

Ács Éva,¹ Bíró Tibor,² Béres Deák László,³
Duleba Mónika,⁴ Grigorszky István,⁵ Kiss Keve Tihamér,⁶
Németh Zoltán,⁷ Papp András,⁸
Vadkerti Edit⁹

Alkalmas-e a kavitációs vízkezelés az algavirágzások csúcsainak letörésére?¹⁰

Is Cavitation Water Treatment Suitable
for Breaking the Peaks of Algal Blooms?

Absztrakt

Egy kísérleti kavitációs berendezés tervezésével, létrehozásával és kisüzemi alkalmazásával a szennyezett vizek egyik lehetséges tisztítási módját vizsgáltuk. A kísérleti berendezés mobil kivitelű, és alkalmas különböző szennyezettségű vizek tisztítására. Bemutatjuk a kavitáció hatását különböző mikroszkopikus méretű élőlényekre. Először egy hígított zöldalgatenyészetet vizsgáltunk, megállapítottuk, hogy 16–32 perces kavitáció több mint 10–20%-kal csökkenti a klorofillkoncentrációt és az ép sejtek arányát. Biológiaiag bontható szennyvízzel kevert algás halastóvízben, kavitáció hatására a cianobaktériumok, ostoros

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem VTK Vízellátási és Csatornázási Tanszék, e-mail: acs.eva@uni-nke.hu

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem VTK Vízépítési Tanszék, e-mail: biro.tibor@uni-nke.hu

³ GAMMA ANALCONT Kft., e-mail: beresdeak@gmail.com

⁴ Nemzeti Közszolgálati Egyetem VTK Vízellátási és Csatornázási Tanszék, e-mail: duleba.monika@uni-nke.hu

⁵ Debreceni Egyetem TTK Hidrobiológia Tanszék, e-mail: grigorszky.istvan@science.unideb.hu

⁶ Nemzeti Közszolgálati Egyetem VTK Vízellátási és Csatornázási Tanszék, e-mail: kiss.keve.tihamer@uni-nke.hu

⁷ GAMMA ANALCONT Kft., e-mail: info@gammaanalcont.hu

⁸ GAMMA ANALCONT Kft., e-mail: info@gammaanalcont.hu

⁹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem VTK Vízellátási és Csatornázási Tanszék, e-mail: vadkerti.edit@uni-nke.hu

¹⁰ A kutatásokat a K-KFI-16-1-2017 0159558 számú projekt támogatta, a Hernád hullámterében elvégzett hor-
gásztavi vizsgálatokat pedig a Széchenyi Terv Plusz RRF-2.3.1-21-2022-00008 program keretében végeztük.

algák mennyisége 40–80%-kal csökkent, a zöldalgáknál minimális volt a csökkenés. Ezeknél a méréseknél síkszelepes, nagynyomású kavitációgenerátort alkalmaztunk. Bizonyítottuk, hogy a hajók ballasztvize és a szennyvizek mikrobiótája mennyiségének csökkentésére a kavitációs vízkezelés ígéretes megoldásnak tekinthető, de figyelemmel kell lenni arra, hogy csak elpusztul a mikrobióta, de nem tűnik el a vízből.

Kulcsszavak: kavitáció, vízkezelés, algatenyészet, halastóvíz, szennyvíz, ballasztvíz

Abstract

An experimental cavitation equipment was designed, built and applied on a small scale to investigate a possible method of purifying contaminated water. The experimental unit is mobile and suitable for the purification of water with different contaminations. The effect of cavitation on organisms of different microscopic sizes is demonstrated. First, a diluted culture of green algae was tested and it was found that 16–32 minutes of cavitation reduced chlorophyll concentration and intact cell percentage by more than 10–20%. In fishpond water mixed with biodegradable wastewater, cavitation reduced cyanobacteria and flagellate algae by 40–80%, with minimal reduction in green algae. For this purpose a flat type HP cavitation generator has been used. Evidence has been provided that cavitation water treatment is a promising solution for reducing the microbiota in ships' ballast water and wastewaters, but care must be taken to ensure that the microbiota is only destroyed, but not removed from the water.

Keywords: cavitation, water treatment, algae cultivation, pond water, wastewater, ships' ballast water

Bevezetés

Az élővizek szennyezése és a szennyező anyagok eltávolítása korunk egyik legnagyobb problémája. Jelen kutatásunk eredményeképp a természetes vizekben, szennyezett vizekben, szennyvizekben élő, ott elszaporodó, túlnyomórészt mikroszkopikus méretű élőlények eltávolításának, mennyiségük csökkentésének egyik lehetséges módját, a kavitációs vízkezelés eredményességét mutatjuk be.

A felszíni vizekben, ha azok jó ökológiai állapotúak, mikroszkopikus méretű élőlények nem szaporodnak el olyan mértékben, hogy az kedvezőtlen lenne a vízi élőlény-együttesek vagy a vízhasználat szempontjából. Ha a vízben a növényitápanyag-kínálat (N, P) nagy, az első lépésként a fitoplankton gyors szaporodását eredményezheti, vízirágzások alakulhatnak ki. Ezeket esetenként toxikus cianobaktériumok okozhatják, mint ahogy a Balatonon,¹¹ a Velencei-tóban¹² is előfordult. Hasonló vízvirágzások folyóvizek mellékágaiban, horgászvizekben, halastavakban is gyakoriak.¹³

¹¹ VÖRÖS 2019.

¹² RESKÓNÉ NAGY – TÖRÖKNÉ KOZMA 2000: 554–557.

¹³ VASAS 2011: 107–109.

Nagy egyedszámú mikrobióta (baktériumok, egysejtű eukarióták és többsejtű mikroszkopikus élőlények) jellemzi a szennyvizeket, legyenek akár nagyvárosi, kis-települési, vagy akár egy-egy lakóházhoz tartozó szennyvíztisztítók elfolyó tisztított szennyvizei.

Az utóbbi években került az érdeklődés homlokterébe a mikrobák és egyéb kisebb élőlények, vagy azok szaporító képleteinek eltávolítása a hajók ballasztvizéből. A ballasztvíz a hajó egyensúlyának biztosítására szolgál, kirakodáskor feltöltik a hajó tartályait jellemzően tengervízzel, amely persze rengeteg mikrobát és tengeri élőlényt tartalmaz. Ezek a többnapos vagy többhetes út során nagymértékben elszaporodnak, majd a fogadó kikötőben a ballasztvízzel együtt kijutnak a vízbe a világ egy másik pontján. Az új környezetben a behurcolt élőlények jelentős része invazív fajként elszaporodhat és megváltoztathatja az élővilág összetételét.¹⁴ Ezek eltávolításának, ártalmatlanná tételének egyik ígéretes lehetősége a kavitáció alkalmazása a ballasztvíz kieresztésekor.

Dular és szerzőtársai (2016) hidrodinamikus kavitációval végzett kísérletek során elsősorban gyógyszerek (klofibrinsav, ibuprofén, ketoprofén, naproxén, diklofenák, karbamazepin), mérgező cianobaktériumok (*Microcystis aeruginosa*), zöld mikroalgák (*Chlorella vulgaris*), baktériumok (*Legionella pneumophila*) és vírusok (*Rotavírus*) vízből és szennyvízből való eltávolítására fektették a hangsúlyt. Megállapították, hogy a hidrodinamikus kavitáció rutin víztisztítási módszerként való alkalmazásához még hosszú az út, de a közelmúltban elért eredmények reményt keltők arra, hogy alacsony energiafogyasztású víz- és szennyvíztisztítási módszert lehessen kidolgozni.¹⁵ Song és szerzőtársai (2022) véleménye szerint a kavitációt a szennyvíztisztításban is fel lehet használni, ahol a kavitáció termikus, mechanikus és kémiai hatása egyaránt hasznosul a szerves anyagok lebontása során.¹⁶

Wu és szerzőtársai (2012) toxikus cianobaktérium-sejtek (*Microcystis aeruginosa*) eltávolítására hidrodinamikus kavitációs kezelést alkalmaztak, ózonnal kombinálva. Azt tapasztalták, hogy kavitációval az algasejtek 15%-át, ózonos kezeléssel 35%-át sikerült eltávolítani.¹⁷ Hidrodinamikus kavitáció és ózonozás kombinált alkalmazásával 99%-os hatásfokot értek el. Jelentősen eltérő célú alkalmazási lehetőség például a mikroalgákból származó bioaktív anyagok kinyerése kavitáció segítségével.¹⁸

A kutatás során vizsgált kavitációs berendezés a fenti példákban szereplő mikrobióta szaporodásának csökkentését, eltávolítását teszi lehetővé. Ilyen kis méretű, a kutatásunk során jól használható és hatékony berendezés tervezése, megépítése és kisüzemi tesztelése is részét képezte munkánknak. A mérések során síkszelepes kavitátort és hidrodinamikus (Venturi-elven működő) kavitációs berendezést használtunk.

A kutatás során arra kerestük a választ, hogy 1. az általunk tervezett kis méretű kavitációs berendezés a kísérleti üzemeltetés során hatékonyan működtethető-e; 2. zöldalga- (*Chlorococcales*) tenyészetekben sikeresen csökkenthető-e az algák

¹⁴ CARLTON–GELLER 1993: 78–82.

¹⁵ DULAR et al. 2016: 577–588.

¹⁶ SONG 2022: 302–320.

¹⁷ WU et al. 2012: 152–158.

¹⁸ MITTAL–RANADE 2023: 1129–1161.

mennyisége, szaporodása kavitációs kezeléssel; 3. biológiailag bontható szennyvízzel kevert algás halastóvízben csökkenthető-e az algák mennyisége kavitációs kezeléssel; 4. alkalmas-e a kavitációs vízkezelés az algavirágzások csúcseinak letörésére.

A kísérleti kavitációs berendezés bemutatása

A kavitáció klasszikusan egy csatornában való folyadékáramlásban lép fel akkor, ha a nyomás esése következtében, jelenleg a kezelendő víz, folyadékfázisból hirtelen gázfázisba megy át. Ezt nevezzük hidrodinamikus kavitációnak. A buborékképződés jelensége a folyadékban akkor lép fel, amikor az áramlás egy adott pontjában a nyomás olyan mértékben csökken, hogy eléri az adott folyadék hőmérsékletéhez tartozó telített vízgőz nyomásának értékét. A folyadék ekkor forrni kezd és a buborékképződés miatt gőz- és folyadékfázis heterogén keveréke lesz. A buborékban uralkodó nyomást a buborék mérete és a folyadék-gőz felületén fellépő felületi feszültség határozza meg.

Az így létrejött többfázisú áramlás viselkedése lényegesen eltér a tiszta folyadék esetén várható áramlástól, a folyadék „tejszerű” lesz, gőzzel teli buborékok tömege, esetleg gőzzel telt üreg jelenik meg. A gőzös kavitációnak van roncsoló hatása.¹⁹ Felismerve azt, hogy a kavitációnak nemcsak hátránya, hanem előnye is lehet, a kutatók többféle módszert, illetve szerkezetet (kavitációgenerátort) dolgoztak ki abból a célból, hogy a folyamatot kézben lehessen tartani és intenzitását szabályozni.²⁰ Több berendezés kipróbálása után egy Venturi típusú kavitátort valósítottunk meg. Szabad és nyílt forráskódú GNU/GPL licensszel rendelkező szoftverrel (Open Source Field Operation and Manipulation) végeztük a kavitációs szimulációkat különböző Venturi-cső-keresztmetszetek esetére. Azt kaptuk, hogy a Venturi legszűkebb keresztmetszetének 31 mm-nek kell lennie, a belépő szűkítő dőlésszöge 22°, a kilépőoldali szűkítő dőlésszöge 10°, és 700 liter/perc szállítóteljesítmény mellett be fog indulni a kavitáció.

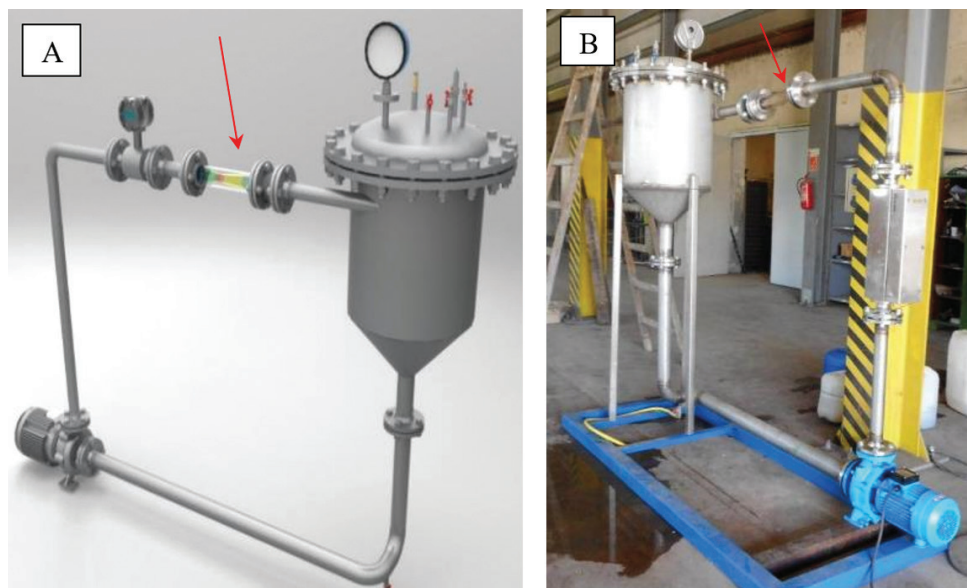
Tervezésekor fontos szempont volt, hogy a berendezés egyszerű kialakítású rendszer legyen, a rendszerben található szűkítő cserélhető legyen, és különböző geometriák tesztelésére adjon lehetőséget, amennyiben kedvező mérési eredményeket kapunk, egyszerűen adaptálható legyen különböző tartályokba, víztárolókba, önhordó szerkezetű legyen. A berendezés 200 liter folyadékkal tölthető fel.²¹

A berendezés frekvenciaváltóval van ellátva, amellyel az áramlás intenzitását szabályoztuk. Emellett fontos szempont volt, hogy a berendezés, legalább bizonyos mértékek között, de mobilis legyen, tehát saját kerekeivel gurítható, és amennyiben szükség van rá, átmenetileg fixálható (1. ábra).

¹⁹ KÖNÖZSY 2000.

²⁰ PROMPTOV 2017.

²¹ NÉMETH 2018.



1. ábra: A: a kavitációs berendezés 3D modellje, B: a kísérleti kavitációs berendezés
Forrás: a szerzők szerkesztése

Anyag, módszer

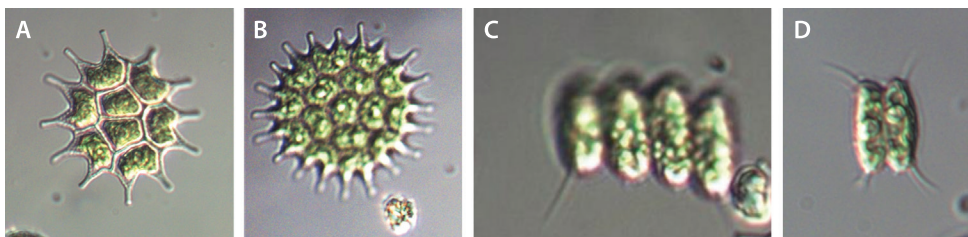
A Venturi-elven működő kavitációgenerátoron a szennyvizet folyamatosan keringettük, és 1, 2, 3, 4, 8, 16 és 32 percnyi kavitálás után vettünk mintát, 12,5–50 Hz kavitációs frekvencia alkalmazásával (16 perctől az 50 Hz-cel). Minden minta esetében a laboratóriumban BBE AlgaeLabAnalyser műszerrel klorofillkoncentráció- (összes klorofill, aktív klorofill) és BBE TenCells műszerrel sejtszám-meghatározást végeztünk, mintánként 3 ismétlésben. Emellett fordított rendszerű fénymikroszkóppal (OLYMPUS IX71) számláló-ülepítő kamrában megvizsgáltuk az algák morfológiai változását, esetleges pusztulását is. Az algasejtekről fényképeket készítettünk a sérülés mértékének, módjának demonstrálására.

Eredmények

Kavitációs kísérletek zöldalgatenyésztéssel

A kavitációs kísérleteknél fontosnak tartottuk, hogy olyan mikroorganizmusokkal végezzük azokat, amelyek tavakban, folyókban, azok mellékágaiban, horgászvizekben, szennyezett vizekben élő szervezetek.

Először olyan hígított zöldalgaanyagcsalékkal végeztük a kísérleteket, amelyek természetes vizekben gyakori fajokat tartalmaznak. Ebben a *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini 8, illetve 16 sejtes a *Desmodesmus spicatus* W. & G.S. West 2, illetve 4 sejtes cönóbiomokat (sejtcsoportok – ezeket tekintjük egy-egy individuumnak) alkotott (2. ábra, A)–D) fénymikroszkópos felvételek). A hígított algaanyagcsalékban a két faj egyedszáma 10 500 ind/ml volt. Ezzel töltöttük fel a kavitációs berendezés tartályát, a kavitációt 32 percen keresztül végeztük, s közben 1, 2, 4, 8, 16, 32 perckor mintákat vettünk klorofill- és fénymikroszkópos vizsgálatra.

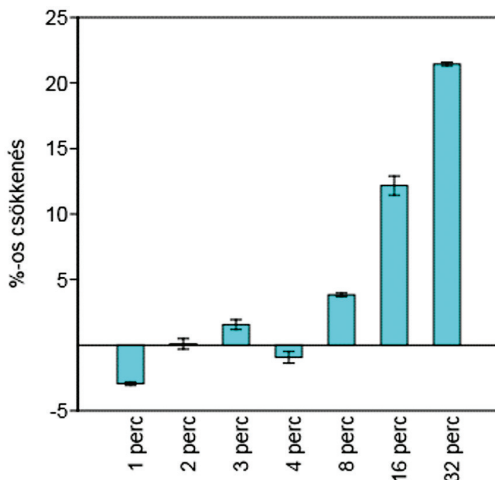


2. ábra: Hígított zöldalgaanyagcsalékból készült fénymikroszkópos felvételek (kavitáció előtt) A) 8 sejtes *Pediastrum* cönóbiom; B) 16 sejtes *Pediastrum* cönóbiom; C) 4 sejtes *Desmodesmus* cönóbiom; D) 2 sejtes *Desmodesmus* cönóbiom

Forrás: a szerzők felvételei

Algapigment-vizsgálatok

Az algapigment-vizsgálat eredménye alapján elmondható, hogy 32 perces kavitáció már számottevően csökkenti a tenyészetben az algák mennyiségét (3. ábra).

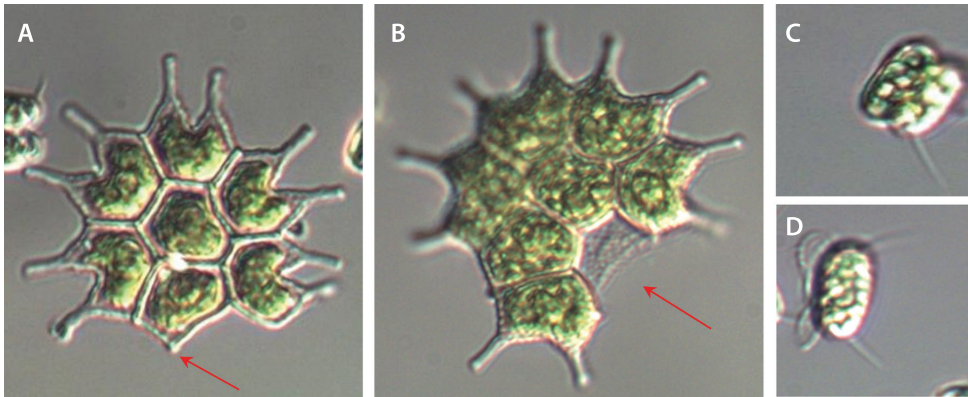


3. ábra: A tenyészet összklorofill-koncentrációjának százalékos változása a kavitáció előtti koncentrációkhoz viszonyítva a kavitálás során (kavitációs idő percben)

Forrás: a szerzők szerkesztése

Fénymikroszkópos algológiai vizsgálatok

A fénymikroszkópos algológiai vizsgálatok bizonyították (8, 16, 32 perces kavitáció után vizsgáltuk a mintákat és készítettünk képeket), hogy 8 perc után a *Pediastrum* cönóbiomok túlnyomó része ép. Az osztódás alatt álló telepek aránya nem változott. A telepek 5%-ánál mechanikai sérülést figyeltünk meg, ahol a széli sejteken vagy a külső nyúlvány tört le (vagy sérült – 4. ábra, A) kép), vagy a külső sejtek ívéből 1-3 sejt üres és/vagy törött sejtfalú volt (4. ábra, B) felvétel). A *Desmodesmus* cönóbiomok 50%-a 4 sejtés volt, közel 50% pedig 2 sejtés (ez arra utal, hogy a kavitációs erők hatására a 4 sejtés cönóbiomok egy része kettétört – 4. ábra, C) felvétel). Az ép cönóbiomok között már néhány sérült volt (a cönóbiom széli sejtjének sejtfa sérült és üres – D. felvétel).

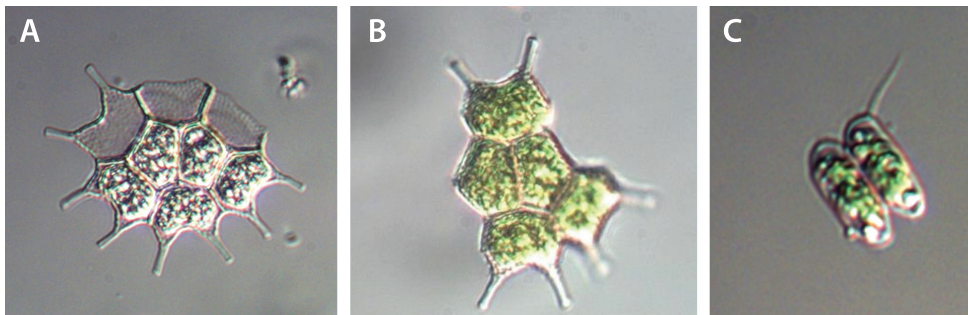


4. ábra: Hígított zöldalgatenyészetből készült fénymikroszkópos felvételek 8 perces kavitáció után (további magyarázat a szövegben)

A) felvétel: sérült *Pediastrum* sejt; B) felvétel: üres *Pediastrum* sejt; C–D) felvétel: sérült *Desmodesmus* cönóbiom

Forrás: a szerzők felvételei

16 perc kavitáció után a *Pediastrum* cönóbiomok túlnyomó része még ép. Az osztódás alatt álló telepek aránya nem változott. A telepek ~8%-ánál mechanikai sérülést figyeltünk meg, ahol a külső sejtek ívéből 2-3 sejt üres és/vagy törött sejtfalú volt (5. ábra, A) felvétel), vagy a széli sejtek egy része letört a cönóbiumból (5. ábra, B) felvétel). A *Desmodesmus* cönóbiomok 40%-a 4 sejtés volt, közel 60% pedig 2 sejtés. Az ép cönóbiomok között ~2%-nál mechanikai sérülést figyeltünk meg (a cönóbiomok széttöredeztek, a széli sejtek tuskéje sérült, 5. ábra, C) felvétel).



5. ábra: Hígított zöldalगतenyészetből készült fénymikroszkópos felvételek 16 perces kavitáció után (további magyarázat a szövegben)

A) felvétel: sérült külső *Pediastrum* sejtek; B) felvétel: sérült *Pediastrum* cönóbiom; C) felvétel: sérült *Desmodesmus* cönóbiom

Forrás: a szerzők felvételei

32 perc kavitáció után a *Pediastrum* cönóbiomok nagyobb része még ép. Az osztódás alatt álló telepek aránya nem változott. A telepek ~10%-ánál mechanikai sérülést figyeltünk meg, ahol a széli sejteken vagy a külső nyúlvány tört le (vagy sérült), vagy a külső sejtek ívéből 2-3 sejt üres és/vagy törött sejtfa volt. A 16 sejtes telepek között volt olyan, ahol a telep sejtjeinek harmada-fele sérült (6. ábra, A)–C) felvételek). A *Desmodesmus* cönóbiomok 20%-a 4 sejtes volt, közel 80% pedig 2 sejtes. Az ép cönóbiomok között ~7%-nál mechanikai sérülést figyeltünk meg, sérült volt a cönóbiom széli sejtjének sejtfa, és üres.



6. ábra: Hígított zöldalगतenyészetből készült fénymikroszkópos felvételek 32 perces kavitáció után (további magyarázat a szövegben)

A) felvétel: sérült *Pediastrum* cönóbiomok; B) felvétel: sérült *Pediastrum* cönóbiom; C) felvétel: üres *Desmodesmus* sejt

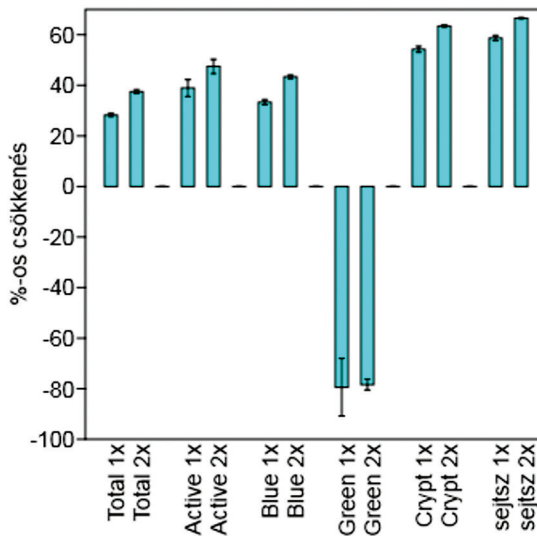
Forrás: a szerzők felvételei

Kavitációs kísérletek halastóvíz-szennyvíz „keverékkel”

A zöldalgatenyésztéssel végzett kísérleteket követően egy jellegzetes élővíztípussal, halastóvízzel folytattuk kutatásainkat. Ebben az esetben a Kaposvár térségéből származó halastóvizet a Kométa gyár (Kaposvár) üzemének nagy baktériumtartalmú szennyvizével kevertük 50-50%-ban és ezt egy- és kétszeres kavitációval kezeltük, síkszelepes kavitátorral. A kezeltetlen mintákat, valamint az egyes kavitációs fázisok végén gyűjtött mintákat vizsgáltuk.

Algapigmentmérések

Az algapigment-vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy a zöldalgák (Green) kivételével a többi vizsgált csoportra hatással volt a kavitáció, az érzékenyebb Cryptophyta (Crypt) csoportra nagyobb mértékben (7. ábra).

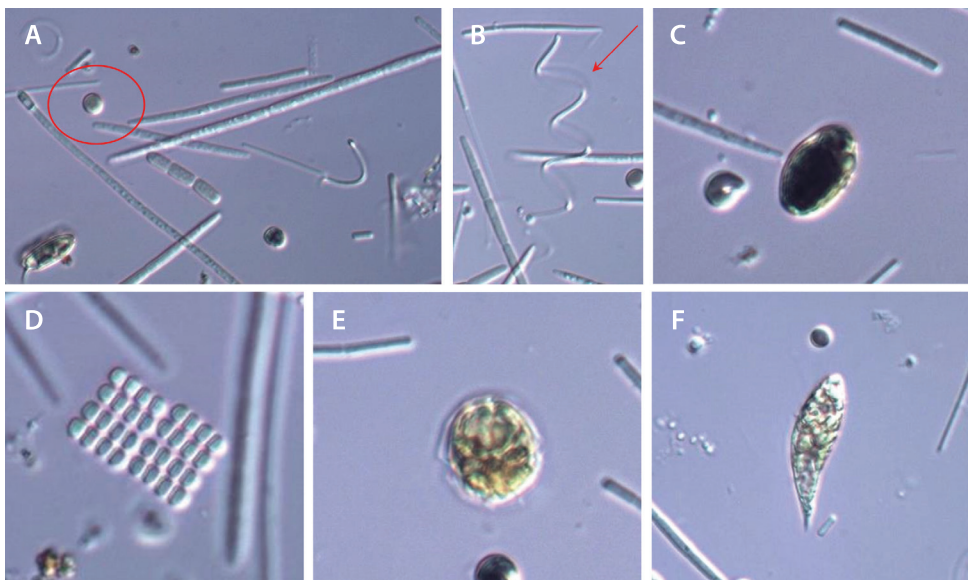


7. ábra: A halastóminták algapigment-koncentrációjának és -sejtszámának százalékos változása a kavitáció előtti koncentrációkhoz viszonyítva egyszeres és kétszeres kavitálás után (Total: összklorofill-koncentráció, Active: aktív algák összklorofill-koncentrációja, Blue: cianobaktériumok, Green: zöldalgák, Crypt: Cryptophyta és Dinophyta algák pigmentkoncentrációja, sejtsz: a minta sejtszáma 1x: egyszeres, 2x: kétszeres kavitáció)

Forrás: a szerzők szerkesztése

Fénymikroszkópos algológiai vizsgálatok

A kezeletlen, túlnyomórészt halastóvizet tartalmazó mintában legnagyobb számban cianobaktériumok (*Cyanobacteria*), kisebb mennyiségben zöldalgák (*Chlorophyceae*) voltak, és rendszeresen találtunk ostorosalgafajokat (Cryptophyta – *Cryptomonas*, Dinophyta – *Peridinium*, Euglenophyta – *Euglena*). A cianobaktériumok között egysejtű, kis sejtszámú telepes és fonalas alakok fordultak elő. A fonalas fajok 20-100 µm hosszú, egyenes vagy spirális fonalakat alkottak (8. ábra, A)–B) felvétel). A többi csoportba tartozó algafaj egysejtű volt, illetve 4, 8, 16 sejtes cönóbiumot alkotott (8. ábra, C)–F) felvételek).

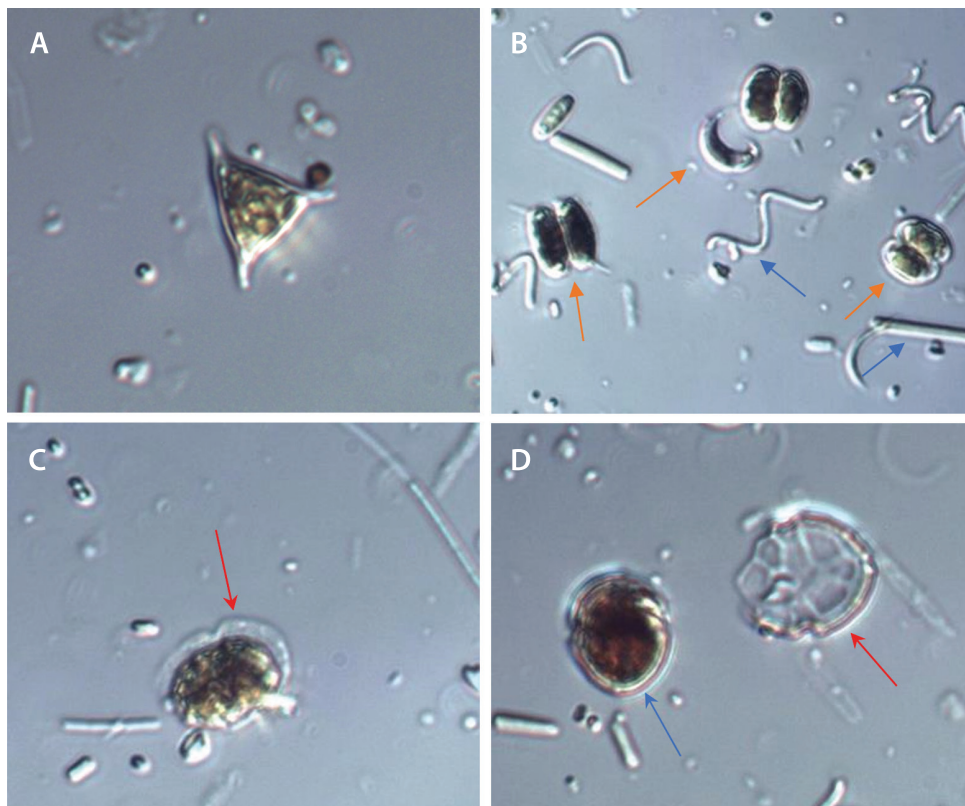


8. ábra: Kezeletlen halastavi mintából készült fénymikroszkópos felvételek (további magyarázat a szövegben)

A) felvétel: rövidebb-hosszabb fonalas, bal oldalon egy nagyobb kerek cianobaktérium-sejt (piros kör); B) felvétel: középen egy spirális cianobaktérium-fonál (piros nyíl); C) felvétel: ovális alakú *Cryptomonas* sejt; D) felvétel: 32 sejtes cianobaktérium-telep; E) felvétel: kerekded *Peridinium*; F) felvétel: fűzfalevél alakú *Euglena*

Forrás: a szerzők felvételei

Az 1-szeres és 2-szeres kavitáció hatása hasonló volt, de a második esetben nagyobb volt a roncsolódott sejtek aránya. Mind az egyenes, mind a spirális cianobaktérium-fonalak széttöredeztek, bár ez utóbbiak kevésbé. A Dinophyta sejtek cellulóz páncélja széttört (összetett szerkezetű sejtfal – 9. ábra, C)–D) felvételek), benne a sejtek elpusztultak, egyes esetekben még benne maradtak a törött páncélban, más esetekben kiszabadultak abból és teljesen szétestek. A Cryptophyta és Euglenophyta sejtekkel ugyanez történt. A zöldalgasejtek többségükben épek maradtak (9. ábra, A)–B) felvételek).



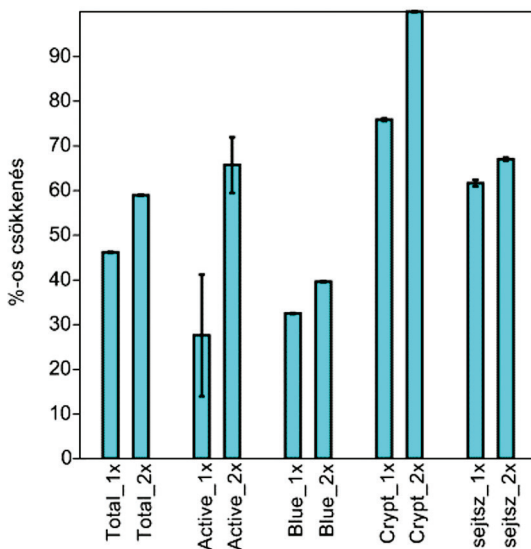
9. ábra: Kavitációval kezelt halastavi mintából készült fénymikroszkópos felvételek (további magyarázat a szövegben)

A) felvétel: Tetradon zöldalgasejt épen maradt; B) felvétel: ép Chlorococcales (piros nyíl) és cianobaktérium-sejt (kék nyíl); C) felvétel: Peridinium sejt félig levált páncélja; D) felvétel: egy ép Peridinium sejt (kék nyíl) és külön egy letört páncél (piros nyíl)

Forrás: a szerzők felvételei

Halastóvízzel hígított csirkefarmi szennyvíz vizsgálatai

A halastavi mintával hígított csirkefarmi szennyvízmintában BBE AlgaeLabAnalyser és BBE TenCells műszerrel kimutatható mennyiségben cianobaktériumok és Cryptophyta divízióba tartozó algák voltak. A mérési eredmények alapján jól látszik, hogy már az 1-szeres kavitáció jelentősen csökkentette a klorofillkoncentrációt, ez 2-szeres kezeléssel 60% fölé emelkedett. A cianobaktériumok mennyiségének csökkenése 30–35%-os volt, a Cryptophyta fajok esetében ez 1-szeres kavitáció után 70% volt, 2-szeres kavitációt követően megközelítette a 100%-ot (10. ábra).



10. ábra: Halastó vizével hígított csirkefarmi szennyvízminták algapigment-koncentrációjának és -sejtszámának százalékos változása a kavitáció előtti koncentrációkhoz viszonyítva egyszeres és kétszeres kavitálás után

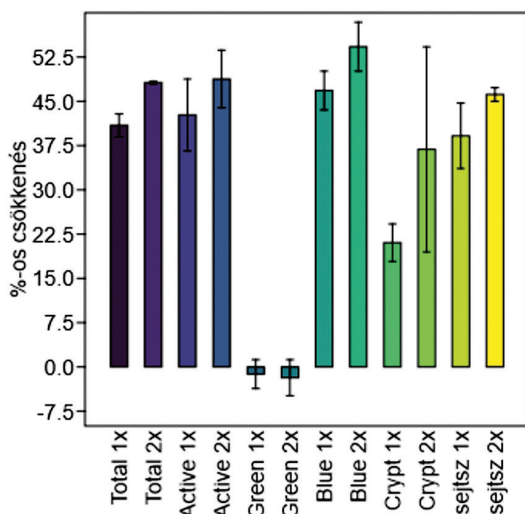
(Total: összklorofill-koncentráció, Active: aktív algák összklorofill-koncentrációja, Blue: cianobaktériumok, Crypt: Cryptophyta és Dinophyta algák pigmentkoncentrációja, 1x: egyszeres kavitáció, 2x: kétszeres kavitáció)

Forrás: a szerzők szerkesztése

Aranykavics-horgászto

A Hernád 97-98-as folyókilométer jobb parti szelvényében található Aranykavics-horgásztóból gyűjtött mintákban vízszíneződést okozott a fitoplankton, amelyben a cianobaktériumok domináltak (*Aphanizomenon* és *Pseudolyngbya* spp.). Mellettük néhány Cryptophyta (*Cryptomonas*, *Chroomonas*) faj volt említésre méltó mennyiségben, a Chlorococcales (*Desmodesmus*) mennyisége elenyésző volt.

A horgásztavi mintában a BBE AlgaeLabAnalyser és BBE TenCells műszerrel kimutatott klorofill- és sejtszámértékek alapján jól látszik, hogy már az 1-szeres kavitáció is számottevően csökkentette a klorofillkoncentrációt és a sejtszámot, ami 2-szeres kezeléssel tovább csökkent (11. ábra). A cianobaktériumok mennyiségének csökkenése volt a legnagyobb, 50% fölötti, ezt követte a Cryptophyta fajoké, a zöldalgákra gyakorlatilag hatástalan volt, ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a *Desmodesmus* fajok sejtfa- la erős fölépítésű.



11. ábra: Az Aranykavics-horgászto vize algapigment-koncentrációjának és -sejtszámának százalékos változása a kavitáció előtti koncentrációkhoz viszonyítva egyszeres és kétszeres kavitálás után (Total: összklorofill-koncentráció, Active: aktív algák összklorofill-koncentrációja, Green: Chlorophyceae, Blue: cianobaktériumok, Crypt: Cryptophyta és Dinophyta algák pigmentkoncentrációja, 1x: egyszeres kavitáció, 2x: kétszeres kavitáció)

Forrás: a szerzők szerkesztése

Összegzés

Egy Venturi típusú kísérleti kavitációs berendezés tervezésével, létrehozásával és kisüzemi alkalmazásával a szennyezett vizek egyik lehetséges tisztítási módját vizsgáltuk. Kísérleteink eredményei azt mutatták, hogy a kavitációs kezelés kimutatható mértékben roncsolja a vizsgált vízi szervezeteket, azonban az egyes élőlénycsoportokra ugyanolyan mértékű kavitációs kezelés más-más mértékben hat. Megállapítható, hogy a mikroszkópos megfigyelés fontos kiegészítője a kezelések hatása vizsgálatának, de a hatékonyság megállapítására a vízi szervezetek mennyiségi detektálására van szükség. Az eddigi kezeléseknél még nem tudjuk azt mondani, hogy 100%-ban elpusztítja a kavitáció a vízi szervezeteket, azonban az eredmények biztatók, a kísérletek folytatása szükséges. Az előzetes eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a kavitáció erősségének a fokozása hatékonyabb, mint a kavitációs idő növelése. Ugyanakkor figyelemmel kell lenni arra a megállapításra, hogy az egyes élőlénycsoportok eltérő mértékben károsodnak. Az eddigi eredmények alapján nem lehet általánosítani, és csak óvatos következtetéseket szabad levonni. A jövőben mindenképpen érdemes volna megvizsgálni a spórákat, petéket, cisztákat, egyéb szaporító és áttelelő képleteket tartalmazó mintákat is. Nem szabad elfelejtenünk arról a tényről, hogy a kavitáció hatására csak elpusztul a mikrobióta, de anyagai nem tűnnek el a vízből, emiatt az algavirágzások csúcseinak letörésére a módszer nem alkalmas. Ugyanakkor viszont, mivel képes elpusztítani a sejteket, a hajók ballasztvizében való

idegenhonos fajok behurcolása elleni védekezés hatékony eszköze lehet a jövőben, mivel a kezelés maga nem juttat káros anyagot a vízbe.

Irodalomjegyzék

- CARLTON, James T. – GELLER, Jonathan B. (1993): Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261(5117), 78–82. Online: <https://doi.org/10.1126/science.261.5117.78>
- CHU, Ka Hou et al. (1997): A Biological Survey of Ballast Water in Container Ships Entering Hong Kong. *Hydrobiologia*, 352, 201–206. Online: <https://doi.org/10.1023/A:1003067105577>
- DULAR, Matevž et al. (2016): Use of Hydrodynamic Cavitation in (Waste) Water Treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 577–588. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.10.010>
- KÖNÖZSY László (2020): *A kavitációs áramlások szimulációja. A létező modellek, módszerek ismertetése, kritikai elemzése.* Szakirodalom-kutatás. Beszámoló. Miskolc: Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke. Kézirat.
- MITTAL, Rochak – RANADE, Vivek (2023): Bioactives from Microalgae: A Review on Process Intensification Using Hydrodynamic Cavitation. *Journal of Applied Phycology*, 35, 1129–1161. Online: <https://doi.org/10.1007/s10811-023-02945-w>
- NÉMETH Zoltán (2018): *Kavitációs folyamatok.* Szakdolgozat. Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem.
- PROMPTOV, M. A. et al. (2017): *Szennyvízkezelés kavitációval.* Tambovi Műszaki Egyetem közleményei.
- RESKÓNÉ NAGY Mária – TÖRÖKNÉ KOZMA, Andrea (2000): Toxic *Microcystis aeruginosa* in Lake Velencei. *Environmental Toxicology*, 15, 554–557. Online: [https://doi.org/10.1002/1522-7278\(2000\)15:5<554::AID-TOX28>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1522-7278(2000)15:5<554::AID-TOX28>3.0.CO;2-Y)
- SONG, Yongxing et al. (2022): Hydrodynamic Cavitation as an Efficient Water Treatment Method for Various Sewage: A Review. *Water Science & Technology*, 86(2), 302–320. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2022.201>
- VASAS Gábor (2011): Hatóanyagok, speciális anyagcseretermékek fotoszintetizáló algaszervezetek tömegtermeléséből. *Hidrológiai Közöny*, 91(6), 107–109.
- VÖRÖS Lajos (2019): *Fecskemoszat és cianobaktérium invázió 2019 nyarán a Balatonban.* Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 2019. szeptember 11. Online: www.blki.hu/rendkivui_balatoni_vizviragzas
- WU, Zhilin et al. (2012): Removal of Blue-Green Algae Using the Hybrid Method of Hydrodynamic Cavitation and Ozonation. *Journal of Hazardous Materials*, 235–236, 152–158. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.034>