foszfort vonnak ki a környezetből akkor is három hónap alatt tömegük 20-100 g száraztömegre nőhet négyzetméterenként (8. ábra), azaz folyamatos üzemű algatenyésztőként funkcionál, és ma ennek az állapotnak vagyunk a szemtanúi!



8. ábra. A Tófürdő, mint folyamatos üzemű algatenyésztő berendezés (fotobioreaktor). Három hónap működés alatt (ez az időjárási körülmények miatt lehet lényegesen rövidebb is) az algák tömege elárasztja a tavat!

Összefoglalva elmondható, hogy a tavat tápláló karsztforrás vízminősége kiváló, annál jobbat kívánni sem lehet. Nagyon sok és nagy tisztaságú víz folyik el a Tófürdő túlfolyó műtárgyán keresztül folyamatosan, nemhogy rontja, hanem javítja a befogadó vízfolyás vagy az alvízi halastó vízminőségét! A Tófürdő tiszta és fenéig átlátszó vizében a jó fényellátás miatt az algák a folyamatosan áramló vízből képesek az alacsony koncentrációban lévő foszfor egy részét kivonni (a természetben gyakori, hogy az algák a környezeti foszfor koncentrációt akár 1 mikrogramm/l értékre csökkentik) azt a testükbe építeni és folyamatosan szaporodni. Ekkor már nem a növényi tápelemek korlátozzák szaporodásukat, hanem a sűrű algamassza által elnyelt fény válik korlátozó tényezővé (önárnyékolás).

### Az algagyérítés lehetőségei a Tófürdőben

A következőkben áttekintem a világon az algák és vízínövények szabályozására, gyérítésére vagy irtására alkalmazott eljárásokat és azoknak a Tófürdőn való alkalmazhatóságát

1. Mechanikus gyérítés. A legrégebbi és a mai napig egyik legelterjedtebb megoldás a hínárnövények és a makroszkópikus algák kézi erővel, vagy az erre kifejlesztett gépek pl. hínárkasza segítségével végzett gyérítése. Ez nem lehet reális alternatíva a Tófürdőben, de arra érdemes lenne felkészülni, hogy a felszínre úszó algapamacsokat valaki naponta összegyűjtse (összepszívózza) és eltávolítsa, ezáltal a tó külleme jelentősen kedvezőbbé válna.

2. Ultrahangos gyérítés. Egészen új eljárás, még kevés referenciával. Környezetbarát és viszonylag kevés energiát igénylő módszer, sajnos éppen a nagytestű algák és hínárnövények esetében hatástalan. A mikroszkópikus, lebegő algák mennyiségét sikerült néhány mesterséges tóban csökkenteni ezzel a módszerrel, sajnos (szerencsére!!) ezek nem élnek a Tófürdőben.
3. A víztest árnyékolása. Hatékony és garantált eredményt hozó módszer. Többféle változata létezik a Tófürdő méretét jelentősen meghaladó víztestek esetében is. A meder körül ültetése magasnövécsű fákkal elterjedet gyakorlat és részleges hatása is van. A vízfelszín lefedése sötét színű fóliával vagy üvegszál textiliával tökéletes megoldás. Nagyobb felület esetén szellemes és hatékony megoldás sötét színű labdákkal fedni a vízfelszínt. Kisebb léptékben a vízmű üzemcsarnokok ablakainak zöld üvegezése is algagátlást szolgál, ugyanis csak a fotoszintézis szempontjából legkevésbé hatékony hullámhosszú zöld fényt engedi át! Egyértelmű, hogy ezen megoldások egyike sem lehet alternatíva a Tófürdő esetében.
4. Algagátló és algaölő kemikáliák használata. Nagyon sokféle ilyen anyag létezik a legtradicionálisabb rézszulfátos kezeléstől a különféle szintetikus vegyületekig. Ezek manapság nagyon elterjedtek a kerti tavak sokasodása következtében. A Tófürdő esetén tekintettel a folyamatos és nagymértékű vízcserére a módszer egyrészt nagyon nagy mennyiségű kemikáliát igényelne, ami tetemes költséggel járna, ráadásul ez az anyag folyamatosan "szennyezn" a befogadó vízfolyást és károsítaná annak természetes élővilágát, ezt a megoldást semmiképpen nem javasolnám.
5. Napjainkban Magyarországon is árulnak tavak vízminőségének javítására különféle elegyes baktériumkultúrákat. Ezek hatékonyságáról egyrészt még hiányoznak a szükséges referenciák, másrészt ezekre fokozottan érvényesek a kemikáliák kapcsán tett megállapítások.
6. Növényevő halakkal való gyérítés. Az amúr (*Ctenopharyngodon idella*) ez a távolkeletről származó halfaj világszerte használatos a fonalas algák, a csillárkamoszatok, az alámerült hínárnövények sőt a nádasok kontrolljára. Jól bevált technológia, telepítésére különböző vízterek esetén kidolgozott metódusok vannak. Megfontolandó lehet a Tófürdő esetén akár csak kísérleti jellegű alkalmazása. Ha az állomány elfogyaszotta a rendelkezésre álló növényzetet akkor szükség lenne áthelyezésükre és időről időre való visszatelepítésükre egy partner halgazdaságból/halastóból. Kérdéses, azonban, hogy ez mennyiben tenné lehetővé a fürdőként való használatot!
7. A foszforterhelés csökkentése. A tavak elnövényesedése/algásodása ellen világszerte egy hatékony megoldás van a külső foszforterhelés csökkentése. Erre szolgálnak a harmadik un. kémiai fokozattal (foszforleválasztással) ellátott szennyvíztisztító berendezések. Többek között a Balaton vízgyűjtőjén már mindenütt ilyen berendezések működnek. A Tófürdőt tápláló karsztforrás vizében a foszforkoncentrációt nem lehet csökkenteni, egyébként mint láttuk az egyébként is nagyon alacsony. Nem is a koncentráció, hanem a folyamatos áramlás és utánpótlás a probléma. A folyamatos utánpótlást kellene csökkenteni a tartózkodási idő sokszorosára való növelésével (nem helytállóak azok a vélekedések miszerint "a folyamatos vízcserre kizárja az algaképződés lehetőségét", ellenkezőleg elősegíti azt). Ha a feltörő forrás vizét körbe lehetne zárni és direkt kivezetni a tóból, abban csak a szivárgásból és párolgásból eredő veszteséget pótolnánk és esetleg hetente lecserélnénk a vizét megszűnne a nagymértékű algásodás problémája.

## Összefoglalás

A 2280 m<sup>2</sup> felületű Bodajki Tófürdőt tiszta vizű karsztforrás táplálja, amelyben az algaszaporodást szabályozó kritikus oldott tápelem a foszfor (PO<sub>4</sub>-P) koncentrációja a kimutatási határ közelében van 8-10 mikrogramm literenként. Ebben a növényi tápanyagban nagyon szegény vízben a tófenéken nagytömegű fonalas zöldalga (*Spirogyra sp.*) és hínárszerű megjelenésű csillárkamoszat (*Chara*) terem, amelyek burjánzása lehetetlenné teszi a Tófürdő rekreációs célú használatát és rontja a tó esztétikai megjelenését, szerencsére az emberi egészséget károsító anyagcseretermékek nincsenek. A folyamatos vízáramlás, a naponkénti vízcseré annak alacsony tápelemkoncentrációja ellenére állandó tápanyag utánpótlást jelent az algák és a hínárok számára, így jön létre a nemkívánatos zöld algatömeg a Tófürdő medrében.

A probléma megszüntetésére a lehetséges megoldások közül az ultrahangos gyérítés nem lehet hatásos, mert a makroalgák erre a kezelésre nem reagálnak. A meder árnyékolása/lefedése nem lenne összeegyeztethető a tó funkciójával. Az algagátló kemikáliák használata a folyamatos vízcseré miatt nem jöhet szóba, ugyanez vonatkozik a mikrobiális kultúrákkal való kezelésre.

A mechanikai tisztítás gépi úton annak speciális eszközigénye és magas költsége mellett nem lehet reális alternatíva. Mindenesetre a felszínre felúszó algapamacsok kézi úton való folyamatos eltávolítása javíthatná a tó esztétikai megjelenését.

Növényevő halakkal, amúrral (*Ctenopharyngodon idella*) való gyérítés világszerte használatos a fonalas algák, a csillárkamoszatok, az alámerült hínárnövények sőt a nádasok kontrolljára. Kísérleti alkalmazása javasolható, de valószínűleg nem jelent végleges megoldást.

A folyamatos foszforterhelés csökkentése a megoldás. A Tófürdőt tápláló karsztforrás vizében a foszforkoncentrációt nem lehet csökkenteni, egyébként mint láttuk az egyébként is nagyon alacsony. Nem is a koncentráció, hanem a folyamatos áramlás és utánpótlás azaz a folyamatos terhelés a probléma. A folyamatos utánpótlást kellene csökkenteni a tartózkodási idő sokszorosára való növelésével (nem helytállóak azok a vélekedések miszerint "a folyamatos vízcseré kizárja az algaképződés lehetőségét", ellenkezőleg elősegíti azt!). Ha a feltörő forrás vizét körbe lehetne zárni és direkt kivezetni a tóból, abban csak a szivárgásból és párolgásból eredő veszteséget pótolnánk és esetleg hetente lecserélnénk a vizét megszűnne a nagymértékű algásodás problémája.

Bármely beavatkozás megtervezéséhez szükség lenne a tó algáinak, ökológiai állapotának és a forrás vízhozamának monitorozására, legalább évszakonkénti vizsgálatára.

## A felhasznált adatok forrásai

Kerék J. (2015): Bodajki tófürdő vízgazdálkodásának felülvizsgálata, szakvélemény. VIZ-KJ Vízgazdálkodási Tervező Vállalkozás, Székesfehérvár. KJ-05A/2015.

Kerék J. (2015): Bodajki tófürdő módosított üzemeltetési szabályzata. VIZ-KJ Vízgazdálkodási Tervező Vállalkozás, Székesfehérvár. KJ-05B/2015.

Csonki I. (2012): Bodajk város hidrogeológiai problémáinak kezelése. Közép-Dunántúli Vízügyi igazgatóság. Szfvár-0548-0001/2012.