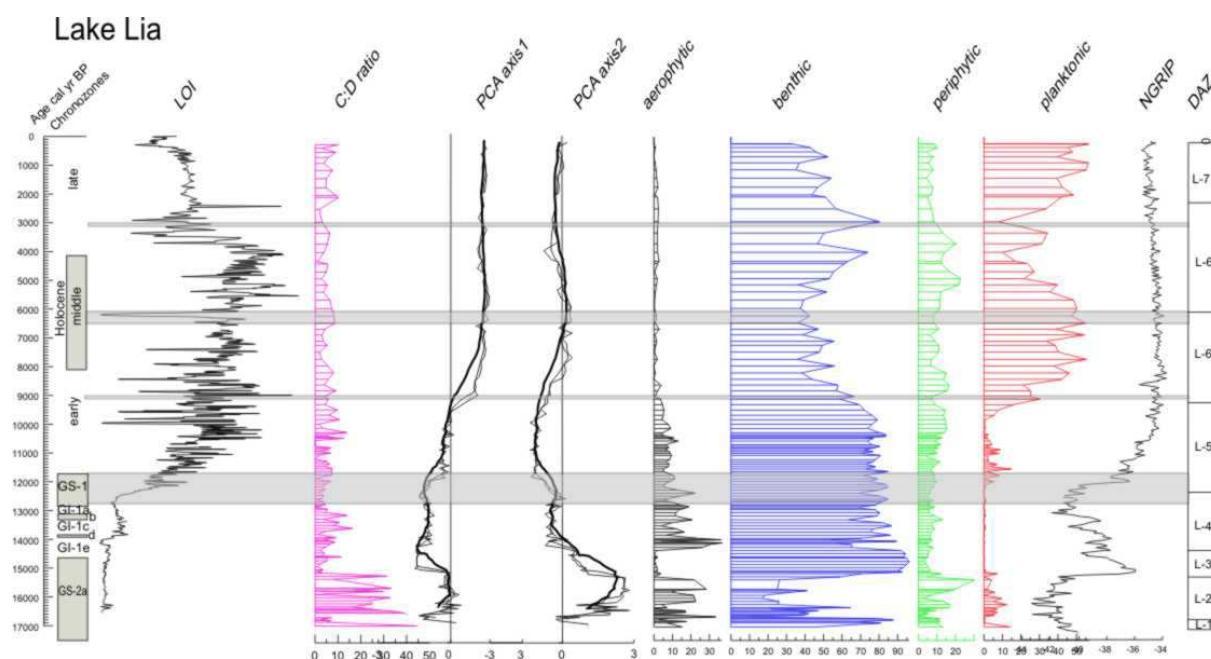


A most lezárult, öt éves kutatás céljából a kovavázak algák vizsgálatát tűztük ki későglaciálisban és Holocénben. Kovavázak algák alatt a diatómákat és sárgásbarna algák kitarósejtjeit, az ún. sztomatocisztákat értjük, mivel ez a két csoport – folyamatos üledékképződés esetén – nagyon jól megőződik az üledékben. Így a paleoökológiai rekonstrukciókban gyakran alkalmazott proxik. Három fő területet jelöltünk ki a vizsgálatokra, a Retyezát hegység négy tavát a Déli Kárpátokban, a Balaton Tó25-ös fúrását és a Szent Anna tavat.

RETYEZÁT, LIA TÓ

Beszámolómat a retyezáti eredményekkel kezdem, mivel ezen a területen dolgoztunk a legtöbbet, így a legtöbb eredmény is erre a területre vonatkozóan született – és bár egy ilyen jellegű vizsgálat sose tekinthető befejezettnek – mégis ez az a munkafázis, ahol elkészült és publikálásra került a paleolimnológiai és florisztikai felmérés is.

A munkatervben a Lia tó feldolgozása szerepelt, ahonnan 2013-ban 124 mintát dolgoztam fel.



1. ábra. A Lia tó nagyfelbontású diatóma elemzés összefoglaló ábrája, a szerves anyag tartalommal, a ciszta és kovaalga aránnyal, a főkomponens elemzés során kapott két főteneggel (a variancia 36 és 17%-át magyarázzák), az életformák alakulását, valamint a fő diatóma zónákkal. A grönlandi jégfúrás (NGRIP) összehasonlításként szerepel az ábrán. Szürke sáv jelöli azokat az időszakokat, amikor a Retyezátban a tavak diatóma összetétele jelentősen átalakult.

A pályázat benyújtásakor a Brazi tó diatóma analízise nagyrészt már elkészült, a Galesen is dolgozott már egy PhD hallgató. Vállalásunknak megfelelően elkészült a Lia elemzése, és a kutatás utolsó évében pedig a negyedik retyezáti tó kovavázis alga együtteseit is feldolgoztam. Összességében így lehetőség nyílt arra, hogy a Retyezátban 4 tóban összehasonlítsuk a déli és északi, sekély és mély tavakban zajló folyamatokat (1. táblázat).

1. Táblázat: Négy tó amelyből nagyfelbontású kovaalga analízis készült a későglaciálisra és a Holocénre

	Brazi	Lia	Gales	Bukura
GPS	45°23'47"N	45°35'30"N	45°23'6"N	45°36'40"N
GPS	22°54'06"E;	22°87'87"E	22°54'33"E	22°87'79"E
Tó felület (ha)	0.5	1.38 (1,26)	3.68	10
a.sl.	1740	1910	1990	2040
Water depth (m)	1	4.7 (4.2)	20	15.7
Tótípus	Zárt	Nyílt	nyílt	nyílt
Mintasám	214	124	109	36
A feldolgozás éve	2007-2011	2013	2014-2015	2015
Vízmélység	Sekély	Sekély	Mély	mély

A várakozásoknak megfelelően mind a négy tó sok egyedi sajátosságot mutatott, ennek ellenére sok hasonló – trendszerű változást találtunk. Egyértelműen kimutatható egy átrendeződés a fragilaroid fajok irányából az *Aulacoseira* nemzetség képviselői felé mind a négy tóban, és az átalakulás szinkron zajlott. A késő Holocénben (4200 év után) a monorafid fajok egyre nagyobb számban találhatóak. Ez jó egyezést mutat azzal az általános megfigyeléssel, hogy kis sejt méretű, gyengén kovásodott formák gyakoribbak a fiatalabb üledékekben (Catalan et al. 2013).

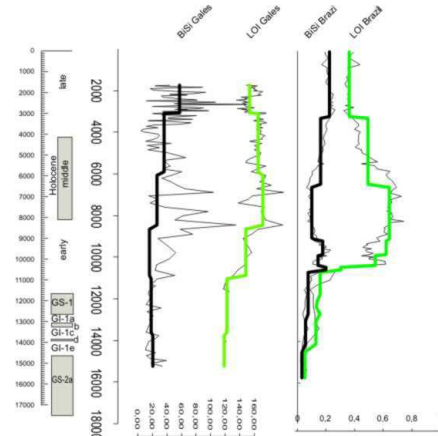
Az eredmények alapján a mély és sekély tavakban a ciszta/diatóma arány (ami egyrészt trofitás becslésére jó proxy, másrészt a hőmérséklettel is mutat összefüggést) jelentősen eltért. A sekély tavakban (Brazi és Lia) az arány jellemzően 10 % körül mozgott, míg a mély tavakban (Gales, Bukura) inkább 50% felett volt, de, a várakozásnak megfelelően klímafluktuációkkal párhuzamosan a C/D arány is változott. A Gales cisztaflórájáról egy kifestésű elemzés is készült, az előzetesen meghatározott diatóma zónákat jellemeztük cisztákkal (Soróczki-Pintér et al, 2014). Leírtuk a tóból hét új morfortípust, valamint készítettünk egy összefoglaló táblázatot az európai és amerikai kódokról, ami lehetővé teszi az adatok összehasonlítását. A Galesben, a kora-Holocénben, ca. 8000 cal yr BP-ig a C:D arány fluktuált, a közép Holocénben lecsökkent ami a víz magasabb trofitásával lehet összefüggésben a Holocén klímaoptimum idején. A Gales cisztáival kapcsolatos érdekes eredményünk, hogy ca. 9,300 év környékén, amikor a *Fragilaria gracilis* planktonikus diatóma a tavak történetében egyedülállóan dominánssá vált, akkor Facher & Schmidt 72 jelű, jellemző ciszta is egyeduralmúvá vált egy rövid időre. A kiváltó okként a 9.3 klímafluktuációt valószínűsítettük, ami a 8.2 hasonló gyors klímaesemény (RCC), és a termohalin cirkuláció megváltozásával hozható összefüggésbe.

A Bukura tó elemzése meglepetéssel szolgált, a diatómaközösség a Holocén során végig, főleg mohákra jellemző fajokból állt. A makrofosszília elemzések is megerősítették, hogy a tó fenéke a vizsgált periódusban végig mohával fedett volt, így a klimatikus változások alig mutathatóak ki a tóban.

A diatómaprodukciónak becslését biogén szilikát (BiSi) mérésével végeztük a Brazi és a Gales tóban, a másik két tóban csak LOI becslés történt. A LOI-t és a BiSi-t ha diatóma zónák szerint átlagoljuk őket, jó betekintést ad a tavi produkció szezonálisára. Összességében, azt tapasztaltuk, hogy a magasabb BiSi alacsonyabb LOI-val társul a Holocénben, vagyis melegebb időszakokban nem-kovavázis algák (ún. soft algák) adják a tavi produkció nagyobb részét, míg hidegebb periódusokban a télvégi, koratavaszi csúcsot adó kovavázisok jellemzőek.

A négy tóból több mint 250 taxont különítettünk el. A tavak flórájáról egy részletes képes összefoglaló (ikonográfia) készült. További adatok a buczko.eu/cryptic oldalon érhetőek el a diatóma és ciszta flórával kapcsolatban.

A négy tóban, a tavi élet jelentős átrendeződése 9000, 6500-6100 között és 3000 cal yr BP körül zajlott a Holocénben. A későglaciálisban a Fiatal Dryas idején (YD; 12,900-11,700 cal yr BP) között látunk határozott átalakulást. Ezt az időszakot három tóban tudtuk vizsgálni, mivel a Bukura esetében a fúrás nem hatolt le ilyen mélyre. A Braziban egy 300-500 éves első szakasz volt kimutatható, amikor a tó vize savanyúbbá volt, ami összefüggésbe hozható a meghosszabbodott téli jégborítással (átlaghőmérséklet csökkenés), amikor a széndioxid nem tudott szabadon távozni a vízből. A Galesben a YD első szakaszában a tó kiszáradt, majd lassan fokozatosan telt meg újra vízzel. A Lia tó, ami egy tófüzér alján helyezkedik el, kiszáradásnak nincs nyoma, viszont a YD második szakaszában a folyó, áramló vizet kedvelő fajok, a *Diatoma mesodon* és *Hanea arcus* magasabb aránya megnövekedett csapadékra utal. Ezek az eredmények összhangban vannak azzal, hogy YD kétosztatú, az első szakasz száraz és hideg, a másodikban (a Holocén kezdetéig) fokozatosan nő a csapadék mennyisége.



2. ábra A LOI és BiSi kovázónák szerinti átlaga a Braziban és Galesban

Összességében a Retyezátban a kovavázás algák szinkron változásait mutattuk ki a tavak mintegy 17-15 ezer éve története során. A tavak keletkezésekor a fragilaroid fajok (*Staurosira*, *Staurosirella*, *Stauroforma* fajok) a jellemzőek a *Genkalia* nemzetség képviselőivel (*G. boreoalpina*, *G. digitulus*, *G. subprocera*). Ezt az együttest gyakran aerophyta fajok magasabb aránya gazdagítja (*Pinnularia borealis*, *Orthoseira roseana*, *Hantzschia* spp.) utalva arra, hogy a talajfejlődés még csak kezdeti fázisban van és a tavak partján a vegetáció gyér. A Holocén kezdete, ami nagyon markáns és gyors változás, a hőmérsékelt hirtelen emelkedésével jellemezhető, a tavak diatóma közösségeit alig befolyásolta. Ca. 9000 évig – a későbbi időszakokkal összehasonlítva – több, nagyobb amplitúdójú változás jellemzi a tavakat. A Holocénben a 6500 (északi oldal) és 6100 cal yr BP-nél (déli oldal) van a legnagyobb változás – ami legalább részben – a napjárással magyarázható; ebben az időszakban a legnagyobb a nyári inszoláció.

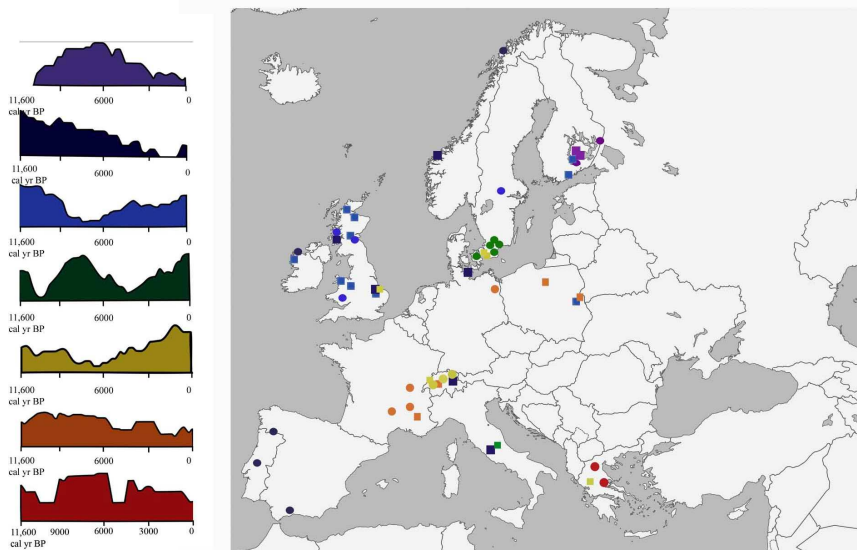
A Brazi tóra kvantitatív pH és foszfor rekonstrukciót végeztünk az európai egyesített adatbázis felhasználásával és ennek eredményei közöltük is a gyors klimatikus változásokkal (RCC-k) párhuzamban. Mivel sok olyan taxon került el a tavakból, amelyek nem szerepelnek az adatbázisokban, ezért a rekonstrukció fenntartással kezelendő. 2011-ben megkezdtük egy lokális kalibrációs adatbázis (training set) felállítását. A Kövér Csilla Phd dolgozatában megjelent felmérés 40 tóból (Fogarás, Páreng, Retyezát) gyűjtött diatóma adatsort mutat be. A diatóma közösség eloszlásáért felelős faktorok a tavak partjának borítottságával, a tavak tengerszint feletti magasságával ill. a vizek konduktivitásával mutatott összefüggést.

Egyik fő célkitűzése volt a munkának, hogy becsüljük a vízszint változásokat az életforma változások alapján. Figyelembe véve a tavak nagyságát, a feltöltődés sebességét (Brazi 7 méteres medrétől már 6 méter üledékkel telt meg), és egyéb szempontokat (pl, hogy a Bukurában a mohák jelenléte elfedi a klímaszignált; a Lia átfolyó rendszer), arra a következtetésre jutottunk, hogy csak a Gales tó vízszintjének becsülésének van realitása. A Gales-ben, az életformák alapján 9300-9000 és 3000-1700 cal yr BP időszakban volt magas a vízszint a kovaalgák jelzése szerint. (1700 év felett üledékhiány van.)

BALATON – TÓ-25-ÖS FÚRÁS

Mint láttuk a hegyi tavakban a vízszint változások nyomon követésére csak korlátos lehetőségek vannak. Ezzel szemben, a Balatonban, mint közép-Európa legnagyobb sekély tavában ez erre több lehetőség nyílik. Az életformákon túl a szalinitás (sótartalom) rekonstrukció és jó proxija a tóban lévő víz tömegének becslésére.

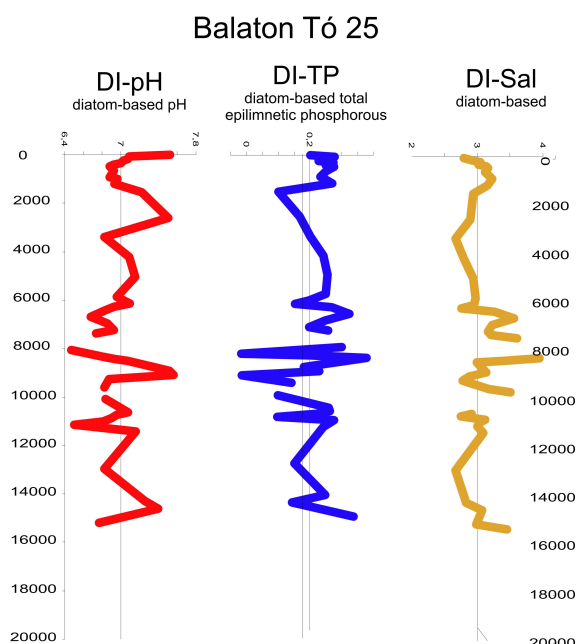
A Holocén kezdetétől a tavak jelentős részének a vízszintje folyamatosan változik és az is általánosan elfogadott, hogy nagyrészt klimatikusn meghatározott a változás. Európában hét fő típust különítettek el, de közép-Európából alig van adat a <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/lake-level-reconstruction> adatbázis szerint.



3. ábra. A vízszintek alakulása Európában, a Holocén során (Harrison et al. 1996) alapján

A Balaton, mint sekély, zárt, nagy felületű tó elvileg ideális vizsgálati objektuma lenne a vízszint ingadozásokra, amelyek a tóban zajlottak annak keletkezése óta. A 19. század végétől sok vizsgálat, kutatás célozta a Balatont. A Tó 25-ös fúrás, a nyolcvanas évek elején mélyült, a tó közepén helyezkedik el. Talpmélysége 10,63 m. Pollenanalízis, osztrakoda, stabilizotóp mérés (oxigén és szén izotópok arányainak változása) eredményeit ismerve kezdhettünk a kovaalga elemzéshez. A fúrás alján, 10,63-9,63 méter között találtunk jelentősebb mennyiségben diatómákat, a halofil *Bacillaria paradoxa* és *Mastogloia smithii* mellett több, a Holocén flórából nem ismert, fajra nem meghatározott forma jellemezte ezeket a (Pannon) mintákat. Ezután, 9,63 és 3,90 méter között az üledék diatóma meddő. 3,90 méter felett először az *Epithemia* nemzetség képviselői jelennek meg, *Cymbella* és a *Gomphonema* fajokkal. Sekély, partközeli mintákra utal a fajösszetétel. Bodor Elvira pollenanalízis adatai alapján (http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleox/f?p=519:1:0:::PI_STUDY_ID:6729) a későglaciális és Holocén határ 3,4 méterre körülire tehető. A diatóma diagram – sok más európai és Európán kívül szelvényhez hasonlóan – nem mutat zónahatárt, vagyis a hőmérséklet emelkedése nem hoz drasztikus változást a diatóma közösség életében. Főleg a bentonikus *Opephora martyi* és fragilaroid fajok dominálnak, egészen 1,6 m-ig. A fajgazdag, jó megtartású rétegeket olykor diatóma meddő szakaszok váltják. Ezután az *Aulacoseira granulata*, eutróf, planktonikus faj válik meghatározóvá a tó életében, ami a víz mélyülésére utal. A legfelső mintában a *Cylotella* s.l. fajok aránya 20% körül van. Ez utóbbi eltolódás egybevág a világ számos tavában kimutatott jelenséggel, miszerint a hosszabb jégmentes időszakok és tavak sztatigráfiájában bekövetkező változások ennek az algacsoportnak kedveznek. A teljes szelvényből kb. 120 faj került elő, amelyeket életmódjuk szerint csoportosítottunk, és az életmód változásból következtettünk a tó vízszint változásaira.

Az európai diatóma adatbázis (<http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp>) felhasználásával kvantitatív pH, epilimnetikus-összfoszfor és sókoncentráció rekonstrukciót végeztünk. Ezek eredménye alapján a



4. ábra. Kovaalga alapú pH, foszfor és sótartalom becslés a Tó25-ös fúrásból

Balaton mezo-eutróf volt, a pH annak ellenére mutat olykor jelentős fluktuációt, hogy nagy a tó pufferkapacitása. A sótartalom rekonstrukció alapján, a Balaton vize időnként közel volt a „sós” vizek sókoncentrációjához, sőt meg is haladta azt, különösen alacsony vízállásoknál (a víz betöményedése). A planktonikus fajok magas aránya kisebb sótartalommal, hígabb vízzel párosult. Korábbi diatóma vizsgálataink szerint (Zalavári-víz, Vörs, Keszthelyi medence) egy nyugat-keleti gradiens mutathat ki a sókoncentráció változásaiban az időbeli fluktuációkon túl. A stabilizotóp-geokémia segítségével szén (C) és oxigén (O) izotópok arányainak változásával is jó egyezést mutat a sótartalom rekonstrukció. A kovaalga alapú vízszint rekonstrukció német és svájci tavak (Lake Jues, Lake Constance, Jura hegyi tavak) mutat hasonlóságot, a koraholocén elején és a közép Holocénben jelez magasabb vízszintet. A neotektonikai mozgásokat és a tó folyamatos töltődését is figyelembe kell venni.

2014-ben Pozdeka Virág, mint PhD hallgató csatlakozott paleolimnológiai munkánkhoz, a siófoki medence diatóma közösségeinek elemzésével. A 2006-ban mélyült fúrás 112 cm hosszú, és ca 7400 évet fed le. Korponai János és Braun Mihály dolgozott korábban a fúrásán, amin LOI, geokémiai elemzés és kladocera analízist végeztek. Eddig 150 faj azosítottunk, *Amphora pediculus*, *Cocconeis neothumensis*, *Pseudostaurosira brevistriata* and *Karayevia clevei* jellemzőek végig a közép és késő Holocénben. Az életformák változásain alapuló vízszint rekonstrukciók jó egyezést mutatnak a korábbi adatokkal. 4400-6300 cal yr BP időszakra rekonstruáltunk magasabb vízszintet a *Lindavia balatonis*, *Puncticulata radiosa* és az *Aulacoseira cf. granulata* relative abundanciája alapján. 46-22 cm-nél (ca. 3000-2000 cal yr BP) egy, a korábbi mintákban nem talált kis-sejtes (<10 μ m) közösség *Sellaphora rotunda*, *S. nigri*, *S. utermoehlii* és *Navicula seminuloides* dominált. Ezt választottuk a tó referencia állapotának, amit a Víz Keretirányelv előír.

SZENT ANNA TÓ

A Keleti-Kárpátok legfiatalabb krátertava, amelynek Holocén diatóma flóráját és közösségeit jelen pályázat megkezdése előtt részletesen elemeztük. A 2010-ben mélyült fúrás 9 méter hosszú és mintegy 26 ezer évet fed le (Magyari et al. 2014). A fúrás szerves anyag tartalma alacsony (1-2%), ennek ellenére diatómára végig vizsgálható volt.

A korábban feltárt Holocén diatóma közösségtől alapvetően különböző flórájú a későglaciális 15000 évnél idősebb része. Alkalikus fajok túlsúlya jellemző (*Hygropetra balfouriana*, *Navicula radiosa*, *Gyrosigma acuminatum*, *Achnanthes fragilaroides*, *Neidium bergii*) a vezérfajok. A rekonstruált pH 7 és 8 között változik, majd 14-15,000 között több mint egy pH egységet csökken, és ezután a diatóma alapú pH rekonstrukció végig a savas tartományban marad. Valószínű magyarázatként a vulkáni utóműködés beindulását vagy fokozódását tartjuk. Emellett szól az is, hogy a nem-kovavázú algáknál hasonló, hirtelen változás történik, vagyis a vízi élet hirtelen átalakul. A Szent Anna tó későglaciális diatóma flórája az

jelenlegi arktikus területeken található flórával mutat hasonlóságot, Románia mai területéről még nem gyűjtötték őket. Ezen eredmények publikálása már a projekt lezárása után valósul meg.

TAXONÓMIAI EREDMÉNYEK

Tudományra újként leírtuk a *Nupela pocsii* Buczkó & Wojtal-t. A későglaciálisban a Retyezátban az egyik jellemző nemzetség a *Genkalia*. Ez a nemzetség több taxonnal is képviselteti magát. A tudományra újként leírtuk a *Genkalia boreoalpina* Wojtal, C.E. Wetzel, Ector, Ognjanova–Rumenova et Buczkó valamint tisztáztuk taxonómiai helyzetét a *G. subprocera* (Hustedt) Wojtal, Ector, C.E. Wetzel, Ognjanova–Rumenova et Buczkó comb. nov.-nak.

A *Planothidium distictum* (Messikommer) Lange-Bertalot a Lia tó későglaciális részéből került elő, nehezen határozható faj. Összehasonlítottuk a típusanyaggal, szinonimizáltuk, és részletes szkenningszerű elektron mikroszkópos vizsgálattal egészítettük ki a faj leírását.

A Chrysophyta ciszták tekintetében leírtunk 7, a tudományra nézve új ciszta morfortípust.

Beszámoltunk a training set-ből *Humidophila fukushimae* (Lange-Bertalot, M. Werum et Broszinski) Buczkó and Kövér comb. nov. második európai előfordulásáról (Kövért et al. 2015), és tisztáztuk a faj taxonómiai pozícióját. Egy-egy új *Sellaphora*, *Humidophila* és a *Staurosirella* faj leírása folyamatban van. Románia területén végzett algológiai eredményeink között szerepel a *Cymbella latestriata* Pantocsek revíziója, a *Navicula rumaniensis* Hustedt, több *Diploneis* faj tisztázása mellett a *D. transylvanica* Jovanovska, Buczkó, Nakov, Levkov leírása. A *Navicula jakovljevicii* nagyméretű formái Romániában gyűjthető, és első Magyarországi előfordulásáról számoltunk be.

REKONSTRUKCIÓK

Európai adatbázisok alapján készítettünk kvantitatív pH, sótartalom és foszfor rekonstrukciót a Retyezát Brazi tavára, a Balatonra és a Szent Anna tó későglaciális részére. Mivel az EDDI adatbázis nem követi a taxonómiai változásokat, valamint nem szerepelnek benne az utóbbi húsz évben leírt fajok, ezért az alkalmazhatósága korlátos. A diatómákkal foglalkozó szakemberek egyetértenek abban, hogy a lokális training set-ek alkalmazása sokkal jobb eredményt ad mint a globális adatbázisoké. A közeljövőben tervezzük a lokális training set-eken alapuló rekonstrukciók publikálását.

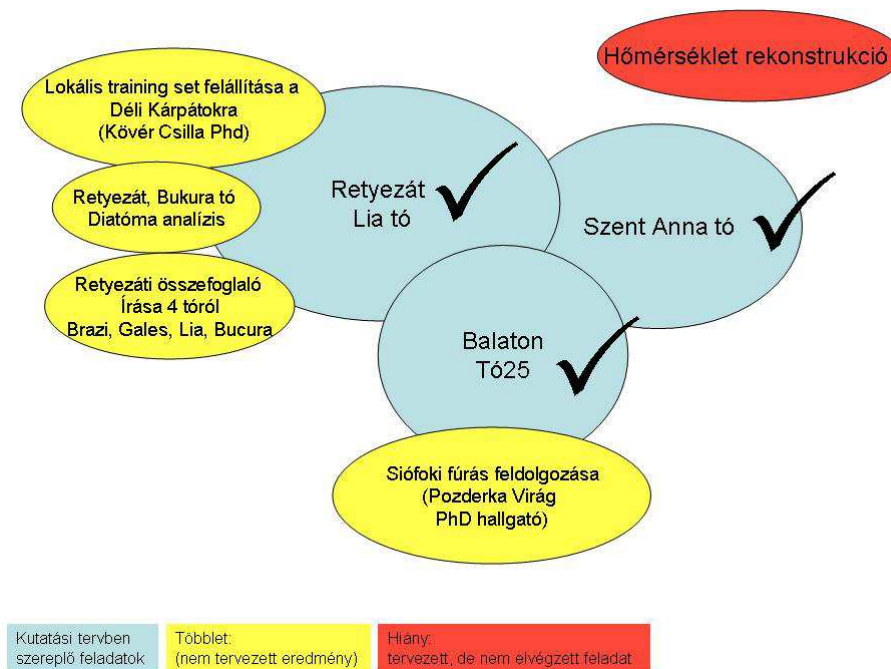
Kovaalga alapú hőmérséklet rekonstrukcióra két módszer ismert. Az egyik, a klasszikus, training set alapú rekonstrukció, amikor a gyűjtés során mért hőmérsékleti adatokból következtetünk a T változásra. Ez főleg arktikus területeken működik jól, ahol a levegő és víz hőmérséklet együtt változik. A saját training set-ünk felhasználásával készült rekonstrukció félrevezető lenne, mivel a gyűjtések nyáron történtek a kovaalga csúcs vizont tél végére, tavaszra tehető. A kovavázak oxigén tartalmának elemzése alapján készült T becslést (Magyari et al. 2013) közölte a Brazi tóra.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 2011-ben indult pályázat célkitűzései megvalósultak, sőt sok ponton kiegészültek. Ezek közül a 40 tóból álló lokális training set felállítása kiemelendő. A pályázat eredményeként illusztrált flóramű készült a retyezáti tavi üledékek diatómáiról, ami a Studia Botanica folyóirat különszámaként jelenik meg. A kutatás öt éve alatt 48 publikáció látott napvilágot, közülük 17 impakt faktorral rendelkező szakcikk, amelyek kumulatív impakt faktora 26,72.

Elindult egy on-line Iconographia a Kárpáti régióra, a szakma által támogatott “web-based taxonomy” koncepció szellemében: buczko.eu/cryptic

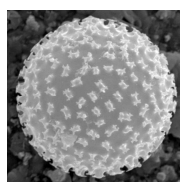
A pályázat utóéleteként még további publikációk megjelenése várható: balatoni összefoglaló Pozderka Virág PhD munkájának keretében, ill. a Szent Anna tó diatóma nagyfelbontású diatóma elemzése.



5. ábra. Összefoglaló ábra az OTKA 83999 pályázat részfeladatainak teljesítéséről

Irodalomjegyzék

- Catalan, J., S. Pla-Rabés, A. P. Wolfe, J. P. Smol, K. M. Rühland, N. J. Anderson, J. Kopáček, E. Stuchlík, R. Schmidt & K. A. Koinig, 2013. Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology* 49(3):513-535.
- Harrison, S. P., G. Yu & P. E. Tarasov, 1996. Late Quaternary lake-level record from northern Eurasia. *Quaternary Research* 45(2):138-159.
- Magyari, E., A. Demény, K. Buczkó, Z. Kern, T. Vennemann, I. Fórizs, I. Vincze, M. Braun, J. Kovács & B. Udvardi, 2013. A 13,600-year diatom oxygen isotope record from the South Carpathians (Romania): Reflection of winter conditions and possible links with North Atlantic circulation changes. *Quaternary International* 293:136-149.
- Magyari, E.K., Veres, D., Wennrich, V., Wagner, B., Braun, M., Jakab, G., Karátson, D., Pál, Z., Ferenczy, G., St-Onge, G. and Rethemeyer, J., 2014. Vegetation and environmental responses to climate forcing during the Last Glacial Maximum and deglaciation in the East Carpathians: attenuated response to maximum cooling and increased biomass burning. *Quaternary Science Reviews*, 106, pp.278-298



6. ábra. Facher & Schmidt #72 sptomatociszta