

STUDIU PRIVIND STAREA ECOLOGICĂ ACTUALĂ A LACULUI SFÂNTA ANA



(Foto: dr. Urák István, 24.10.2020)

Miercurea Ciuc

2020

STUDIUL PRIVIND STAREA ECOLOGICĂ ACTUALĂ A LACULUI SFÂNTA ANA

realizat pe baza contractului încheiat între *Asociația de Dezvoltare Intercomunitară Turistică*
„CIOMAD-BALVANYOS”/„CSOMÁD- BÁLVÁNYOS”

Közösségek Közti Turizmusfejlesztési Társulás și

MATHE ISTVAN P.F.A.

(Contract nr. 45/28.09.2020)

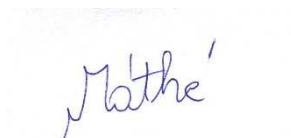
AUTORII STUDIULUI:

- **dr. MÁTHÉ István** – biolog (expert în microbiologia mediului) - conferențiar la Universitatea Sapiientia din Cluj-Napoca, Facultatea de Științe Economice, Socio-Umane și Inginerești din Miercurea Ciuc
- **dr. VÖRÖS Lajos** – biolog (hidrobiolog, expert în alge) – cercetător și profesor emeritus la Institutul de Cercetări Limnologice Balaton, Tihany, Ungaria
- **dr. FODORPATAKI László** – biolog (expert în fitofiziologie) - conferențiar la Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca, Departamentul de Biologie și Ecologie
- **dr. FELFÖLDI Tamás** – biolog (expert în taxonomia moleculară a bacteriilor și algelor), lector la Universitatea Eötvös Loránd din Budapesta, Catedra de Microbiologie.
- **dr. ZSIGMOND Andreea-Rebeka** – chimist (expert în chimia mediului), lector la Universitatea Sapiientia din Cluj-Napoca, Facultatea de Științe și Arte Cluj-Napoca.
- **dr. KIS Boglárka-Mercédesz** – geolog (expert în geochimia gazelor și izotopilor), lector la Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca, Facultatea de Biologie și Geologie.
- **dr. SZABÓ Attila** biolog (microbiolog, expert în biostatistică), cercetător la Universitatea Eötvös Loránd din Budapesta, Catedra de Microbiologie.

Miercurea Ciuc,
15.12.2020.

MATHE ISTVAN P.F.A.

Dr. Máthé István
Reprezentant



REZUMATUL STUDIULUI

Cuprins

1. VARIAȚIILE ADÂNCIMII APEI LACULUI SFÂNTA ANA.....	5
2. TEMPERATURA APEI DIN LAC	6
3. CONDUCTIVITATEA ELECTRICĂ SPECIFICĂ A APEI DIN LAC	7
4. pH-UL APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA	8
5. COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI IZOTOPICĂ A APEI LACULUI SFÂNTA ANA.....	9
6. ALGELE MICROSCOPICE PLUTITOARE ALE LACULUI SFÂNTA ANA ȘI ROLUL ACESTORA ÎN VIAȚA LACULUI	10
7. RELAȚIA DINTRE ELEMENTELE NUTRITIVE MINERALE ȘI FITOPLANCTON ÎN LACUL SFÂNTA ANA	16
8. CANTITATEA OXIGENULUI DIZOLVAT ÎN APA LACULUI SFÂNTA ANA	17
9. TRANSPARENȚA APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA.....	17
10. STAREA TROFICĂ LEGATĂ DE CALITATEA APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA	20
11. STUDII MICROBIOLOGICE.....	21
12. PROPUNERI DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR	23

REZUMATUL STUDIULUI

Între aprilie 2012 și octombrie 2020 echipa noastră de cercetare a efectuat cu peste 40 de ocazii (în tot atâtea luni) măsurători și analize la lacul Sfânta Ana, atât la fața locului (temperatura apei, conductivitatea electrică specifică, pH-ul apei, conținutul în oxigen dizolvat, adâncimea apei, transparența apei sau adâncimea Secchi), cât și în laboratoare de specialitate (determinarea concentrației de clorofilă-*a*; evaluarea compoziției în specii și a relațiilor cantitative din comunitatea de alge microscopice care plutesc în masa apei formând fitoplanctonul; determinări ale cantităților de azot și fosfor din apă, ca elemente nutritive esențiale pentru înmulțirea algelor). În anii 2012-2013, respectiv 2019-2020 au avut loc determinări cu frecvență lunară, iar în ceilalți ani s-au efectuat măsurători (Figura 1) și s-au prelevat probe de apă pentru analize ulterioare de laborator cu una-cinci ocazii pe an.

Măsurările la fața locului și prelevările probelor de apă s-au efectuat totdeauna din același punct al lacului, considerat cel mai adânc. Pentru marcarea acestui punct în februarie 2012 în zona cea mai adâncă indicată pe hărți am tăiat copci în gheață și cu ajutorul unei greutate de jumătate de kilogram, legată de o funie, am marcat acel punct unde s-a putut scufunda cea mai lungă porțiune din funie, urmând notarea coordonatelor GPS ale acestui punct (N 46.12552, E 025.88744). În 2019 am amplasat și o baliză de marcare în acest punct.

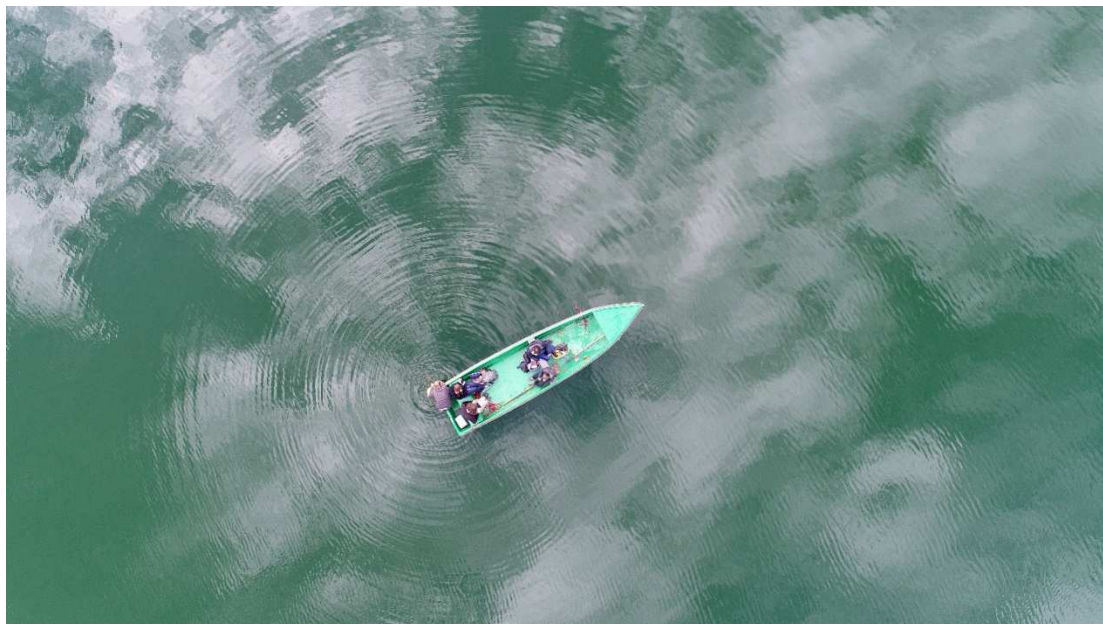


Figura 1. Măsurări la fața locului (24 octombrie 2020) dintr-o barcă
la punctul de prelevare a probelor
(Foto: dr. Urák István)

Lacul Sfânta Ana este un lac ombrotrof, adică apa sa nu este aprovizionată de ape subterane sau de izvoare, ci doar de precipitațiile care cad pe suprafața lacului și de scurgerile de apă de pe periferia craterului. Deci nivelul apei din lac este influențat în mod determinant de cantitatea și distribuția în timp a precipitațiilor căzute (ploaie, zăpadă), de conținutul în vapori de apă al aerului, de temperatura aerului și de evaporația aflată în strânsă relație cu aceasta din urmă.

Rezumatul cercetărilor noastre bazat pe câteva zeci de mii de date sunt prezentate în cele de mai jos.

1. VARIATIILE ADÂNCIMII APEI LACULUI SFÂNTA ANA

Adâncimea apei a fost măsurată cu ajutorul discului Secchi utilizat pentru determinarea transparenței, iar cu o ocazie am măsurat, cu ajutorul scafandrului cercetător dr. Hantz Péter cu câți centimetri se scufundă discul în mîlul de pe fundul apei. Între anii 2012-2020 au fost 63 ocazii cu care s-a măsurat adâncimea maximă a lacului Sfânta Ana. S-a putut determina că **cea mai mare adâncime** a lacului, înregistrată la 10 mai 2012, a fost de **627 cm**, iar **cel mai scăzut nivel** al apei a fost de **564 cm** (la 20 august 2013), adică în puțin mai mult de un an nivelul apei a scăzut cu 63 cm, fapt care, conform părerii celor care cunosc lacul de mai mult, nu s-a mai întâmplat în ultimii 30-40 ani.

Cauza scăderii semnificative a nivelului apei este, cel mai probabil, faptul că în anii 2012 și 2013 a căzut în regiune cea mai mică cantitate de precipitații din ultimii 14 ani (pe baza datelor meteorologice din Miercurea Ciuc pentru perioada 2006-2019), pe de altă parte, tot referitor la această perioadă, vara a fost cea mai caldă în 2012 (perioada iunie-iulie-august), în 2013 vara fiind aproape la fel de călduroasă. Sub influența căldurii estivale evaporarea apei de pe suprafața lacului s-a intensificat, ceea ce în asociere cu un record minim de precipitații anuale în acești doi ani (fiind vorba de un lac alimentat doar din precipitații), a dus la o scădere considerabilă a nivelului apei. În anii următori nivelul apei din lac a crescut moderat, dar constant, în anul 2019 atingând din nou practic nivelul din 2012 (607 cm), iar în 2020 s-a constatat o scădere ușoară (601 cm). Rezumând cele de mai sus, se poate constata că în prezent cel mai adânc punct al lacului Sfânta Ana are în jur de 6 metri, și exceptând anii cu o climă mai excentrică, variațiile anuale ale nivelului apei se situează între 12-17 cm.

2. TEMPERATURA APEI DIN LAC

Cu ocazia diferitelor perioade de prelevare a probelor s-a măsurat și temperatura apei la diferite adâncimi (0,2 m, 0,4, 1, 2, 3, 4, 5, 5,5 m, fundul lacului), modificările căreia sunt influențate de succesiunea anotimpurilor și de condițiile meteorologice (ex. temperatura aerului, precipitații).

Se poate urmări cum în perioada când lacul este acoperit cu gheață (decembrie-martie) temperatura apei crește ușor cu adâncimea, de la valoarea apropiată de îngheț înregistrată la suprafață, apoi de la 1 m adâncime până la fundul lacului se menține temperatura de 4 °C (stratificare termică inversă). În cursul lunilor de primăvară și vară temperatura apei crește progresiv, atingând valoarea maximă în perioada iunie-iulie. ***Cea mai ridicată temperatură a apei a fost măsurată la 30 iulie 2015, când la o adâncime de 20 cm s-au înregistrat 26,45 °C. A doua cea mai ridicată temperatură a fost cea de 26,1 °C, măsurată tot la 20 cm adâncime, la data de 21 iunie 2012.***

În lunile de vară (iunie-august) în general se formează un gradient de temperatură descrescătoare de la suprafață spre fund (stratificare termică directă), adică apa este cea mai caldă la suprafață și scade cu adâncimea, la fund fiind cea mai rece. Pe parcursul investigațiilor noastre diferența de temperatură între apa de la 0,2 metri și de la 5,5 metri adâncime a fost cea mai mare la 27 iunie 2019 (12,7 °C), pe când în august 2013 această diferență a fost de doar 1,04 °C (acesta a fost momentul cu cel mai scăzut nivel al apei din lac).

În lunile de toamnă (septembrie-noiembrie) are loc o răcire semnificativă a apei din lac, apoi iarna suprafața lacului îngheață.

În mod caracteristic pentru lacurile montane mai puțin adânci, apa lacului Sfânta Ana se amestecă complet, se omogenizează primăvara (martie-aprilie) și toamna (septembrie-octombrie).

În perioada 2012-2020 am măsurat temperatura apei lacului la diferite adâncimi cu 57 ocazii. Nu există măsurători foarte sistematice (cel puțin zilnice) în privința variațiilor de temperatură a apei, și pe baza măsurătorilor de până acum nu putem afirma că în medie ar fi crescut temperatura apei lacului Sfânta Ana. Totodată, tendința de încălzire detectabilă în zona mai extinsă a lacului poate avea efecte ecologice indirecte și directe la nivelul lacului, precum presupunerea că în ultimii ani gheața de pe suprafața lacului se topește mai devreme decât acum 8-10 ani, astfel primăvara algele își pot începe înmulțirea mai repede etc. Presupunerile noastre sunt susținute de faptul că în ultimii 5 ani în luna aprilie am măsurat în mod constant temperaturi mai ridicate (temperatura medie a coloanei de apă a fost de 9,2 °C în aprilie 2012,

pe când în aprilie 2020 a fost de 11,7 °C). Am notat, de asemenea, că la prelevarea de probe din 16 martie 2012 grosimea gheții de pe lac a fost de 45-50 cm (cu apă de 4 °C de la 1,5 m adâncime până la fund) și gheața s-a topit complet în jur de 10 aprilie, pe când în 2020 la 18 martie gheața a dispărut în totalitate de pe lac, iar la 21 martie apa de la 20 cm adâncime a avut deja 7,4 °C, în apropierea fundului lacului măsurându-se valoarea de 5,3 °C.

3. CONDUCTIVITATEA ELECTRICĂ SPECIFICĂ A APEI DIN LAC

În perioada dintre 2012-2020 am măsurat cu 56 ocazii (în tot atâtea luni) conductivitatea electrică la diferite adâncimi ale apei și la nivelul mълului. Conductivitatea electrică a unui corp de apă este în legătură strânsă cu conținutul de săruri dizolvate în apă.

În general conductivitatea apei din lacul Sfânta Ana are valori cuprinse între 9–16 $\mu\text{S}/\text{cm}$, media multianuală fiind în jur de 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ca termen de comparație, conductivitatea apei dezionizate prin osmoză inversă este de 1–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cea a apei desalinizate este în mod caracteristic între 1–80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. În Norvegia, în 155 lacuri aflate pe rocă de granit, conductivitatea a fost de 10–30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, iar valorile de pH se încadrau între 5,5–6,5 (Wright și Ilenriksen, 1978).

În verile anilor 2012-2013, îndeosebi în august 2012 (33 $\mu\text{S}/\text{cm}$) și în august 2013 (54,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au fost înregistrate valori de conductivitate considerabil mai ridicate față de medie, ceea ce este în legătură cu faptul că în 2012-2013 verile au fost foarte aride și calde, cu un nivel foarte scăzut al apei, din acest motiv stratificarea termică s-a sistat mai devreme decât de obicei, încă din august instalându-se omogenizarea apei lacului. Toate aceste procese au putut favoriza dizolvarea unui surplus de săruri minerale din nămol în masa de apă, ceea ce explică valorile crescute ale conductivității electrice.

Ajungându-se la nămolul de pe fundul lacului (6–6,5 m) valorile de conductivitate au crescut abrupt în toate perioadele de prelevare a probelor, arătând valori multiple față de cele din straturile de apă (max. 106,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ în 2020), datorită prezenței unei cantități mai mari de ioni organici și anorganici în nămol.

Salinitatea calculată pe baza valorilor de conductivitate electrică din lacul Sfânta Ana corespunde la valori modeste, de doar 0,01–0,02 g/L în masa apei, deci ***apa lacului are un conținut scăzut de săruri dizolvate, este oligominerală***. Nivelul scăzut de mineralizare a lacului Sfânta Ana nu este unic la nivel global, dar se poate afirma că, împreună cu numeroase alte lacuri, lacul Sfânta Ana are una dintre cele mai scăzute duriități a apei (Armstrong și Schindler, 1971).

4. pH-UL APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA

În perioada 2012-2020 valorile de pH ale apei lacului au fost măsurate la diferite adâncimi cu 51 ocazii (în tot atâtea luni).

Extrapolând la toată perioada studiului (2012-2020) pH-ul mediu al coloanei de apă (0,2-5,5 m) este de 5,85. În masa apei, cea mai mică valoare măsurată este de 5,04 (la 21 noiembrie 2012, la 3 m adâncime), iar cele mai ridicate valori de pH au fost de 6,95 (14 iulie 2017, 3 m), respectiv de 6,94 (23 iulie 2020, la 20 cm adâncime).

Adesea se poate observa că în zona de un metru de la suprafață, sau și mai frecvent între 2-3 metri adâncime pH-ul se modifică foarte puțin, iar în zonele mai adânci pH-ul scade, această scădere fiind pronunțată la 5 m și îndeosebi între 5,5–6 m. Explicația acestei scăderi de pH în stratul adânc ar putea fi faptul că în straturile superioare penetrează o cantitate suficientă de lumină pentru a susține o fotosinteză mai intensă a algelor, care consumă cea mai mare parte a CO₂ dizolvat în apă, asimilând carbonul anorganic în biomasa lor organică. Acest fenomen se corelează și cu faptul că cele mai ridicate valori de pH au fost măsurate îndeosebi în lunile iulie-august, când temperatura mai ridicată a apei mărește intensitatea fotosintezei.

Dacă privim totalul datelor de pH, atunci de la începutul măsurărilor se conturează o tendință de creștere a valorilor medii pentru coloana de apă a lacului (0,2–5,5 m). Cauzele din spatele acestei tendințe de creștere încă nu sunt pe deplin clarificate: pot avea legătură cu creșterea biomasei algale, dar pot fi influențate și de înmulțirea peștilor, deoarece prin branhii peștii elimină amoniac cu efect de ridicare a pH-ului (Ip și Chew, 2010). Această creștere de pH poate fi datorată și faptului că apa de precipitații din depresiunea Ciucului devine tot mai alcalină.

5. COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI IZOTOPICĂ A APEI LACULUI SFÂNTA ANA

Compoziția chimică a lacului la punctul cel mai adânc a arătat că anionii și cationii sunt în concentrații mici, în general sub 1 mg/l (Tabelul 1). Concentrații de peste 1 mg/l a avut Ca^{2+} și SO_4^{2-} . Comparând valorile din anul 2012 cu cele din 2020 putem spune că compoziția chimică este destul de stabilă, lacul fiind oligominerală. La fel am constatat și pentru profilul de adâncime. ***Lacul Sfânta Ana are o capacitate foarte mică de a neutraliza acizii din cauza concentrației foarte mici de bicarbonați, astfel echilibrul acido-bazic este foarte fragil.***

Tabelul 1. Compoziția chimică a lacului Sfânta Ana la o adâncime de 0,5 m.

Component	Feb. 2012	Iul. 2012	Mai 2018	Feb. 2020	Oct. 2020	Nov. 2020
Ca^{2+}	1,13	1,11	1,00	1,19	1,20	1,36
Mg^{2+}	0,15	0,15	0,12	0,19	0,15	0,14
Na^+	0,78	0,62	0,81	0,75	0,64	0,45
K^+	0,76	0,67	0,71	1,20	0,62	0,56
HCO_3^-	2,8	0,51	–	0,7	–	5,3
SO_4^{2-}	2,7	3,3	–	3,8	–	3,0
Cl^-	0,8	–	–	1,0	–	0,4
Fe^{2+}	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02
Mn^{2+}	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
SiO_2	–	0,3	0,15	1,12	0,95	0,92
Al^{3+}	0,06	0,06	0,09	0,04	0,03	0,02
Ba^{2+}	0,018	0,016	0,009	–	0,013	0,014
Sr^{2+}	0,011	0,008	0,007	–	0,009	0,006

Compoziția izotopică a lacului ($\delta^{18}\text{O}$ și δD V-SMOW - Vienna Standard Mean Ocean Water) în comparație cu GMWL (Global Meteoric Water Line) și LMWL (Local Meteoric Water Line) **reflectă originea meteorică a apei, însemnând că alimentarea lacului cu apă se face prin intermediul precipitației.** Valorile sugerează intense procese de evaporare datorită adâncimii reduse a lacului. Compoziția izotopică a carbonului inorganic total (TDIC) din apă ($\delta^{13}\text{C}$ TDIC) sugerează surse diferite pentru dioxidul de carbon, și anume o intercalație dintre originea magmatică și o sursă organică a carbonului.

6. ALGELE MICROSCOPICE PLUTITOARE ALE LACULUI SFÂNTA ANA ȘI ROLUL ACESTORA ÎN VIAȚA LACULUI

În lacuri și mări producția primară de materie organică a algelor microscopice plutitoare (a fitoplanctonului) este un factor determinant al calității apei. Eutrofizarea mediului acvatic, legată de înmulțirea excesivă a algelor din cauza unor efecte umane, dăunează multor forme de utilizare a apei de către oameni și chiar le face imposibile pe unele dintre acestea.

Pentru determinarea cantității (biomasei) algelor se utilizează în mod universal măsurarea concentrației de clorofilă, pigmentul verde care stă la baza fotosintezei. Pe baza concentrației medii anuale a clorofilei, sau pe baza concentrației sale maxime măsurate pe parcursul anului, lacurile se încadrează în diferite categorii, de la cele sărace în alge, adică cu producție scăzută (oligotrofe), prin cele cu producție medie (mezotrofe) și cele cu producție bogată (eutrofe) până la cele cu producție foarte mare (hipertrofe).

În lacul Sfânta Ana de la prima măsurare a concentrației de clorofilă (la 26 iulie 2012) și până la 24 octombrie 2020 s-au efectuat în total 43 de determinări, în cursul cărora în punctul cel mai adânc al lacului, de la suprafață și până la fund sau cel puțin până la adâncimea de 5,5 metri, am determinat din metru în metru variațiile pe verticală ale cantității de clorofilă. **În majoritatea cazurilor am detectat o așa numită maximă de adâncime a clorofilei, când la adâncimea de 4 metri și sub acest nivel cantitatea clorofilei a crescut în mod abrupt.** Din această cauză concentrația medie de clorofilă a întregii coloane de apă este cu un ordin mai mică decât valoarea maximă care s-a măsurat într-un anumit strat al coloanei de apă. Valorile concentrației de clorofilă au fost cele mai ridicate în timpul verilor, adică variațiile sezoniere de temperatură influențează în mod semnificativ înmulțirea algelor.

Pe baza concentrației medii de clorofilă în coloana de apă lacul Sfânta Ana a prezentat în fiecare an o stare eutrofă, cu toate că numărul ocaziilor cu care s-au efectuat măsurători a variat în fiecare an. Valorile maxime de adâncime s-au încadrat în fiecare an în intervalul de hipertrofie, depășind valoarea de 150 $\mu\text{g/l}$, în 2018 maxima constatăată fiind chiar de 200 $\mu\text{g/l}$. În privința aprecierii productivității lacului valorile medii pentru întreaga coloană de apă sunt cele determinante, deoarece maximele de adâncime nu reprezintă toată coloana de apă. **Pe baza rezultatelor obținute putem afirma că lacul de crater Sfânta Ana este un lac eutrof, bogat în alge.**

Maxima de adâncime a clorofilei (deep chlorophyll maximum=DCM) este acea regiune din apă unde concentrația clorofilei este maximă, iar condiția indispensabilă a apariției sale este stabilitatea coloanei de apă bazată pe stratificarea termică. Conform rezultatelor noastre

înmulțirea algelor (eutrofizarea) are loc în modul cel mai pregnant în adâncimea lacului, sub forma dezvoltării estivale a maximelor de adâncime ale clorofilei. Se poate spune că tendința globală se observă și aici, conform căreia producția algală DCM are un rol determinant în viața lacului.

Pe baza măsurărilor de până acum stabilitatea coloanei de apă din lacul Sfânta Ana s-a modificat dinamic, a fost foarte scăzută în perioada cu apă rece și foarte intensă în apa care s-a încălzit pe perioada de vară. Rezultatele noastre confirmă recunoașterea anterioară a faptului că condiția indispensabilă a formării maximelor de adâncime ale clorofilelor este stratificarea termică stabilă a coloanei de apă.

Pe parcursul analizelor cantitative efectuate în perioada 2012-2020 am înregistrat prezența a 13 taxoni algali, dintre care patru sunt răspândiți în masă: Parvodinium (Peridinium) inconspicuum (Figura 2), Cosmocladium perisum (Figura 3), Gymnodinium uberrimum (Figura 4) și Stichococcus bacillaris (Figura 5). Taxonii următori rămân în urmă față de aceștia nu numai în privința biomasei, dar nu pot fi considerați a fi specifici lacului nici pentru că prezintă o apariție rară. Din cele de mai sus rezultă că lumea algelor microscopice plutitoare care determină sistemul ecologic al lacului poate fi caracterizată satisfăcător cu ajutorul acestor patru taxoni.

Putem stabili că în cele șapte decenii care au trecut din anul 1941 compoziția fitoplanctonului din lacul Sfânta Ana nu s-a modificat. Schimbările care se pot evidenția au început în anul 2016, iar starea stabilă a lacului persistentă de mai multe decenii s-a modificat fundamental în ultimii cinci ani. Această schimbare rapidă și foarte amplă este indicată și de variația în timp a biomasei speciei de algă dinoflagelată *Peridinium inconspicuum*.

În perioada studiată (2012-2020) biomasa totală a fitoplanctonului nu s-a modificat în mod tendențios, totodată biomasa unicei specii algale dominante peste multe decenii a scăzut abrupt din 2016. Această scădere în biomasă din 2016 a algei iconice pentru lacul Sfânta Ana, Peridinium inconspicuum, a coincis cu apariția și înmulțirea în masă a altor specii, care în trecut nu au putut fi observate în lac (Figura 7).

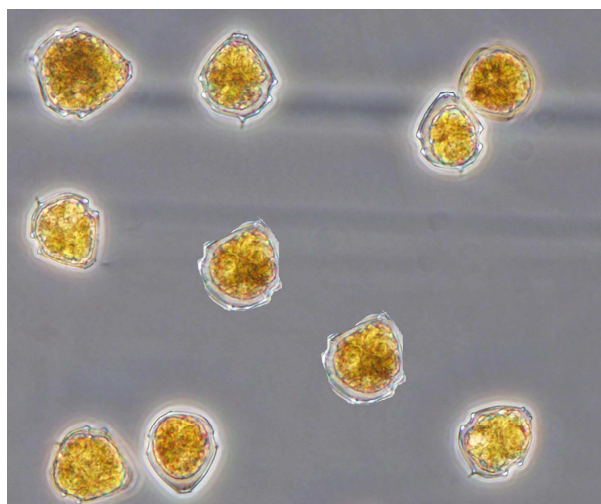


Figura 2. Imagine la microscop a algei *Parvodinium (Peridinium) inconspicuum*:
acest dinoflagelat a fost specia algală dominantă a lacului
din 1941 până în 2016. (Foto: dr. Vörös Lajos)

În ultimii ani s-a înmulțit în masă o specie de *Cosmocladium*, o algă verde din ordinul Desmidiaceae, care înainte nu a fost detectată în apa lacului. Celulele acestei alge au un diametru de cinci micrometri, celulele formează o rețea complexă cu ajutorul filamentelor mucilaginose care le interconectează. Morfologic acest organism din lacul Sfânta Ana se aseamănă cu specia *Cosmocladium perissum*, dar dimensiunea celulelor sale este cu mai mult de două ori mai mică, astfel există posibilitatea ca alga observată în lac să reprezinte un taxon încă nedescris, nou pentru știință.

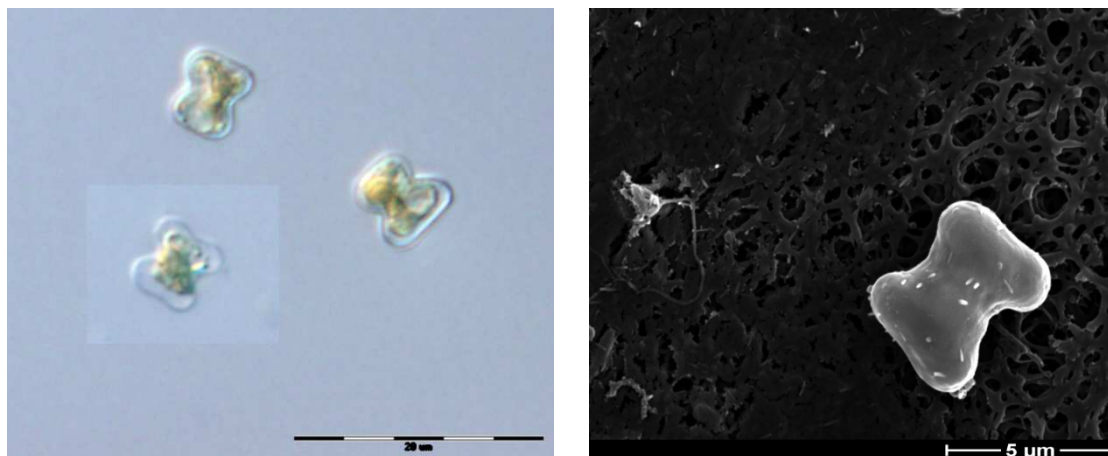


Figura 3. Imagine la microscopul optic (la stânga) și la microscopul electronic de baleiaj (la dreapta) a algei *Cosmocladium perissum* din lacul Sfânta Ana
(Foto: dr. Vörös Lajos, dr. Bóka Károly).

Dominația algei *Cosmocladium* în lacul Sfânta Ana nu s-a dovedit a fi persistentă, deoarece pe cât de repede a apărut și a înlăturat toate celelalte alge în anii 2018 și 2019, aproape la fel de repede a înregistrat și o scădere considerabilă de biomasă în 2020. Concomitent, s-a consolidat răspândirea algei *Gymnodinium uberrimum*, care a fost prezentă în masă și mai devreme, în paralel cu o specie de algă verde minusculă, nou apărută, identificată ca *Stichococcus bacillaris*.



Figura 4. Imaginea la microscop a dinoflagelatei *Gymnodinium uberrimum* din lacul Sfânta Ana.

(Foto: dr. Somogyi Boglárka)



Figura 5. Imagine la microscopul optic a algei *Stichococcus bacillaris* din lacul Sfânta Ana.

(Foto: dr. Somogyi Boglárka).

Până în 2016 imaginea planctonului a fost dominată de o singură specie algală și este foarte probabil că această stare a existat de mai multe decenii. Această stare deosebită și rară inclusiv la nivel mondial, deși nu unică, a luat sfârșit în decursul câtorva ani, când odată cu scăderea însemnată a densității populaționale a speciei dominante *Peridinium inconspicuum* a început invazia unei specii algale inexistente în lac până în acest moment. În prezent în lac există o comunitate algală mult mai diversă (Figura 7), cu mai multe specii, ceea ce este în mod evident consecința schimbării mediului. În acest caz creșterea diversității nu este un fenomen dezirabil, deoarece indică răsturnarea unei stări de echilibru stabil preexistent.

Pe când volumul unei celule a algei dinoflagelate *Peridinium inconspicuum*, care predomina mai demult în apa lacului, este de 3000 micrometri cubi, dimensiunea algelor verzi recent apărute este cu două ordini de mărime mai mică: o celulă a algei *Cosmocladium perissum* are 65 micrometri cubi, iar cea a algei *Stichococcus bacillaris* are doar 15 μm^3 . Datorită acestei modificări structurale majore, abundența fitoplanctonului (numărul celulelor algale în unitatea de volum a apei) a manifestat o creștere dinamică în ultima perioadă, astfel

Încât aceasta a putut fi ilustrată corespunzător doar pe scară logaritmică. Volumul celular mediu al comunității algale a scăzut în măsură asemănătoare.

Schimbarea radicală a fitoplanctonului lacului Sfânta Ana a dus și la schimbarea culorii apei: dacă la începutul anilor 2010 culoarea apei era albastru - gri-albastru, în ultimii ani culoarea lacului a devenit verde - verde-închis (Figura 6).



(<https://travelminit.com/thumbs/region-71/szent-anna-to.jpg>)



(Foto: dr. Fodor István)

Figura 6. Lacul Sfânta în jurul anului 2010 (sus) respectiv în 2019 (jos).

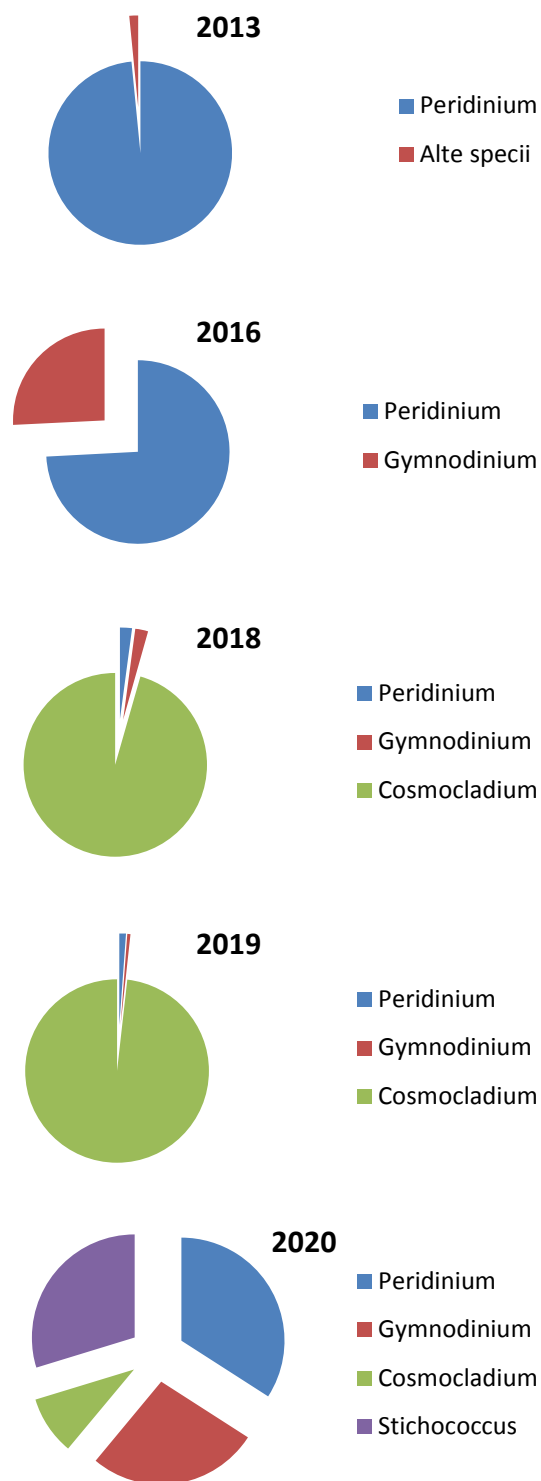


Figura 7. Variația compoziției fitoplanctonului de vară din lacul Sfânta Ana în perioada dintre anii 2012-2020. Starea stabilă probabil existentă de numeroase decenii s-a destrămat în 2016. Dominanța unicei alge *Peridinium inconspicuum* a luat sfârșit, în 2020 lacul fiind caracterizat de o comunitate algală mult mai diversă. Această transformare este în mod univoc efectul perturbării condițiilor de mediu.

7. RELAȚIA DINTRE ELEMENTELE NUTRITIVE MINERALE ȘI FITOPLANCTON ÎN LACUL SFÂNTA ANA

O sarcină de bază a gestionării lacurilor este reglarea și controlul dezvoltării și producției fitoplanctonului. Astăzi este deja bine cunoscut faptul că în majoritatea mediilor acvatice fosforul și azotul sunt cele două elemente nutritive limitante, dar dintre acestea rolul fosforului este cel determinant.

În lacul Sfânta Ana am măsurat în paralel, în diferite perioade de timp și la adâncimi diferite ale apei, în total cu 77 ocazii, concentrațiile de fosfor total (TP), de azot total (TN) și de clorofilă-*a* din alge. Valoarea medie a concentrației de azot total a fost de 662 $\mu\text{g/l}$, iar cea a fosforului de 19 $\mu\text{g/l}$, deci raportul N/P a fost în medie de 40. Această valoare indică o aprovizionare din abundență cu azot, deoarece necesarul de azot al algelor față de cel de fosfor este mult mai mic, valoarea raportului necesar fiziologic fiind doar de 7. Pe baza acestor date se poate afirma că ***în lacul Sfânta Ana principalul element nutritiv limitant al înmulțirii algelor este fosforul.***

Între valoarea raportului fosfor total mediu / clorofilă din lacul Sfânta Ana și din numeroase alte lacuri de pe glob se constată o diferență foarte semnificativă. În lacul Sfânta Ana la o valoare de fosfor total de 20 micrograme/litru corespunde în medie o valoare de 30 micrograme/litru de clorofilă-*a*, în schimb în majoritatea lacurilor la această cantitate de fosfor corespund doar 4-5-6 micrograme de clorofilă. Altfel spus, în majoritatea lacurilor din lume aceeași cantitate de fosfor duce la o producție de biomasă algală de cinci-șapte ori mai mică decât în lacul Sfânta Ana. Cercetările ultimelor decenii au elucidat faptul că pe lângă oferta de elemente nutritive (fosfor și nitrogen) cantitatea de biomasă algală este influențată și de consumul de către zooplancton (control „bottom up” versus „top down”), iar conținutul algal de moment al mediului acvatic este rezultanta acestor două influențe. În lacul Sfânta Ana nu există zooplancton consumator de alge, sau cantitatea acestuia este neglijabilă, aceasta poate fi cea mai probabilă explicație a producției algale care depășește cu mult valorile predictibile pe baza mediilor globale. ***Fondul de caras argintiu care a apărut în jurul anului 2010 și de atunci s-a înmulțit puternic în lacul Sfânta Ana poate cauza lipsa aproape totală a zooplanctonului, iar prin îndepărtarea peștilor sau prin reducerea drastică a numărului acestora este probabil că biomasă planctonului ar putea fi diminuată considerabil.***

8. CANTITATEA OXIGENULUI DIZOLVAT ÎN APA LACULUI SFÂNTA ANA

Conținutul apei în oxigen dizolvat depinde de temperatura apei, de cantitatea și activitatea organismelor fotosintetizante (plante acvatice, alge, cianobacterii), de adâncimea apei etc.

În perioada 2014-2020 am măsurat cu 44 ocazii (în tot atâtea luni) concentrația oxigenului dizolvat în apă, de la suprafața apei și până la fund, concomitent cu înregistrarea valorilor de temperatură.

În cei cinci metri de coloană de apă de la suprafață niciodată nu s-a înregistrat lipsa oxigenului, concentrația oxigenului variind între 5,70–11,09 mg/L.

În cazul lacului Sfânta Ana variația în timp a gradului de saturație în oxigen indică tendința de eutrofizare a lacului. Creșterea intensității fotosintezei masei algale a cauzat o creștere tendențioasă a saturației în oxigen în cei cinci metri de coloană de apă dinspre suprafață. Această saturație cu oxigen nu a scăzut nici o dată sub 60%, ceea ce înseamnă și că lacul este un mediu de viață prielnic pentru animale acvatice, cum sunt peștii. Tendința de creștere a cantității oxigenului dizolvat este semnificativă, odată cu înaintarea în timp a crescut numărul ocaziilor cu care s-a detectat o suprasaturație a apei cu oxigen (saturație peste 100%), ceea ce indică în mod univoc productivitatea crescută de biomasă a algelor microscopice care plutesc în masa apei, îndeosebi în zonele mai adânci. Lipsa de oxigen apare doar în imediata apropiere a fundului lacului (în jurul adâncimii de 6 m), ceea ce este un fenomen firesc, deoarece la această adâncime nu mai are loc fotosinteza și devin predominante procesele de descompunere, consumatoare de oxigen.

9. TRANSPARENȚA APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA

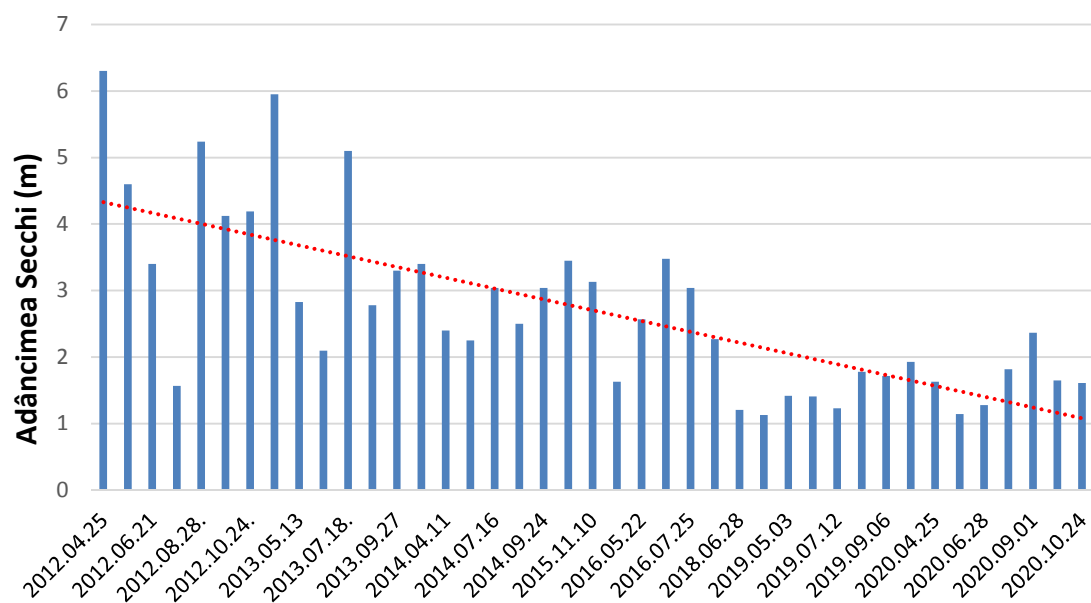
Astrofizicianul italian Pietro Angelo Secchi a creat în 1865 așa numitul disc Secchi pentru caracterizarea transparenței coloanelor de apă. Valoarea transparenței Secchi nu oferă o valoare exactă a turbidității sau a gradului de extincție a luminii, dar datorită simplității sale este și în prezent o unealtă standard a limnologiei.

În lacuri adânci, unde apa nu este maronie și nu se amestecă până la fund, transparența Secchi este determinată în cea mai mare măsură de cantitatea și calitatea algelor microscopice care plutesc în masa apei, din acest motiv a devenit o proprietate universală a gradului de troficitate legat de calitatea apei.

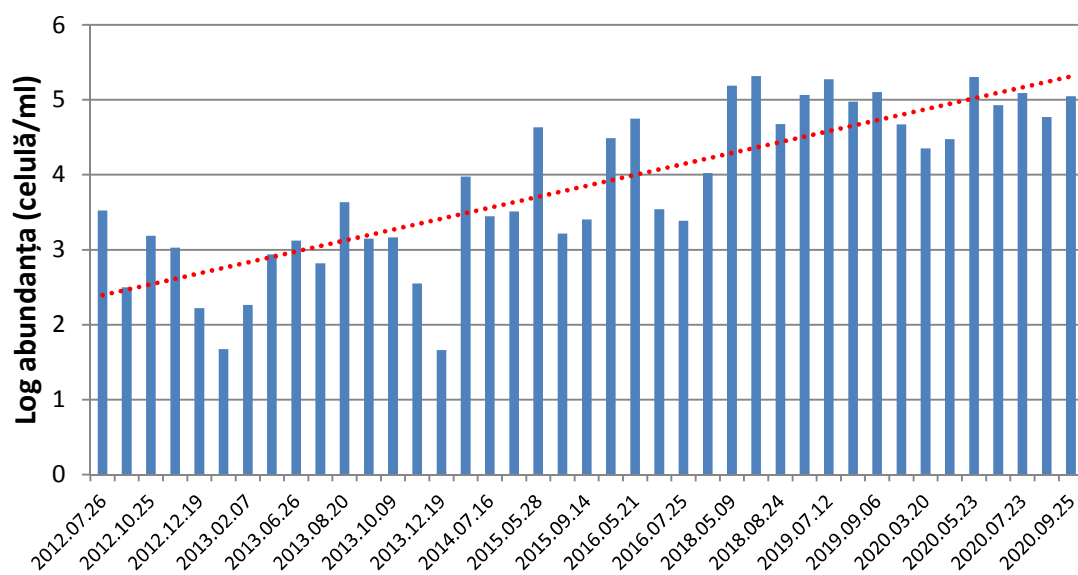
Scăderea foarte importantă a transparenței apei care s-a produs în lacul Sfânta Ana în perioada 2012-2020 (Figura 8A) a coincis cu creșterea drastică a abundenței (a densității de organisme) (Figura 8B) care s-a determinat la nivelul fitoplanctonului. În seria de investigații întreprinse între 2012-2020 transparența Secchi din lac a avut valori între 1,13-6,3 metri, media sa anuală în 2019-2020 a fost de 1,58 metri, și în aceeași perioadă valoarea sa cea mai mică a fost de 1,13 metri (în 2012-2013 apa a fost adesea transparentă până la 5–6 metri adâncime) (Figura 8A). Aceasta, conform încadrării OECD (Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică), indică o stare eutrofă, asemănător valorilor de conținut de clorofilă (Tabelul 2). Însumând rezultatele obținute se poate constata că **datorită înmulțirii algelor transparența apei lacului este în prezent doar o jumătate - o treime din cea existentă în anii 2012-2013, ceea ce semnifică o înrăutățire semnificativă a calității apei.**

Tabelul 2. Categoriile de troficitate OECD (Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică) și starea trofică a lacului Sfânta Ana (2012-2020)

OECD	Fosfor total	Clorofilă-a		Adâncime Secchi	
Categorie de troficitate	medie anuală (μg/l)	medie anuală (μg/l)	valoare maximă (μg/l)	medie anuală (m)	valoare minimă (m)
Oligotrof	4-10	1-2,5	2,5-8	12-6	>3,0
Mezotrof	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrof	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hipertrof	>100	>25	>75	<1,5	<0,7
Lacul Sfânta Ana	19	30	107	1,95	1,13



A



B

Figura 8. Scăderea transparenței Secchi (A) și abundența (“densitatea”) algelor (B) în lacul Sfânta Ana în perioada 2012-2020.

10. STAREA TROFICĂ LEGATĂ DE CALITATEA APEI DIN LACUL SFÂNTA ANA

Conform concluziilor unor măsurători efectuate pe sute de lacuri, există o corelație pozitivă semnificativă între conținutul total de fosfor și cantitatea de clorofilă din apă. În marea majoritate a lacurilor valoarea raportului mediu clorofilă / fosfor total este mult subunitară, fiind în jur de 0,30, în schimb în lacul Sfânta Ana această valoare este de 1,20. Acest lucru se reflectă și în clasificarea OECD, care se bazează pe sute de măsurători. ***Dacă lacul Sfânta Ana s-ar încadra în media globală, atunci în apa sa concentrația medie măsurată a fosforului total de 19 $\mu\text{g/l}$ ar fi asociată cu o concentrație medie de clorofilă mai mică de 8 $\mu\text{g/l}$. Însă în lac există mult mai multă clorofilă, deci trăiesc de cel puțin patru ori mai multe alge decât ar fi de așteptat, adică spre deosebire de starea mezotrofă stabilită pe baza cantității de fosfor, pe baza producției de biomasă algală lacul se încadrează în categorie puternic eutrofă, temporar chiar hipertrofă.*** Înmulțirea pronunțată a algelor se manifestă și în scăderea transparenței apei, astfel adâncimea Secchi este mult mai mică decât se constată în lacurile mezotrofe, astfel și pe baza acestui parametru lacul poate fi considerat ca aparținând în prezent categoriei eutrofe. Această diferență semnificativă în privința încadrării pe baza conținutului în fosfor și pe baza cantității de clorofilă este o consecință a caracterului deosebit (și deocamdată cunoscut în mod insuficient) al sistemului ecologic al lacului.

Exploatarea turistică intensificată a lacului a contribuit la faptul că în ultimii ani (2015-2020) concentrația medie a fosforului total de circa 20 $\mu\text{g/l}$ este dublă față de cea de 10 $\mu\text{g/l}$ care a fost aproximată pe baza reconstrucției trecutului paleolimnologic al lacului, dar depășește cu mult și valorile medii stabilite la 12 $\mu\text{g/l}$ de măsurătorile efectuate de Vigh și Makfalvi între anii 2005-2010. Din toate acestea rezultă că ***pentru atingerea și menținerea unei stări ecologice corespunzătoare a lacului trebuie diminuată încărcătura externă, de origine umană a apei în fosfor, dar este necesară și reglarea, respectiv scăderea drastică a fondului de pește, ca astfel să se poată înmulți zooplanctonul consumator de alge.***

11. STUDII MICROBIOLOGICE

Pe baza **analizelor igienico-bacteriologice ale calității apei**, efectuate în lunile mai și iulie ale anului 2012 s-a putut constata că scăldatul a avut un efect semnificativ asupra lacului Sfânta Ana. Datorită temperaturilor neobișnuit de ridicate (26,1 °C) în iunie 2012 chiar și sute de turiști au vizitat lacul și împrejurimile sale în zilele de sfârșit de săptămână, majoritatea acestora scăldându-se în apa lacului.

În probele de apă prelevate de la 0,4 m și de la 2 m adâncime numărul total de germeni bacterieni a fost evident mai mare (de 1,4–3,7 ori mai ridicat) în iunie decât în mai, atât în cazul incubării la 22 °C (110–283 unități formatoare de colonii - UFC/mililitru), cât și la 37 °C (17 - 64 UFC/ml). ***Înainte începerii scăldatului nu au existat deloc, dar după începerea scăldatului în a doua jumătate a lunii iunie 2012, au putut fi evidențiate bacterii de origine fecală certă în zona de periferie a lacului, rezultatele acestea fiind susținute atât de analizele standard (prezența bacteriei Escherichia coli și a enterococilor fecali), cât și de analizele bazate pe ADN (identificarea speciilor Escherichia coli, Enterococcus faecium, Achromobacter spanius, Acinetobacter pitii etc.).***

În completarea analizelor bacteriologice ale calității apei, **comunitățile bacteriene ale apei și ale sedimentului lacului Sfânta Ana au fost studiate și prin metoda cultivării pe medii nutritive, respectiv prin metode de amprentă moleculară bazate pe ADN (NGS – secvențiere de generație nouă), independente de cultivare.**

Pe baza rezultatelor noastre se poate afirma că apa lacului Sfânta Ana adăpostește mai multe bacterii deosebite, noi pentru știință, în privința compoziției comunității microbiene lacul fiind considerat un mediu de viață cu proprietăți unice la nivel local și global. Acest lucru este dovedit de cele ***trei specii noi de bacterii izolate și descrise din apa lacului: Rhizobium aquaticum (Figura 9), Siculibacillus lacustris (Figura 10) și Sapientia aquatica (Figura 11), ultimele două reprezentând totodată și câte un gen bacterian nou.*** Prin analiza sedimentului din acest lac de crater se deschide posibilitatea reconstruirii fenomenelor din trecutul mai îndepărtat, iar prin relevarea schimbărilor survenite în starea lacului putem aprecia mai bine consecințele posibile ale activităților umane din regiune și ale altor influențe, intrând astfel în posesia unor informații importante și pentru practica ocrotirii naturii (înmlăștinire, schimbare climatică globală și efectele aportului exogen de substanțe nutritive).

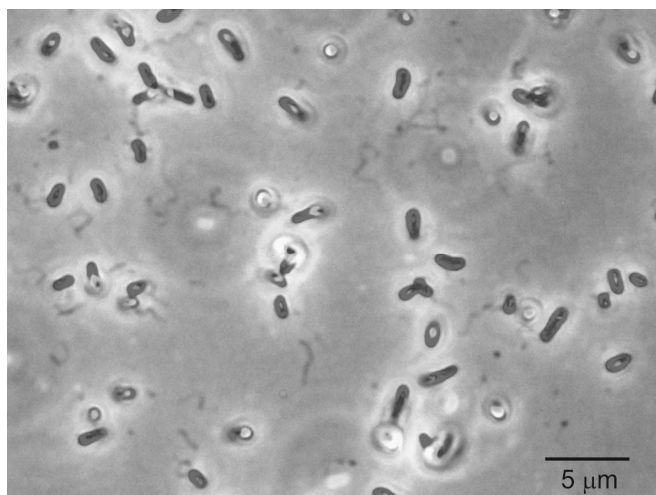


Figura 9. Celulele în formă de bastonaș ale tulpinii tip a bacteriei *Rhizobium aquaticum*.

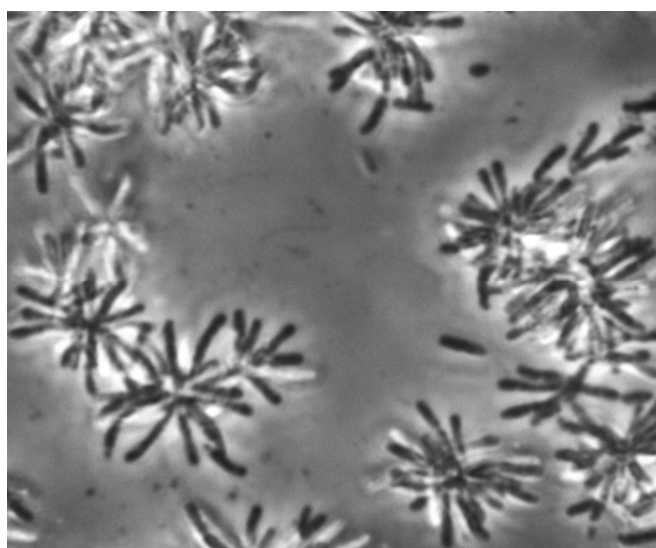


Figura 10. Celule formatoare de rozete ale tulpinii tip a bacteriei *Sicylibacillus lacustris*.

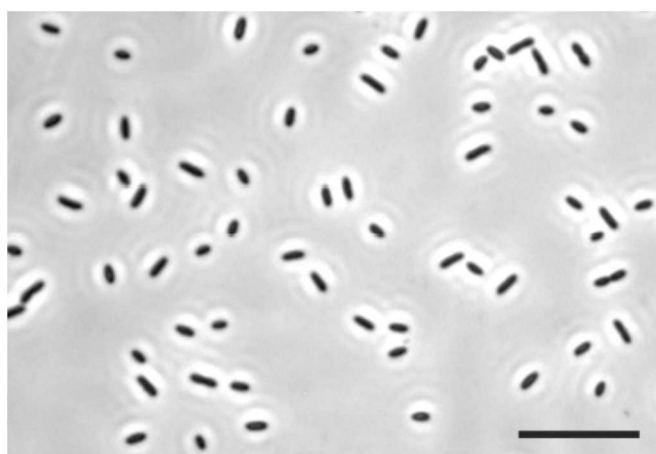


Figura 11. Celule în formă de bastonaș scurt a bacteriei *Sapiientia aquatica*.

(Imagini: dr. Felföldi Tamás)

12. PROPUNERI DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

Datorită schimbărilor ecologice accelerate în ultimii ani la nivelul lacului, este indicată continuarea investigării sistematice a calității apei cu regularitate lunară (măsurători la fața locului, determinări de conținut în clorofilă, examinarea microscopică a algelor, analiza cantitativă a nutrienților minerali pentru organisme vegetale). Ar trebui rezolvată prelevarea probelor de zooplancton, biomasa și componența zooplanctonului, ar trebui determinate cu frecvență lunară din probe reprezentative pentru întreaga coloană de apă. În diferite anotimpuri ar trebui efectuată analiza chimică a apei, și cel puțin o dată pe an ar trebui studiată compoziția chimică a nămolului și a apei din porile nămolului de suprafață.

Este necesar un studiu amănunțit al compoziției și originii gazelor, deoarece găsim emisii uscate de CO₂ de origine magmatică pe marginea craterului și pe malul lacului. Este necesar să se examineze dacă există un fenomen de emisie a gazelor în perimetrul lacului, definirea originii acestor gaze și procese implicate. Dacă există CO₂ liber este important de măsurat fluxul acestui gaz.

Pe perioada verii ar trebui evaluată lumea vie a lacului la diferite adâncimi (1, 2, 3, 4, 5, 6 metri). Ar trebui evaluată cantitatea algelor din sediment prin intermediul determinării concentrației de clorofilă și prin examinări microscopice, respectiv ar trebui determinate raporturile cantitative ale nevertebratelor acvatice macroscopice pe suprafața sedimentului și în zonele de țărm mai puțin adânci, colonizate de vegetație. Ar trebui studiat cu ajutorul microscopului respectiv cu metode de biologie moleculară (analiza ADN-ului) conținutul intestinal al peștilor. Cunoașterea acestor aspecte este necesară pentru stabilirea bazei de hrană pentru pești.

Fenomenele meteorologice (ex. temperatura aerului, cantitatea anuală și distribuția precipitațiilor) influențează puternic în primul rând nivelul apei și temperatura lacului, dar și alți parametri, de aceea ar fi importantă instalarea în craterul lacului a unei stații autonome de măsurători meteorologice, care ar putea măsura și înregistra în mod continuu principalii parametri climatici (temperatura aerului, cantitatea de precipitații, cantitatea relativă de vapori de apă, cantitatea de energie solară).

Apa de precipitații ar trebui colectată periodic și din aceasta ar trebui efectuate analize chimice pentru a determina concentrația de azot, fosfor etc., ceea ce ar face posibilă estimarea încărcăturii atmosferice a lacului (sedimentul umed). Ar trebui măsurată și încărcătura de azot și fosfor care se scurge în apa lacului dinspre țărm. Pentru aceasta ar trebui prelevate probe din scurgerile de apă în lac cu ocazia fenomenelor de precipitații (la șanțuri de eroziune).

Ar fi nevoie de monitorizarea continuă a temperaturii coloanei de apă, pentru aceasta ar trebui montate sonde de colectare a datelor la mai multe adâncimi de la suprafață până la fundul lacului.