

Szilícium-dioxid vázas algák alkalmazása környezeti rekonstrukciókban a  
Kárpáti Régióban

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS**



**Soróczki-Pintér Éva**

DOI: 10.18136/PE.2015.593

**Témavezetők:**

**Prof. Dr. Padisák Judit**, intézetigazgató egyetemi tanár, az MTA doktora

Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet  
Limnológia Intézeti Tanszék

**dr. Buczkó Krisztina**, főmúzeológus

Magyar Természettudományi Múzeum Növénytára

Pannon Egyetem  
**Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola**  
Veszprém

2015

**SZILÍCIUM-DIOXID VÁZAS ALGÁK ALKALMAZÁSA KÖRNYEZETI  
REKONSTRUKCIÓKBAN A KÁRPÁTI RÉGIÓBAN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:  
Soróczki-Pintér Éva

Készült a Pannon Egyetem Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskolája keretében

Témavezető: Prof. Dr. Padisák Judit

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....  
(aláírás)

dr. Buczkó Krisztina

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... % -ot ért el,

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: .....igen /nem

.....  
(aláírás)

Bíráló neve: .....igen /nem

.....  
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el.

Veszprém,

.....  
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....  
Az EDHT elnöke

# Tartalomjegyzék

Ábrák jegyzéke.....	5
Táblák jegyzéke.....	7
Kivonat.....	8
Abstract.....	9
Zusammenfassung.....	10
1 Bevezetés.....	12
2 Irodalmi áttekintés.....	14
2.1 Szilícium-dioxid vázas algák alkalmazása paleoökológiai vizsgálatokban.....	14
2.2 Hazai kovavázás algák paleolimnológiai kutatása.....	19
3 Célkitűzés.....	20
3.1 A Gales tó kovaalga flórája.....	20
3.2 A Gales tó fejlődéstörténete.....	20
3.3 A Gales tó vízszintváltozásai.....	20
3.4 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája.....	20
4 Anyag és módszer.....	21
4.1 Mintavételi helyszín.....	21
4.2 Mintavétel.....	23
4.3 Laboratóriumi feldolgozás.....	24
4.3.1 Radiokarbon kormeghatározás és a kor-mélység függvény.....	24
4.3.2 Szervesanyag és biogén szilikát tartalom analízis.....	24
4.3.3 Szilícium-dioxid vázas algák elemzése.....	25
4.3.4 Alkalmazott statisztikai módszerek.....	28
5 Eredmények.....	30
5.1 A Gales tó szilícium-dioxid vázas algaközösségei.....	30
5.1.1 A Gales tó kovaalga flórája.....	30
5.1.2 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája.....	32
5.2 A Gales tó fejlődéstörténete a szilícium-dioxid vázas algák alapján.....	36
5.2.1 A kovavázás szervezetek zonációja.....	36
5.2.2 A klaszteranalízis validálása.....	44
5.2.3 A Gales-3 szelvény diatóma zónái.....	48
5.2.4 A kovavázás szervezetek ordinációja.....	54
5.2.5 A biogén szilikát tartalom változása.....	58
6 Értékelés.....	60
6.1 A Gales tó szilícium-dioxid vázas algaközösségei.....	60
6.1.1 A Gales tó kovaalga flórája.....	60
6.1.2 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája.....	60
6.2 A Gales tó fejlődéstörténete a szilícium-dioxid vázas algák alapján.....	62
6.2.1 Indikátor és domináns kovaalga taxonok.....	67
6.2.2 Chrysophyta ciszta szukcesszió.....	68
7 Kitekintés.....	70
8 Összefoglalás.....	72
9 Köszönetnyilvánítás.....	74
10 Irodalomjegyzék.....	76
11 Tudományos tevékenység adatai.....	88
12 Eredmények tézisszerű összefoglalása.....	91
12.1 A Gales tó kovaalga flórája.....	91
12.2 A Gales tó fejlődéstörténete a vízszintváltozás tükrében.....	91
12.3 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája.....	91

13 Results of the studies.....	93
13.1 Diatom assemblages in Lake Gales .....	93
13.2 Diatom succession in the sediment of Lake Gales, window to lake level changes ..	93
13.3 Chrysophycean stomatocysts in Lake Gales (Southern Carpathian, Romania) .....	93
14 Függelék I.....	95
Függelék II. ....	101
Függelék III. ....	104

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

- 1. ábra** A Gales tó a Retyezát-hegység (Dél-Kárpátok) északi oldalán (Sík Eduárd fotója, 2004)
- 2. ábra** A vizsgálat helyszíne; **a:** Kárpát-medence, **b:** Dél-Kárpátok elhelyezkedése, **c:** Retyezát-hegység térképe, **d:** a Gales tó batimetrikus térképe, jelölve a mintavétel pontját (x)
- 3. ábra** A Gales-3 fúrás kor-mélység modellje és a szervesanyag tartalom (LOI) változása a mélység függvényében. A pollen és kovaalga analízis (zöld) a fúrás teljes hosszában, a sztóma (világosbarna) és a makrofosszília (sötétbarna) analízis a Holocén mintákon készült (Magyari *et al.* 2009b)
- 4. ábra** A Chrysophyta sztomatociszta sematikus rajza Duff *et al.* (1995) nyomán
- 5. ábra** Chrysophyta ciszták pórus és gallér elemei Duff *et al.* (1995) nyomán
- 6. ábra** Néhány gallértípus és díszítőelem a Gales-3 fúrásból származó sztomatocisztákon
- 7. ábra** C113 ciszta a Gales-3 szelvény 152 cm-es mintájából
- 8. ábra** *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot
- 9. ábra** *Navicula detenda* Hustedt
- 10. ábra** *Neidium* sp. a Gales-3 fúrásból
- 11. ábra** A Gales-3 teljes kovaalga fajlistájának mélység szerinti zonációja, kiemelve az *Aulacoseira* (piros) -, és a fragilaroid fajokat (kék). A sztratigráfiai diagram tartalmazza a ciszta-kovaalga arány (C:D) trendjét (lila), és a CONISS által képzett zónákat (G-1-10). A statisztikailag nem megbízható adatsor (208 cm alatti minták, 300 példány alatti egyedszám) kitakarásban (világoszöld) látható.
- 12. ábra** A Gales-3 fúrás zónái. Balról jobbra haladva Litosztratigráfia: Troels-Smith féle üledékrétegtani zóna, Magyari *et al.* (2009) adatai alapján, D+C: összes kovaalga taxon és ciszták alapján képzett zóna (180 taxon), D: összes kovaalga taxon (179 taxon) alapján képzett zóna, Gen: nemzetségszintű összevonással (39 csoport) kapott kovaalga zóna, D+: domináns kovaalga taxonokon és nemzetségszintű összevonással képzett kovaalga csoportokon (56 taxon) alapuló zóna (Soróczki-Pintér *et al.* 2012, 2014), Életmód: az 1. táblázat (Függ. I.) 2. oszlopában található csoportok alapján képzett zóna
- 13. ábra** A kovaalgák életforma szerinti csoportjai a Gales-3 szelvényben. A világoszöld takarásban lévő késő-glaciális időszak életformái statisztikailag nem megbízható eredmények (300 váz szám alatti minták)
- 14. ábra** A Gales-3 szelvény néhány jellemző kovaalgájának és nemzetségeinek mélység szerinti zonációja a késő-glaciális időszak végén és a Holocénben a statisztikailag értékelhető minták felhasználásával
- 15. ábra** A Gales-3 szelvény Chrysophyta sztomatociszta-kovaalga frusztrum arány [C:D] változása az 56 diatóma taxonon alapuló 10 fő diatóma-zóna függvényében
- 16. ábra** A Gales-3 szelvény klaszteranalízisének dendogramja az újramintavételezés módszerét („method.hclust=average”, „method.dist=euclidean”, nboot=10000) alkalmazva. A dendogramon levő piros számadat jelöli a valószínűségi értéket („AU p-value”). Kék négyzet mutatja a szignifikáns klasztereket, míg sárgával a statisztikailag nem megbízható

csoportok jelennek meg. A pirossal jelzett mélységi adatok (cm) „outlier” adatoknak tekinthetők

**17. ábra** Az újramintavételezés módszerével („method.hclust=average”, „method.dist=euclidean”, nboot=10000) kapott p-értékek standard hibaértékei a Gales-3 szelvénybe

**18. ábra** A Gales-3 szelvény Holocén szakaszának (208 cm-től) PCA biplot ábrája az első (27,4%) és második (11%) főtengety mentén. A négy centiméterenként vett mintákat fekete körök jelölik, közepén a mélység megnevezésével. A klaszteranalízissel meghatározott zónákat különböző színek jelölik (DAZ-10-9=sárga, DAZ-8=zöld, DAZ-7-4=lila). A diatómákat piros szín jelöli, kivéve a kézzel jelölt *Aulacoseira* nemzetséget és az *Encyonema gaeumannii* taxont (52 minta és 75 faj/fajcsoport alapján)

**19. ábra** A Gales-3 szelvény Holocén szakaszának (208 cm-től) PCA biplot ábrája az első (27,4%) és a második (11%) főtengety mentén, a 7 diatóma zóna (DAZ-10-4) feltüntetésével. A négy centiméterenként vett mintákat fekete körök jelölik, közepén a mélység megnevezésével. Zónák jelentése: sárga=DAZ-10-9; világoskék=DAZ-10; zöld=DAZ-8; lila=DAZ-7 (160-176 cm), alkategória DAZ-6 (180 cm), DAZ-5 (184, 192 cm), DAZ-4 (196, 200 cm)

**20. ábra** A főkomponens analízis első három főtengetye által meghatározott minták térbeli ábrázolása, a háromdimenziós kocka lapjai felől tekintve. Az ábrákon piros kör jelöli a *Fragilaria gracilis* dominált DAZ-6-os zóna mintáit, amely a 3. főtengety mentén válik el. További zónák: sárga=DAZ-10, sötétkék=DAZ-9, zöld=DAZ-8 lila kör=DAZ-7, világoskék kör=DAZ-5-4

**21. ábra** A PCA elemzés során kapott első három főkomponens variancia értékei a mélység függvényében

**22. ábra** A Gales-3 szelvény második főkomponens súlya, a LOI (Magyari *et al.* 2009b alapján) és a kovaalga fajsúly összehasonlító ábrája

**23. ábra** Gales-3 szelvény összehasonlító ábra: Üledéksztratigráfia; ciszta-kovaalga arány (C:D); biogén szilikát (SiBio/Al); szerves anyagtartalom (LOI); a főkomponens analízis második főtengetye; planktonikus kovaalgák aránya; valamint a domináns fajok és nemzetségszintű összevonások után készült diatóma zónák a mélység függvényében

**24. ábra** Két retyezáti gleccser tó, a Brazi (Buczko *et al.* 2013a) és Gales kovaalgáinak életforma szerinti megoszlása a késő-glaciálisban és a Holocénben az idő függvényében, a kora- közép- és késő-Holocén időszak feltüntetésével (Walker *et al.* 2012 alapján)

**25. ábra** A Gales-3 szelvényben a kovaalga életformák alapján képzett csoportok főkomponens analízis eredményének (kettős-szórás) biplot ábrája. A CONISS által képzett, statisztikailag értékelhető diatóma zónákat (DAZ10-4) körök jelzik

**26. ábra** A 180 cm-nél egyedi kiugrást mutató *Fragilaria gracilis*, a Chrysophyta ciszta és kovaalga arány (C:D) és néhány jellegzetes kora-, közép- és késő-Holocénben jellemző ciszta morfortípus relatív gyakoriságának alakulása a Gales-3 szelvény késő-glaciális és Holocén üledékében

## TÁBLÁK JEGYZÉKE

**1. táblázat** A Gales-3 fúrás kovaalga fajlistája a késő-glaciális és Holocén időszakban, ahol „ÉF”: kovaalga életforma [A=aerofita; B=bentonikus; P=perifitikus; PL=planktonikus; R=rheofil], „Csoport”: a szűkített elemzésben faji, nemzetség illetve csoport szintű kategóriába sorolás, „kód”: akroním kód van Dam *et al.* (1994) alapján, „rel.ab.LG”: az adott taxon késő-glaciális időszakra vonatkozó relatív gyakorisága [%], „konst.LG”: adott taxon késő-glaciális konstanciája [1: 1-20, 2: 21-40, 3: 41-60, 4: 61-80, 5: 81-100 %-ban van jelen az adott taxon az összes mintára vonatkozólag], „rel.ab.Hol”: az adott taxon Holocén időszakra vonatkozó relatív gyakorisága [%], „konst.H”: adott taxon Holocén időszakra vonatkozó konstanciája

**2. táblázat** A Gales-3 fúrásban azonosított Chrysophyta sztomatociszta típusok, feltüntetve a leírókat. A „C” előjel a kárpáti (=„Carpathians”) előfordulásra utal. A táblázat tartalmazza az egyes morfortípusok különböző módszerrel adott sorszámait is Duff *et al.* (1995), Facher & Schmidt (1996), Wilkinson *et al.* (2001), Pla (2001) és Kamenik (2010) alapján

**3. táblázat** Az egyes főkomponensek által leírt változatosság aránya és annak összegződése a Gales-3 fúrás Holocén időszakában (52 minta 75 fajcsoport)

**4. táblázat** Az egyes főkomponensek által leírt változatosság aránya és annak összegződése a Gales-3 fúrás Holocén időszakában, a kovaalga életmód szerint csoportosított adatokon (52 minta 4 csoport)

## KIVONAT

Szilícium-dioxid vázas algák alkalmazása környezeti rekonstrukciókban a Kárpáti Régióban

A doktori értekezésben bemutatott kutatás célkitűzése az volt, hogy egy komplex paleoökológiai állapotrekonstrukciót célzó kutatás keretében feldolgozza és bemutassa a Retyezát-hegység (Dél-Kárpátok, Románia) magashegységi tavában, a Gales tóban fosszilizálódott kovaalga és Chrysophyta ciszta közösséget. A nagyfelbontású kovaalga- valamint a kislebontású cisztaelemzéssel, a szilícium-dioxid vázas flóra összetételének változása alapján a késő-glaciális és Holocén időszakban végbemenő hidrológiai és klimatikus változásokra lehet következtetni. A Chrysophyta cisztaelemzéssel nyert taxonómiai adatbázis alapját képezheti a Retyezát-hegység más tavaiban végzendő elemzéseknek. Hét Chrysophyta ciszta típus a tudományra nézve újnak tekinthető.

Erre vonatkozóan tudományos eredmények a következők:

- (1) a felszínformáló munkát végző pleisztocén jégár visszahúzódását követően, a 15 500 évvel ezelőtt kialakult Gales gleccsertő kezdeményben ~ 14 200 kal. BP évtől kezdődően a bentonikus kovaalga taxonok a tavi ökoszisztéma első tagjai.
- (2) a késő-glaciális csapadékos és hőmérsékletemelkedéssel járó Bølling/Allerød interstadiálisában a kiszáradást nem toleráló taxonok arányának növekedése a gleccsertő vízszint emelkedésére utal, ami a Fiatal Driászig tart (12 900 kal. BP évig).
- (3) a Fiatal Driász kezdetén (12 900 kal. BP évtől) időszakos szárazodásra vagy kiszáradáshoz közeli állapotra utal a kovavázak számának drasztikus csökkenése, valamint az aerofita fajok dominanciája.
- (4) ~9500-9000 kal. BP év között a kovaalga flóra összetételben markáns változás figyelhető meg: a gyengén kovásodott, túszerű planktonikus *Fragilaria gracilis* Østrup dominanciája, tömeges megjelenése (70% feletti relatív gyakoriság) 9210 kal. BP évhez köthető, ami magas vízszint kialakulására utal. Ugyanekkor a szervesanyag tartalom helyi minimuma és a C:D arány jelentős csökkenése a fokozódó erózió és a visszaszoruló belső produkció következménye lehet, amelyet az a lokális éghajlati esemény indukált, amely fokozott téli és tavaszi csapadékossgal és lehüléssel járt. Ez a jól korolt diatóma-csúcs összefüggésben állhat az északi féltekén a „9.3-ka” éghajlati anomáliával, amely az Atlanti-óceánba áramló nagy mennyiségű, a jég olvadásából származó édesvíz miatt, a termohalin cirkuláció gyengülésén keresztül lehülést hozott az észak atlanti régióban (Fleitmann *et al.* 2008).  
~9200 kal. BP évnél a ciszta közösségben is markáns változást tapasztalható: egy viszonylag nagyméretű, felszínén erősen díszített tojásdad alakú ciszta (S072) vált a ciszta közösség meghatározó tagjává.
- (5) 9150 kal. BP évtől kezdődően a tychoplanktonikus *Aulacoseira* taxonok arányának folyamatosan növekedésével a kovaalga taxonok életforma szerinti átrendeződése veszi kezdetét, amely ~3700 kal. BP évtől markáns változásban nyilvánul meg: a korábban domináns fragilaroid taxonok háttérbe szorulása és a tychoplanktonikus *Aulacoseira* nemzetség dominanciája a vízszint emelkedésére utal.
- (6) A Gales tóban azonosított *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot és a *Navicula detenda* Hustedt kovaalga fajok Románia flórájára nézve új adatoknak tekinthetőek.
- (7) A teljes üledékoszlopot lefedő tíz zóna mentén meghatározott Chrysophyta ciszta adatsor egy, a Dél-Kárpátokra nézve új taxonómiai adatbázis alapját jelenti: 83 már leírt és 7 a tudományra nézve új ciszta morfortípussal.

## ABSTRACT

Use of siliceous algae in the environmental reconstruction in the Carpathian Region

The aims of this Ph.D. thesis were to provide information about the siliceous algae microfossil (diatoms and Chrysophycean cysts) composition from Lake Gales (Retezat Mts, Southern Carpathians, Romania) as part of a Late Quaternary palaeoecological multi-proxy study. A 328 cm long sediment sequence (Gales-3, 45°23'6"N, 22°54'33"E) from Lake Gales was analysed using siliceous algae. Our research using high resolution diatom, and low resolution cyst analyses was focused on ecosystem response to climate change during the late-glacial and Holocene periods. A preliminary taxonomical cyst-database including seven new cyst forms was developed for further stratigraphical analyses in Retezat lakes.

The new results are the following:

- (1) After the retreat of Late Pleistocene glaciers, from ~ 14,200 cal yr BP continuously increasing benthic diatom abundance can be detected suggesting the formation of a shallow, permanent lake in the history of 15,500 year-old Lake Gales
- (2) In the warm and moist Bølling/Allerød interstadial as final stage period of Late Pleistocene close to the Younger Dryas (ca. 12,900 cal BP yr) abundance of non-aerophytic diatom taxa increased.
- (3) At the onset of the Younger Dryas (12,900 cal BP yr) the author detected a sharp decrease in diatom frequency and abundance of diatom frustules that remarkably decreased and relative abundance of aerophytic taxa significantly increased suggesting seasonal aridity or dessication of the lake.
- (4) The most remarkable changes in the diatom record. have been detected between ~9,500-9,000 cal yr BP, when a spine like, lightly silicified diatom, *Fragilaria gracilis* Østrup became dominant reaching more than 70% at 9,210 cal yr BP. Loss-on-ignition inferred organic content showed a local minimum (from 20% to 14%) and C:D ratios also decreased in this period. High lake level, increasing erosion and decreasing in-lake productivity can be inferred that likely connectable to increasing winter and spring moisture availability and cooling in this short time period. This diatom peak is unique, peculiar, and well-dated. Presumably linked to the 9.3-ka widespread and significant climatic anomaly triggered by a meltwater pulse into the North Atlantic. Many high-resolution proxy studies prove the cooling because of the slow-down of the thermohaline circulation at high and mid-latitudes in the Northern Hemisphere (Fleitmann *et al.* 2008).  
A particular change in stomatocyst record was detected around 9,200 cal yr BP: relative abundance of a large, ovoid stomatocyst with densely ornamented wall surface (C072) continuously increased reaching a remarkable peak.
- (5) After 9,150 cal yr BP the relative frequencies of *Aulacoseira* species increased gradually replaced the fragilaroid diatoms. Subsequently, the most remarkable changes in diatom record were observed at 3,700 cal yr BP in the Holocene, when planktonic diatoms became dominant indicating increasing water level in the last 3,700 years.
- (6) Two diatom species from Lake Gales *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot and *Navicula detenda* Hustedt are new for Romanian algae flora.
- (7) I proposed a preliminary taxonomical stomatocyst database from the low resolution cyst sequence in Lake Gales that can be used further stratigraphical analyses in the Southern Carpathian mountain lakes. In this thesis eighty-three cyst forms were identified and seven cyst forms were formally described as new for science.

# ZUSAMMENFASSUNG

## Zur Verwendung von Kieselalgen in Umweltrekonstruktionen in der Karpaten-Region

Die vorliegende Dissertation setzt sich das Ziel, im Rahmen einer paläoökologischen Multi-Proxy-Untersuchung zum späten Quartär die kieselsäurehaltigen Mikrofossilien (Diatomeen und Chrysophyceen-Zysten) des Gales-Sees, eines der Gletscherseen im Retezat-Gebirge in den Südkarpaten (Rumänien), zu rekonstruieren und darzustellen. Analysen der Kieselalgen in hoher und der Zysten in niedriger Auflösung in einer 328 cm langen Sedimentfolge des Gales-Sees (Gales-3, 45°23'6"N, 22°54'33"E) ermöglichen ausgehend von Veränderungen in der Kieselalgen-Flora Schlussfolgerungen bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem im Spätglazial und dem frühen Holozän. Die taxonomische Datenbank, die auf der Basis der Analyse und Beschreibung von Zysten erstellt wurde, kann die Grundlage weiterer stratigraphischer Untersuchungen in anderen Gletscherseen des Retezat-Gebirges bilden. Zudem konnten in der vorliegenden Untersuchung sieben Zystentypen identifiziert werden, die in der Forschung als neu gelten können.

Damit im Zusammenhang lassen sich folgende wichtige Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anführen:

- (1) Nach dem Rückzug oberflächenformender Gletscher im späten Pleistozän erhöht sich die Zahl benthischer Kieselalgen im anfänglichen Zustand des 15.500 Jahre alten Gales-Sees von der Zeit um 14.200 cal BP an kontinuierlich. Dies deutet darauf hin, dass der See permanent vorhanden und flach war.
- (2) Im warmen und feuchten Bølling-/Allerød-Interstadial zum Ende des späten Pleistozän zeigt der immer größere Bestand an nicht-aerophytischen Kieselalgen-Taxa einen bis zur Jüngerer Dryas (ca. 12.900 cal BP) andauernden Anstieg des Wasserspiegels im Gletschersee.
- (3) Zu Beginn der Jüngerer Dryas (ab ca. 12.900 cal BP) lassen sich deutliche Änderungen in Anzahl und Häufigkeit der Kieselalgen feststellen: Der starke Rückgang an Kieselalgenfrusteln und die relative Häufigkeit aerophytischer Taxa deuten auf vorübergehende trockene Perioden oder auf einen der Austrocknung ähnlichen Zustand des Sees hin.
- (4) Für die Periode um 9500-9000 cal BP können große Veränderungen in der Diatomeen-Sequenz beobachtet werden: Eine nadelförmige, leicht verkieselte Kieselalge, die *Fragilaria gracilis* Østrup, wird dominant, indem sie um 9200 cal BP eine relative Häufigkeit von über 70% erreicht. Zur gleichen Zeit können ein lokales Minimum an organischer Substanz und eine starke Abnahme des C-D-Verhältnisses beobachtet werden. All das weist auf einen hohen Wasserspiegel hin. Auf der Grundlage niedriger Werte im Glühverlust und unter Berücksichtigung des Rückgangs an Chrysophyceen-Zysten und Kieselalgenzellen können eine zunehmende Erosions- und eine abnehmende Seeproduktivität angenommen werden, die wiederum als mögliche örtliche Folgen vorübergehender größerer Feuchtigkeit und stärkerer Abkühlung im Winter und Frühjahr um 9200 cal BP zu betrachten sind. Das Gales-Ereignis ist einzigartig, gut datiert (zwei unabhängige Stichproben gleichen Alters) und steht wohl im Zusammenhang mit einer Klimaanomalie um 9.3 ka, die durch das Eindringen von Schmelzwasser in den Nordatlantik ausgelöst wurde und die weltweit durch viele Proxy-Studien in hoher Auflösung unterstützt wird. Die genannte Abkühlung ist dabei eindeutig auf die Abschwächung der termohalinen Zirkulation zurückzuführen (Fleitmann *et al.* 2008). Bezüglich der Zysten-Sequenz um 9200 cal BP kann zudem festgestellt werden, dass die relative Häufigkeit einer großen, ovalen Zyste mit dicht verzierter Wandfläche (C072)

kontinuierlich ansteigt und mit einer relativen Frequenz von >50% einen Höhepunkt erreicht.

- (5) Mit der kontinuierlichen Zunahme an Aulacoseira-Taxa geht von 9150 cal BP an eine Umstrukturierung der Lebensformen von Kieselalgen einher. Dies schlägt sich in einem großen Wandel um ca. 3700 cal BP im Holozän nieder: Planktonische Aulacoseira-Taxa werden gegenüber fragilaroiden Taxa dominant und ersetzen diese. Diese Veränderungen signalisieren einen ansteigenden Wasserspiegel.
- (6) Die im Gales-See identifizierten Algen *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot und *Navicula detenta* Hustedt können hinsichtlich der rumänischen Algenflora als neue Daten betrachtet werden.
- (7) Die vorgelegten Daten zu Chrysophyceen-Zysten repräsentieren alle zehn Sedimentschichten und können die Grundlage einer taxonomischen Datenbank für weitere stratigraphische Analysen in Gletscherseen der Südkarpaten bilden. Diese Datenbank enthält 83 bereits zuvor beschriebene Formen und dokumentiert außerdem sieben in der Forschung bislang nicht bekannte Zysten-Formen.

# 1 Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben az éghajlatváltozással kapcsolatos vizsgálatokban egyre nagyobb szerephez jutottak a tavak üledékét vizsgáló paleoökológiai, paleolimnológiai célzatú kutatások, miután egyre nagyobb számban tárták fel a tavi üledékben zajló fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat és az azokhoz kapcsolható környezeti változásokra vonatkozó információtartalmat. A magashegységi tavak - zavartalan üledékképződést feltételezve - különösen alkalmasak a fenti célzatú kutatásokhoz. Ha csupán a tavi üledékekben megőrződött biológiai maradványok paleoökológiai vizsgálatát vesszük górcső alá, a szukcessziós mintázat vizsgálatán keresztül akár több ezer évre visszamenőleg, szerencsés esetben a tó teljes történetét lefedve képet kapunk a tó hidrológiai, produktivitással kapcsolatos állapotát, partmenti vegetáció mintázatát illetően (pl. Davidson & Jeppesen 2013, Magyari *et al.* 2012).

Az éghajlatváltozás szempontjából a bioszféra legsérülékenyebb területei közé tartoznak a magashegységi élőhelyek (pl. Tinner & Kaltenrieder 2005), mivel a függőleges zonációt az alacsony hőmérséklet befolyásolja, másrészt az endemikus fajok megléte miatt konzervációbiológiai szempontból biológiai hotspotok. Ha figyelembe vesszük a klímakutatás által korábban kimutatott felszín-közeli éves középhőmérséklet 0,7°C-os emelkedését, beleértve a modellszimulációs vizsgálatok előrejelzését, amely jelen századunk végére - az 1961-1990-es referencia időszakhoz képest - 1,2-5,8°C-kal magasabb átlaghőmérsékletet prognosztizált (IPCC 2001), akkor a magashegységi ökoszisztémák, különösen a tartós hóborítás nélküli területek (pl. Theurillat *et al.* 1998) vizsgálata kulcsfontosságú.

A globális éghajlatváltozás okozta összetett környezeti problémák jelentőségével foglalkozó kutatások eredményeihez (IPCC 2013), a jelenleg is zajló klímaváltozás megértéséhez, előrejelzéséhez nagyban hozzájárultak a Holocénben (~11 700 kal. BP évtől) végbemenő éghajlati változások hatásainak vizsgálata, megértése. A legalaposabban kutatott időszaknak kétségtelenül a késő-glaciális/Holocén átmenet tekinthető, amely - földrajzilag eltérő amplitúdóval -, de határozott hőmérsékletemelkedést idézett elő ~11 700 évvel ezelőtt, abiotikus és biotikus indikátorok tucatjai által bizonyítva az éghajlatváltozási anomáliát (pl. Gavin *et al.* 2011). A másik különösen fontos időszak a közép-Holocénben meghatározott „optimum”, miután a Holocén második felében elinduló emberi hatások (pl. legeltetés, erdőégetés, ipari forradalom utáni hatások, atmoszférikus gáz kibocsátás hatásai) súlyos nyomot hagytak az ökoszisztéma szerkezetében, és néhány ezer éve lokális és regionális szinten - elsősorban a benépesült területeken - elindították a biodiverzitás csökkenésében, élőhely degradációban, fajok eltűnésében megjelenő változásokat.

A Föld valamennyi élőhely típusára kiterjedő paleoökológiai kutatások közül az arktikus területekre fókuszáló, és a grönlandi jégmezőkön (pl. NGRIP members 2004) végzett jégfúrások tekinthetők a legismertebbeknek (pl. Douglas & Smol 1999, Taylor *et al.* 2001), míg Európa magashegységi régiói közül az Alpok a legsokrétűbben vizsgált régió, mind aktuál-, mind paleolimnológiai vonatkozásban (pl. Lotter *et al.* 1997, Lotter & Bigler, 2000, Lotter *et al.* 2002, Lotter & Birks 2003). Ha a késő-glaciális/Holocén átmenet időszakára fókuszálunk, az ökoszisztéma kiterjedését vizsgáló paleoökológiai kutatások igazolták, hogy az Alpokban a GS-1 (Greenland Stadial)/Holocén éghajlatváltozás igen intenzív, 3-4 °C-os melegedést jelentett 48 éven belül (pl. Schwander *et al.* 2000), vagyis az utolsó glaciális maximumkor kialakuló európai alpin ökoszisztémák a Holocén kezdetén (~ 11 700 kal. BP év), a melegedés hatására visszaszorultak (pl. Birks & Willis 2008). Hasonló, kora-Holocén nyári hőmérséklet gyors emelkedésről számoltak be a Közép-Kelet-Európában, a Dél-Kárpátokban végzett vizsgálatok során, igaz a melegedés a nyugat-európaihoz képest kisebb intenzitású volt, a nyári átlaghőmérséklet 2,8 °C-kal volt magasabb a mainál, az erdőhatár pedig a mainál

magasabban, 2000 méter körül húzódtott 10 600-10 300 kal. BP év között (Magyari *et al.* 2012).

A Dél-Kárpátok területe kiváló bizonyítéka, lenyomata a pleisztocén eljegesedésnek, (pl. Reuther *et al.* 2007). Már a 19. század végétől elindultak az első, felszínformákat bemutató áttekintések, leírások (pl. Lehmann 1885, Lóczy 1904, Martonne 1907, Kräutner 1930). Az eljegesedés időszakainak pontos meghatározása (pl. Niculescu 1971) után a Dél-Kárpátok két legmarkánsabb glaciális eseményét is bizonyították (pl. Urdea & Reuther 2009). Az M1 (másnéven Lolaia) és M2 (Capra-Judele) pleisztocén jégár az alpesi Riss és Würm időszaknak feleltethetőek meg (pl. Niculescu *et al.* 1983).

A Dél-Kárpátok nyugati részén található Retyezát-hegység pleisztocén eljegesedését (pl. Urdea 2000) jelenleg is vizsgálják (pl. Kern *et al.* 2004, Vespremeanu-Stroe *et al.* 2012), a glaciális tevékenységek részletes kormeghatározására, az eljegesedés időtartamára, kiterjedésére, és az eljegesedést indukáló éghajlati események feltárására vonatkozóan. Emellett a periglaciális képződmények (morénás gleccserek) kutatása (pl. Urdea 1993, Vespremeanu-Stroe *et al.* 2012) is kiemelt fontosságú, mivel a mérsékelt hegyvidéki permafroszt legalsó és egyben Európa legkeletibb előfordulása itt található.

A gleccserkutatás, geokronológiai vizsgálatok (pl. Urdea 2004) intenzitásához képest paleokörnyezeti aspektusból a Dél-Kárpátok, általában a közép-kelet-európai térség kevésbé kutatott régiójának számít (pl. Lotter & Hofmann 2003). Ennek a hiánynak a kiküszöbölésére 2007-ben dr. Magyari Enikő vezetésével a hegység négy gleccsertavában (Brazi, Gales-, Lia- és Bukura-tó) egy komplex, multi-proxi paleoökológiai, paleolimnológiai kutatás, az ún. PROLONG<sup>1</sup> vette kezdetét, amely a késő-glaciális és Holocén időszak környezeti változásainak megismerésére, az éghajlati események feltárására irányult. Szerteágazó publikációk jelentek meg a szubalpin fekvésű Brazi-tó késő-glaciális és Holocén szelvényének növényi makrofosszília, pollen (Magyari *et al.* 2009b, 2012), szilícium-dioxid vázas algák (Buczko *et al.* 2009b, 2013a), osztrakoda, kladocera (Korponai *et al.* 2011), és árvaszúnyog maradványok (Tóth *et al.* 2012) feldolgozásával, valamint a geokémiai (Braun *et al.* 2013) vizsgálatokkal kapcsolatban. Elkészült a kovaalga alapú teljes epilimnetikus foszfor és a pH rekonstrukció (Buczko *et al.* 2012). A diatóma alapuló oxigén izotóp mérés által pedig hőmérséklet rekonstrukció (Magyari *et al.* 2013) készült. A Gales-szelvényből a radiokarbon koradatok (Magyari *et al.* 2009b) mellett a tavat körülvevő vegetáció fejlődése, és a késő-glaciális és kora-Holocén időszakban végbemenő gyors felmelegedési és lehülési események (Magyari *et al.* (2012) kerültek publikálásra.

Jelen dolgozatban, a fenti kutatás részeként, a rendelkezésemre bocsátott koradatok ismeretében a 15 500 éves Gales tó fosszilis szilícium-dioxid vázas algaközösségének a feltárásával a tó történetének vízszintváltozásait igyekeztem azonosítani. A nagyfelbontású kovaalga adatsor, vízszint rekonstrukció és az előtanulmányban induló Chrysophyta ciszta adatbázis hiánypótló munka a Dél-Kárpátokra nézve.

---

<sup>1</sup> PROLONG: **Providing long** environmental and genetic records of glacial and interglacial climatic oscillations and human impact in the Carpathian Basin

## 2 Irodalmi áttekintés

A bevezető fejezetben a késő-glaciális és Holocén időszakot érintő környezeti hatások jelentőségére, és a változások megismerésére alkalmas paleokörnyezeti módszerek hatékonyságára világítottam rá. Ebben az áttekintésben a paleolimnológiai kutatásban alkalmazott biotikus élőlénycsoportnak, a szilícium-dioxid vázas algáknak a környezetváltozást indikáló tulajdonságával foglalkozom, valamint összefoglalom a Chrysophyta ciszták nevezékánál kapcsolatos ismereteket. A fejezet végén ezen biotikus proxikon alapuló hazai vizsgálatokról adok egy rövid áttekintést.

A víztestek élőlénycsoportokkal történő ökológiai állapotathatározása és monitorozása világviszonylatban egységesen elfogadott. Az 1990-es évektől a vízi ökoszisztémák folyamatos biológiai monitorozásának igénye világszerte egyre sürgetőbbé vált, elsősorban az emberi tevékenységek hatásainak megállapítása, annak vizsgálata és szükség esetén az élőlény közösségekben diszturbanciát okozó tényezők (legyen az természetes vagy antropogén eredetű) kiküszöbölése, referencia állapotok meghatározása érdekében. A kontinuitáson alapuló monitorozás lehetővé tette, hogy az *ad hoc* jellegű ökológiai vizsgálatokkal szemben hosszú időtartamú adatsorok álljanak rendelkezésre (Charles *et al.* 1994). Ugyanakkor elegendően hosszú (több évtizedre visszanyúló) adatsorok ritkák. Az egyre fokozódó emberi hatás (antropocén, pl. Crutzen 2002) előtti idők vízminőségének becslésére a napjainkban rohamosan fejlődő paleolimnológia hatékony eszköztárával objektív módon képes rekonstruálni a vízi ökoszisztémában végbemenő hosszú távú (évszázadok, évezredek) változásokat. Ha a víztestek vízminőségének hosszútávú vizsgálatára gondolunk, a trofitás változás kérdésével foglalkozó paleolimnológiai tanulmányok és hivatkozások száma az elmúlt két évtizedben ugrásszerűen megnőtt (Davidson & Jeppesen 2013).

A hegyi és az arktikus tavak ideális vizsgálati objektumok, mert üledékképződésük általában zavartalan, jól korolhatóak, ezáltal lehetőséget nyújtanak számos paleokörnyezeti, paleoéghajlati vizsgálatra. Ha a múltbeli hőmérsékletváltozásra, közvetve az éghajlati események megismerése gondolunk, különböző módszerek állnak rendelkezésünkre: oxigénizotóp arány változásának vizsgálata mellett a fajok hőmérséklet toleranciájának ismeretében (fajközösségek eloszlása a hőmérséklet függvényében) becsülhetővé válik a paleohőmérséklet. A szűk hőmérsékleti optimumuk miatt a chironomida (árvaszúnyog) lárvák (pl. Lotter *et al.* 1997) a legérzékenyebbek a nyári hőmérséklet változására. Ugyanakkor a paleohőmérséklet meghatározásához alkalmas proxik élőhelyüket (tavi üledék, tőzeg, cseppkő, fa évgyűrű) tekintve diverzek.

A tavi üledékekben megőrződött maradványok vizsgálatával akár több ezer/millió évre visszamenőleg - szerencsés esetben a tó teljes történetét lefedve - képes információt adni a víztestben zajló változásokról. A tavi üledék összetételét tekintve három alkotóból épül fel: (1) a tó saját produktivitásából származó fosszilizáló maradványokból, (2) a tó vízgyűjtőjéről érkező szerves és szervetlen anyag bemosódásából és (3) az atmoszférából kihulló komponensekből (Charles *et al.* 1994). A paleoökológia célja, hogy az üledék minél több komponensét vizsgálják. Ez „multi-proxi”<sup>2</sup> közelítés teszi lehetővé, hogy minél pontosabb képet kapjunk a víztérben lezajlott változásokról.

### 2.1 Szilícium-dioxid vázas algák alkalmazása paleoökológiai vizsgálatokban

#### *Kovaalgák*

A sárgásmoszatok törzsén (Heterokontophyta) belül a kovaalgák (*Bacillariophyceae*) csoportja jól elhatárolt evolúciós fejlődési utat követett az elmúlt 200 millió évben. Abundáns

<sup>2</sup> multi-proxi: angolszász irodalomban proxy, magyarul proxí=az üledék valamely kvantifikálható mutatója

csoport, legalább 200,000 édes- és tengervízi fajuk ismert, ugyanakkor irodalmi becslések szerint a teljes állomány mintegy 15%-ról van információnk. A többi egysejtű élőlénytől a szilícium-dioxid tartalmú sejtfaluk különbözteti meg. A szerves sejtalkotókat tartalmazó citoplazmát kovahéj (epi-, hipotéka) veszi körül, egyfajta dobozba, ún. frusztulumba zárva a belső állományt. A vízi táplálékhálózat kulcsfontosságú elsődleges termelője, a fotoszintézissel létrehozott lipidekben gazdag képletek a magasabb rendű élőlények energiaforrásául szolgál. A kovaalga kutatás kezdetben kifejezetten a biológiájukat, fiziológiai tulajdonságukat volt hivatott célozni, majd a technika fejlődésével a kutatás molekuláris biológiai, genetikai vonalon hozott új ismereteket, eredményeket (Julius & Theriot 2010).

A kovaalgák az ökoszisztémák egyik leggyakrabban alkalmazott biotikus proxija, hiszen taxonómiaiilag tisztázott helyzetű csoport, a fajok ökológiai optimum és tolerancia értékei ismertek, kovavázuknak köszönhetően az üledékben hosszú időre megőrződnek. A kovaalga preparátumok tartósak, kis helyen megőrizhetők (Charles *et al.* 1994). Nemcsak a múltbeli hidrológiai állapotban végbemenő változásokról (pl. pH, trofitás, szalinitás) informálnak, hanem a hazánkban is alkalmazott, felszíni vizeink biológiai vízminőségéhez szükséges öt élőlénycsoport (fitoplankton, fitobentosz, makrofita, makrozoobentosz, halak) egyike, a fitobentosz indikátorcsoport legfontosabb eleme (Víz Keretirányelv, VKI, 2000) is.

A környezet- és éghajlatváltozás leírása gyakran a kovaalga közösségek összetételén, dominanciaviszonyok változásán alapuló (pl. Dearing 1997) vízszintváltozás, pH, szalinitás és tápanyag változást rekonstruáló vizsgálatokon keresztül történik. A vízszintváltozás leírásában a kovaalga közösségek életforma szerinti megoszlása nyújt a legpontosabb ökológiai információt. A vízszintváltozás közvetve - a rendelkezésre álló élőhely minőségén, fényellátottságon, kémiai összetételén, ill. a rétegződés és keveredési állapotokon keresztül - befolyásolja a kovaalga közösség mintázatát. Alacsony vízszint mellett, a szubsztráthoz rögzülő életformák válnak tipikussá, a víztestben, a fényellátottság fokozódása miatt az epifitikus életforma határozza meg a kovaalga közösséget (Wolin & Stone 2010), illetve a tó alját benépesítő bentonikus fajok (epipszammon, epilita formák) magas aránya is alacsony vízszintre utalnak. Ugyanakkor körültekintően kell eljárni a vízszint becslésnél, mert bizonyos fizikai (pl. partfal meredekség), kémiai körülmények (pl. fénylimitáció) között csökken az indikáció erőssége (pl. Jeppesen *et al.* 2000). Ezért szükséges a minél körültekintőbb, ökoszisztémái állapotrekonstrukcióban alkalmazott proxik egyidejű vizsgálata (pl. üledék sztratigráfiai, kémiai nyomelemezvizsgálat, pernye-, chironomida-, makrofosszília, pollenanalízis) (Wolin & Stone 2010).

Míg a planktonikus életforma túlsúlya magas vízszintet és/vagy turbulens víztestet jelez, addig a bentonikus közösségek arányának növekedése az alacsony vízszintre utal, ami a litorális habitat vegetációfejlődésével, illetve az epifiton elterjedésével függhet össze. A P:B hányados a vízszint rekonstrukcióban alkalmazható mutató: de figyelembe kell venni, hogy a tó felszín/mélység hányadosa alapvetően befolyásolja a bentonikus életközösségek fejlődését. Vadeboncoeur *et al.* (2008) azt tapasztalta, hogy az oligotróf sekély sarki tavakban (átlagmélység <5 m) a legnagyobb a bentonikus kovaalga közösségek aránya. Mérsékelt övi oligotróf tavakban (átlagmélység 5-100 m) - pl. alpesi tavakban, mint a dél-kárpáti hegyvidéki tavak, a bentonikus kovaalga közösség lényegesen magasabb arányban vesz részt a tó teljes produktivitásában, de egyértelműen visszaszorul a tápanyag ellátottság fokozódásával.

A planktonikus kovaalga taxonokhoz képest a bentonikus közösség sokkal diverzebb közösségalkotója a víztestnek, illetve az újra kialakuló alacsony vízszint esetén a bentonikus pionír fajok dominanciája jellemzi a víztestet (pl. Wolin 1996).

Ha paleokörnyezeti oldalról vizsgáljuk az életformák megoszlását, elmondható, hogy az utolsó eljegesedés után kialakult tavakban a vízszint rekonstrukciója nehéz feladat a hosszan

elhúzódoó jégborítás és a tápanyag limitáltság miatt (Lotter *et al.* 2010). Alpesi, és arktikus tavakban a P:B arány növekedése, a fragilaroid taxonok magas abundanciája gyakran a fokozott jégborítás mutatója (pl. Lotter *et al.* 2010, Lotter & Bigler 2000). Osztrák oligotróf tavakban a fragilaroid taxonok megoszlásának vizsgálata (Schmidt *et al.* 2004) mutatta, hogy a váz mérete szorosan összefügg a tó mélységével, továbbá korreláció figyelhető meg a tó mélysége és az életformák (planktonikus/bentonikus) aránya között. Továbbá mély tavakban a planktonikus *Fragilaria gracilis* hosszú, tűszerű formájával ellenállást mutat a süllyedéssel szemben (Wolin & Stone 2010).

Adott környezeti, éghajlati változás által kiváltott vízszintváltozást eltérő dominancia, életforma viszonyokkal jelez egy zömében zárt rendszerű, sekély sós tó és egy magashegységi oligotróf mély tó kovaalga közössége, a víztestek eltérő fizikai és kémiai körülményei miatt. Mély, nagy felületű tavak esetében a fizikai (pl. turbulencia) ill. kémiai (pl. tápanyag) faktorokban bekövetkező változás a domináns planktonikus taxonok gyakoriságának változását okozhatják. Dreßler és munkatársai (2011) közép-európai, glaciális eredetű síkvidéki tavakban azt tapasztalták, hogy a planktonikus kovaalga közösség relatív gyakoriságának csökkenése összefüggésben állhat a keveredési állapot idejének csökkenésével, ami, feltételezhetően a téli hónapok lehülésével magyarázható. A planktonikus taxonok közül kifejezetten az erősen kovásodott, nagy süllyedési rátájú *Aulacoseira* nemzetség tagjainak a fotikus vízoszlopban maradáshoz turbulenciára van szükség (pl. Bradbury *et al.* 2002). A tycholanktonikus *Fragilaria crotonensis* viszont kifejezetten a stabil rétegződésű, magas vízszintű tavakban jellemző (Wolin & Stone 2010). Érdekes, hogy a szél keltette turbulens áramlások - és az ezzel járó tápanyagdúsulás - sekély víztestben is előidézheti az *Aulacoseira* nemzetség dominanciáját (pl. Bradbury *et al.* 2002). A nemzetség tagjai a tápanyag indikáció tekintetében különböznek, az *Aulacoseira granulata* magas tápanyagtartalmú, sekély víztestekre jellemző taxon, az *Aulacoseira ambigua* közepes tápanyag tartalmú mély tavakban domináns taxon (Wolin & Stone 2010), míg az *Aulacoseira alpigena* pedig oligotróf víztestek indikátora.

A kovaalga elemzésből származtatott pH rekonstrukciót elsősorban az antropogén hatásra történő savasodás mértékére kezdték el alkalmazni az 1980-as években, de a múltbeli éghajlati események hatására és/vagy a parti vegetetáció változása, a talajosodás is kiválthatta a kémhatásban megmutatkozó változásokat. Krabbenhoft & Webster (1995) egyértelműen a hidrológiai mérleg felborulására vezeti vissza a Michigan tó (USA) savasodását, amely - feltételezésük szerint - a csapadékszegény időszakokban kationban ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) gazdag felszín alatti befolyások mennyiségének csökkenése miatt következett be. Ezzel szemben az afrikai tavak esetében a szárazodás ellentétes folyamathoz vezetett, a szárazodás a tó töményedését, lúgosodását idézte elő (pl. Fritz *et al.* 2010).

A paleo-környezeti változók mennyiségi rekonstrukcióiban a fosszilis kovaalga közösségek eloszlásából következtetünk a kívánt paraméter (pl. pH, teljes foszfor, sótartalom) mennyiségére. A modern diatóma közösségekből egy kalibrációs szettet (training set) képzünk, melyben a kívánt fizikai és kémiai paraméter mentén vizsgáljuk az üledékmintákban található kovaalga közösségeket. Egy transzfer függvényt készítünk a modern kovaalga közösségek fajeloszlásának mintázata és vizsgált környezeti paraméter között, majd ennek a függvénynek a segítségével, a paleo közösség alapján becsüljük a paraméter értékét. Nagyon fontos kihangsúlyozani, hogy egy értékelhető modellhez megfelelően nagy számú (min. 80 tóból álló szett) vizsgálata ajánlott. Nemzetközi viszonylatban jelenleg kevés az édesvízi kovaalgákból származtatott mennyiségi rekonstrukciók száma (ld. európai adatbázis, EDDI<sup>3</sup>), ennek a hiánynak a kiküszöbölésére transzekt mentén történő mintavételre, több kalibrációs modell megalkotására és a kovaalgák fény-, tápanyag-, hőmérséklet kapcsolatát vizsgáló

<sup>3</sup> EDDI: European Diatom Database, <http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>

fiziológiai mérésekre van szükség (pl. Wolin & Stone 2010). Európában regionális léptékű adatbázisok felhasználásával (pl. INTIMATE, MOLAR projektek; összefoglalóan az EDDI adatbázisban található, Juggins 2001) vált lehetővé a múltbeli éghajlati változások regionális szintű rekonstruálása.

### *Chrysophyta* ciszták

Míg a kovaalgák vizsgálatát széles körben, több mint két évszázadra visszanyúlóan, népes szakember gárda végzi, a kovavázás algák másik csoportja, a Chrysophyta algák csak ez elmúlt 2-3 évtizedben került a multi-proxi vizsgálatok látókörébe. Az alábbiakban ezért részletesen mutatom be ezt a csoportot.

A Heterokontophyta divízióba tartozó sárgásbarna algáknak is nevezett Chrysophyta algák (*Chrysophyceae*, *Dictyochophyceae* és *Synurophyceae* osztály) nevüket a domináns karotinoid pigmentállományuk - amely a teljes pigment állomány  $\frac{3}{4}$ -ét is meghaladhatja - azon belül is a fukoxantin okozta aranyszín után kapták. A jelenleg ismert 200 nemzetségbe tartozó több mint 1000 leírt édesvízi fajszám vélhetően jelentősen alábecsüli a valós számot (Duff *et al.* 1995).

Szerkezeti felépítésük igazi változatosságot mutat: az egyszerű, ún. monadoid egysejtű ostorosok (pl. *Chromulina*, *Ochromonas*), egyszerű kolóniát alkotó (pl. *Uroglena*) vagy *lorica*-val körbevett sejtek alkotta kolóniák (pl. *Dinobryon*) mellett spirálisan futó, egymást átfedő kovavázás lemezekkel borított egysejtűek és telepések (pl. *Mallomonas*, *Synura*) különíthetők el. Az ostorosok mellett amöboid, palmelloid, kokkoid, trichális formák is léteznek (Kristiansen 2005). Taxonómiájukkal, biológiájukkal kapcsolatosan számos tanulmány született (pl. Kristiansen & Andersen 1986).

A Chrysophyta algák elsősorban a mérsékelt és a hideg égövi valamint a magashegységi édesvizek planktonjában dominánsak (pl. Rott 1988 in Duff *et al.* 1995). Általában hidegvízkedvelőkként ismert szervezetek, de a 20°C körüli hőoptimumot mutató kísérletes tenyésztési eredmények azt sejtetik, hogy alacsony hőmérséklet mellett kompetitív előnyt élveznek (Kiss 1998). Taxonómiájukat illetően Bourelly 1957-ben megjelent „*Études sur les Chrysophycées*” című disszertációja tekinthető a Chrysophyta alga kutatás első jelentős állomásának, amelyben összefoglalásra került mindaz a tudás, amit az addigi másfél évszázados, fénymikroszkóppal végzett vizsgálatok összegeztek (Kristiansen 2005). Az 1980-as évektől a pásztázó elektronmikroszkóp forradalmasította a leíró jellegű fikológiai kutatásokat, a chrysophyták nevezéktana, ökológiája, biogeográfiája, fiziológiája, biokémiája számos cikk, könyv, monográfia tárgyát képezi (pl. Kristiansen & Andersen 1986, Sandgren 1988, Pla 2001, Kristiansen 2005).

Életmódjukat tekintve alapvetően euplanktonikusak (pl. Sandgren 1988), tengeri formák ritkák, ugyanakkor bentonikus és epifitikus formákról is beszámoltak (pl. Kristiansen 2005) és egyre nagyobb hangsúlyt kap az arktikus területek tőzeg- és mohalápjain élő perifitikus szervezetek vizsgálata (Zeeb & Smol 2001) is. Számos taxon esetében bebizonyosodott, hogy egyrészt a fizikai körülmény akár szélsőséges változásához is alkalmazkodni képes - pl. magas sótartalom (pl. Zeeb & Smol 1995) -, másrészt az arktikus oligotróf élőhelyeken a táplálékhálózat abundáns tagja (pl. Wilkinson *et al.* 1997). A magyarázat a mixotróf táplálkozási stratégia sokszínűségében rejlik, az alapvetően autotróf Chrysophyta algák a megváltozott fizikai körülmények hatására heterotróf, illetve adott esetben fagotróf életmódra is képesek (Sandgren 1988).

Többnyire tápanyagszegény, kissé savas vizekben gyakoriak, erősen alkalikus, tápanyagban gazdag vizekben előfordulásuk határozottan csökken (Duff *et al.* 1995).

A sárgásbarna algák (Chrysophyta) által képzett kova tartalmú fosszilizálódásra alkalmas képletek két csoportra oszthatóak: a pikkelyekre, amelyek a *Synura* és a *Mallomonas*

nemzetségre jellemzőek (Charles *et al.* 1994), valamint az alga kitartóképleteire, a sztomatocisztákra (Kristiansen 2005). Jelenlegi tudásunk szerint valamennyi Chrysophyta alga képes ciszta létrehozására, viszont csak a ciszták 10-15%-ról tudjuk, hogy melyik fajhoz köthetőek. Az ivaros vagy ivartalan úton képzett ciszták mindig az adott fajra jellemző morfológiával bírnak (Sandgren 1991). Kedvező körülmények között a ciszták, a víztestből az üledékbe süllyedve, csírázni képesek. A víz szilíciumtartalmának függvényében a ciszta sejtfala különböző fejlettséget mutathat: az elsődleges sejtfal általában vékony, díszítetlen, majd a további sejtfalak és a pórust körülvevő gallér díszítettségben nagy változatosság mutatkozik. A megőrződés tekintetében a ciszták sokkal ellenállóbbak a pikkelyekkel összehasonlítva (Sandgren 1988, Duff *et al.* 1995).

Számos összefoglaló tanulmány foglalkozik a Chrysophyta maradványok paleolimnológiai kutatásokban betöltött szerepével, mind a pikkelyek, mind a ciszták esetében (pl. Smol 1990, Sandgren 1991, Zeeb *et al.* 1996). Először az arktikus és szubarktikus területek (Duff *et al.* 1995, Van de Vijver & Beyens 1997a,b, Pla & Anderson 2005), a mérsékelt égövi - alpesi, pireneusi, kárpáti - hegyi tavak (pl. Péterfi 1974, Facher & Schmidt 1996, Pla 2001, Lotter *et al.* 2002, Cabała & Piatek 2004, Cabała 2005, Schmidt *et al.* 2006, Buczkó & Magyarai 2007, Huber *et al.* 2009, Kamenik 2010, Cărauş 2012), valamint a nagy kiterjedésű síkvidéki tavak Chrysophyta ciszta flórájáról készültek feltáró tanulmányok. A Kelet- és Dél-Kárpátokban korábban csak szórványosnak mondható paleokörnyezeti vizsgálatok új lendületet kaptak az eddigi legtöbb proxy vizsgálatán nyugvó Szent-Anna tó állapotrekonstrukciójával (pl. Buczkó & Magyarai 2007, Magyarai *et al.* 2009a).

A fenti paleolimnológiai kutatások eredményei - a ciszták taxonómiai és morfológiai tulajdonságainak minél részletesebb megismerésén keresztül - nagyban hozzájárultak a korábbi taxonómiai bizonytalanságok (pl. Wilkinson & Smol 1998) tisztázásához. Jelenleg több mint 800 ciszta morfortípus létezik (pl. Duff *et al.* 1995, Wilkinson *et al.* 2001, Pla 2001). A ciszták egy részét jól definiált ökológiai optimumértékkel jellemezhetjük, számos fizikai (pl. hőmérséklet, jégborítottság) és kémiai (pl. pH, szalinitás, vezetőképesség) változóval szemben szűk toleranciát mutatnak (Dixit *et al.* 1989 in Duff *et al.* 1995). A ciszták alkalmas indikátorai a téli-, kora tavaszi időszak hőmérséklet rekonstruálásának (pl. Kamenik & Schmidt 2005, Huber *et al.* 2009, de Jong & Kamenik 2011, Pla-Rabes & Catalan 2011, de Jong *et al.* 2013). A ciszták olyan egyedülálló biotikus proxy, amellyel a jégborítás hosszát, a felkeveredést és a rétegzettséget lehet rekonstruálni (pl. Kamenik & Schmidt 2005, Pla-Rabes & Catalan 2011).

A sztomatociszták indexelésével kapcsolatban a regionális összehasonlítások során jelentős átfedésekkel találkozunk, az egyes szerzők jelölésének (pl. Kamenik *et al.* 2001, Lotter *et al.* 2002, Kamenik & Schmidt 2005) különbözősége miatt. Az első, részletes összefoglaló munkában Duff *et al.* (1995) 1-től 243-ig sorszámozva 240 formát írt le észak-amerikai és kanadai területekről. Európában Pla (2001) a Pireneusok hegyi tavaiból 121 új morfortípust írt le Duff *et al.* (1995) munkája alapján, és az általa talált új morfortípusok számozása 300-tól indult (S300-S421). Az indexelésben alkalmazott S előtag a sztomatociszta angol kezdőbetűjére utal (Pla 2001). Mindeközben Kanadában elkészült a II. Chrysophyta cisztákat bemutató Atlasz (Wilkinson *et al.* 2001), további 143 új morfortípussal (Stomatocyst 244-S387) bővülve. Így a 300 feletti sorszámot viselő ciszták más morfortípusra vonatkoznak Amerikában és Európában (ezért fontos a hivatkozáskor a ciszta leíróját megadni). Ha megvizsgáljuk Facher & Schmidt (1996) közép-európai hegyvidéki tavakból (elsősorban német és olasz) leírt morfortípusait, a korábbiakhoz képest teljesen eltérő elnevezést találunk: a betű általi indexelés helyett a „Stomatocyst No. x” elnevezést alkalmazták a szerzők. A konszenzus hiány feltehetően az időbeli azonosságból fakadt, Facher & Schmidt munkája szinte egyidőben jelent meg Duff *et al.* (1995) I. Atlaszával. Az európai vonalat, azaz Facher & Schmidt rendszerét követte és fejlesztette tovább Kamenik (pl. Kamenik *et al.* 2001,

Kamenik 2010), aki 2010-ben a korábban leírt sztomatociszták valamennyi hivatkozását összegyűjtötte. A „Stom@ocyst” elnevezésű, ingyenesen elérhető adatbázisa (<http://www.stomatocysts.unibe.ch/wiki/Home>) egységesíti a sztomatociszta nevezéktant.

## 2.2 Hazai kovavázás algák paleolimnológiai kutatása

Magyarországon a Balaton, Közép-Európa legnagyobb sekély vizű tava a legintenzívebben tanulmányozott víztest, legyen az aktuál- vagy paleolimnológiai vonatkozású. A fosszilis kovaalgakutatás hosszú múltra tekint vissza. Neupauer János, Wissinger Károly, Schaarschmidt Gyula munkásságáról Hajós Márta 1986-os monográfiájában olvashatunk részleteket, csakúgy, mint Pantocsek József harmadkorra vonatkozó diatóma kutatásairól.

A Balatonban a negyedidőszakkal foglalkozó első paleolimnológiai kovamoszat vizsgálatot is Pantocsek József végezte (Pantocsek 1913). Több mint tíz évvel korábban, 1901-ben jelent meg a Balaton recens flóráját bemutató tanulmánya (Pantocsek 1901), amelyben 363 kovataxont ismertet, közülük 120 taxont a tudományra újként írt le (Buczko 2005). Jelenleg a Magyar Természettudományi Múzeum Növénytarában tekinthető meg a II. világháború után fennmaradt, féltve őrzött, világviszonylatban is rendkívül értékesnek tekinthető mikrofotográfiai gyűjteménye. Ugyanakkor érdemes megemlíteni, hogy Pantocsek nevéhez fűződik (1912) az első hazai, Fertő-tóból származó Chrysophyta ciszta leírás is.

Bár nem végzett paleolimnológiai vizsgálatokat, mégis meg kell említenünk Szemes Gábor nevét, aki 1957-ben összefoglalta a Balaton kovaalga flóráját: 516 kovaalga taxont és azok életformáját közölte.

A 20. század második felében, 1981-1995 között a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (korábban Magyar Állami Földtani Intézet), Cserny Tibor vezetésével, 33 mederfúrásból álló vizsgálatosorozatot indított, melyek átlagosan 4-5 m hosszú negyedidőszaki üledékek voltak. Két ütemben paleoökológiai (palinológiai, szilícium-dioxid vázas algák, később molluszkák és osztrakóda), szedimentológiai, geofizikai (szeizmo-akusztikus mérések) és geokémiai (nyomelem és stabil izotóp  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) vizsgálatokat végeztek (Miháltz-Faragó 1983, Bodor 1987, Cserny 1987, Cserny & Corrada 1989, Cserny *et al.* 1991b, Cserny 1994, Szurominé-Korecz & Nagy-Bodor 1999, Cserny & Nagy-Bodor 2000, Tullner & Cserny 2003, Juhász 2007).

A kovavázás mikrofosszília vizsálatokhoz a fúrások többségének rétegsorát 3-5 centiméterenként mintázták. A 33 fúrás diatómáinak florisztikai vizsgálatának eredménye a Tó-24-es fúrás kivételével publikálatlanok maradtak. Hajós Márta hagyatékából részletes adatsor áll rendelkezésre 14 fúrásról (Cserny *et al.* 1991a,b), további öt fúrásról kéziratban fennmaradó diatóma flóráját Hajós tanítványa, Kövári-Gulyás végezte el (Tó-9,-11,-13, 15-16) (Buczko 2001).

A Balaton tekintetében az első hazai, multi-proxi jellegű kvantitatív öskörnyezeti rekonstrukció a Kis-Balaton Zalavári-vízének állapotértékelésére irányult. A Holocén kovaalga flóra feltérképezése (Buczko *et al.* 2009c) mellett, a kladocera maradványok vizsgálata (Kopronai *et al.* 2010), és a Balaton vízszintváltozásának leírása (Buczko *et al.* 2009c) történt meg. A kis-balatoni üledék korolásának megbízhatósága különösen fontos annak tükrében, hogy a Balaton korolásában számos probléma merült fel.

## 3 Célkitűzés

### 3.1 A Gales tó kovaalga flórája

A kutatásom elsőrendű célja az volt, hogy a romániai Retyezát-hegység északi oldalán fekvő Gales tó üledékszervényében meghatározzam a fosszilizálódott kovaalga taxonokat.

### 3.2 A Gales tó fejlődéstörténete

Az előző pont alapján céлом volt, hogy leírjam a Gales tó kovaalga flórájának késő-glaciális és Holocén időszakban végbemenő szukcessziós fejlődését.

### 3.3 A Gales tó vízszintváltozásai

A szukcessziós fejlődés bemutatását követően céлом volt, hogy rekonstruáljam a Gales tó vízszintváltozását a domináns kovaalga együttesek, és az életforma változás alapján. A konkrétan megválaszolendő kérdések a következők voltak:

1. Tapasztalható-e vízszintváltozás/emelkedés a Gales tó ontogenezisében?
2. Melyik az a faktor, ami leginkább meghatározza a taxonok megjelenését, dominanciáját, esetleg abszenciáját?
3. Lehet-e következtetni olyan környezeti/éghajlati eseményre, ami kiválthatta az élőlény közösségek összetételében fellépő változás(oka)t?
4. Lehet-e, bármilyen regionális vagy globális léptékű éghajlati eseményre/anomáliára következtetni?
5. Ha igen, van-e regionális és vagy globális szinten időben azonos, vagy késleltetett, de hasonló biotikus proxy mintázattal dokumentált, hasonló amplitúdójú éghajlati változás?

### 3.4 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája

Miután a kutatásom a szilícium-dioxid vázas algákon belül a Chrysophyta ciszták elővizsgálatára is kiterjedt, céлом volt, hogy meghatározzam az üledékszervény Chrysophyta ciszta : diatóma arányát (C:D). További céлом volt, hogy durva becsléssel ún. kifestésű elemzéssel képet kapjak a domináns ciszta morfortípusok mélység szerinti eloszlásáról. A megválaszolendő kérdések a következők voltak:

1. Felismerhető-e jellegzetes ciszta morfortípus a késő-glaciális és Holocén időszakban?
2. A feltételezett magas vízszintet jelző domináns kovaalga taxon mellett megjelenik-e karakterisztikus ciszta morfortípus?

## 4 Anyag és módszer

### 4.1 Mintavételi helyszín

A Kárpátok hegységrendszer délkeleti részét kitevő Keleti- és Dél-Kárpátok Románia területének több mint egynegyedén (28%) húzódik, a 44°29'- 48°60' és a 21°28' és 26°58' koordináták mentén, ívként kötve össze a Tisza-völgyet a Duna Fekete-tengeri torkolatával. A két hegység együttes hossza meghaladja a 910 kilométert, területe pedig eléri a 66 303 km<sup>2</sup>-t. Utóbbi több mint a fele (54%) a Kárpátok teljes területének (Urdea & Reuther 2009). A 15 000 km<sup>2</sup> kiterjedésű Dél-Kárpátokat (másnéven Erdélyi Alpok, Erdélyi-havasok, *Carpații Meridionali*), észak felől az Erdélyi-medence, kelet felől a Román-alföld síksága, a Prahova völgy (*Valea Prahovei*) határolja, földrajzilag a Prahova folyó határolja a Kelet-Kárpátoktól, délen a havasalföldi Előkárpátok, míg nyugatról a Timiș-Cerna folyosó (*Culoarul Timiș-Cerna*) - követve a Temes és a Cserna folyók völgyét - választja el a Bánát-hegységtől. 2500 méter feletti magasságaival a romániai Kárpátok legmagasabb és legszerteágazóbb hegysége: magas, kopár fennsíkokkal, alpesi domborzattal és számos glaciális eredetű cirkusz- és teknővölgyekkel büszkélkedik. 2000 méter felett kiterjedt alpesi és szubalpesi rétek, legelők tarkítják a hegység arculatát. A hegység szerkezetét alakító tektonikai mozgások a felső-kréta időszakára tehetőek, továbbá különböző magasságokban pedig mezozoikumi üledékek lerakódása figyelhető meg (Bălțeanu *et al.* 2012).

Az 500 km<sup>2</sup> területű Retyezát-hegység (Zerge-havasok, *Muntii Retezat*) a Dél-Kárpátok legnyugatibb elhelyezkedésű hegysége, a Retyezát-Godján csoport része. Az Erdély hegyeinek ékköveként is emlegetett hegységről a múlt század elején részletes szakmai tanulmány született Lóczy Lajos tollából (1904), aki elsősorban a Dél-Kárpátok utolsó eljegesedésének nyomairól, azon belül is a látványos tengerszemekről írt.

A hegység sokszínűségét változatos tájképi elemeinek köszönheti. A hegység román neve („retezat”: levágott, lemetszett) is hordozza a jellegzetes, metszett csúcsokkal szabdaltnak arculatot. A hegység vázát - H alakzatban - két párhuzamos nyugat-kelet vonulatú főgerinc alkotja, melyeket észak-dél irányban 2,5 km hosszú gerinc köt egybe. Mindkét főgerinc több elágazással támaszkodik az alacsonyabban fekvő részekre. A teljes hegység magashegységi tájképet mutat - a terület egynegyede az erdőhatár, 1800 méter felett terül el - ugyan az északi főgerincben összpontosulnak a hegység legmagasabb, a fagy repesztő hatása miatt gyakran kőtengerrel borított csúcsai, szám szerint 55 db 2000 méter feletti csúcs, élen a Peleaga (2509 m) csúccsal, ami egyben Románia harmadik legmagasabb pontja. Az ellenpont, a legalacsonyabb terület a Sebes-patak medrében, 495 m magasságban van. A tájkép a negyedidőszaki eljegesedés lenyomata: a gleccser felszínalakító munkáját tükrözi a 1300 méteres szintig, több kilométer hosszan elterülő, különböző típusú cirkuszvölgyek, teknővölgyek sora, melyek hosszanti vonala - a felhalmozódó moréna hordalék konzervációja miatt - lépcsős szerkezetű. Feltételezések szerint a mély völgyekben fejlődhetnek ki a hegységi tavak (tengerszemek). A meredek sziklafalakkal határolt völgyekben, gyakran szorosokban gyakoriak a karsztos barlangok, dolinák, zombolyok (Jancsik 2009).

Geológiailag a hegység fejlődése a neoproterozoikum cadómiai (bajkái) tektonikus fázisig vezethető vissza, amit a mintegy 667 millió éves metamorfizálódott kőzetek (gneisz, gránit) bizonyítanak. A tektonikailag jelenleg sem nyugodt hegységben a pleisztocén eljegesedés erőteljes lehülése (Riss) alakította ki a legnagyobb területet elfoglaló alpesi gleccsereket, majd a würm alatt folytatódott a gleccserfejlődés, egészen a késő-glaciális időszak végéig. A kopár, sziklás hegyoldalak lábánál, valamint a füves lejtőkön gyakoriak a kőtengerrel borított területek, amelyek az egykor jégborítás nélküli, de fagynak kitett (periglaciális) arculatról árulkodnak (Jancsik 2009).

Az északi oldalon fekvő Nagy-Retyezátban a gneiszhez sorolható granodiorit - néhol kristályos agyagpalával - a jellemző kőzettípus. Fejlődéstörténetileg a legfiatalabb mészkőrétegek elsősorban a déli oldalon elterülő Kis-Retyezát vonulataiban halmozódtak fel. A legnagyobb tengerszem, a déli oldalon fekvő Bukura-tó kapcsolja össze a geológiailag eltérő magaslatokat.

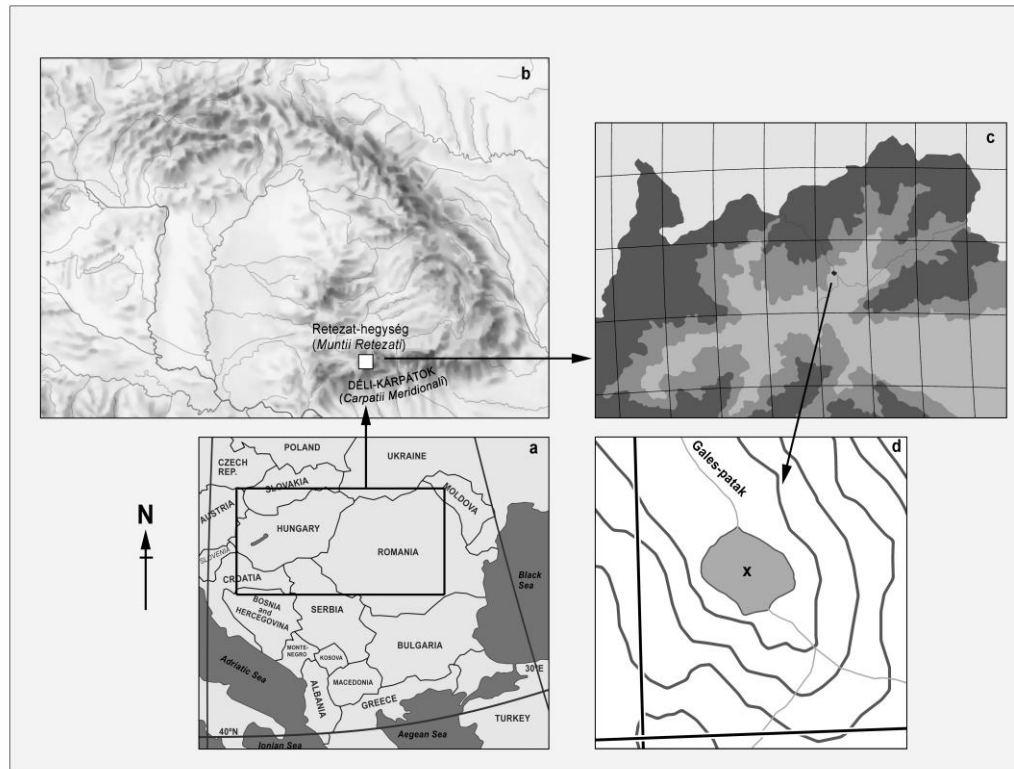
A hegység bővelkedik gleccsertavakban, 58 állandó, 40 időszakosan megjelenő tengerszembről tudunk, melyek a visszahúzódó jégár lenyomatai. A glaciális teknővölgyekben kialakult, illetve a morénagátak mögött meghúzódó gleccsertavak túlnyomó része az erdőhatár feletti, 1800-2200 méteres magassági zónában található. Kivételt képez ez alól a Brazi tó (Tăul dintre Brazi; jelentése fenyők közti tó), mely az erdőhatár alatt, 1740 méteren kerül el.

Éghajlatát tekintve a hegység a romániai Kárpátok legcsapadékosabb hegysége, óceáni és mediterrán hatásokkal tarkított magashegységi éghajlat jellemzi. Évi átlaghőmérséklete a gerinc mentén  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a völgyekben  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A legmelegebb hónap júliusban van, a csúcsokon átlag  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a hegység lábánál  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra emelkedik a hőmérséklet. A lehidegebb hónap a január, a csúcsokon  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  az átlaghőmérséklet. Sok csapadék hullik a hegységben, a legcsapadékosabb hónap az október, a legszárazabb a június. A völgyekben 900 mm, 1600-1800 m között pedig 1300 mm az éves csapadékmennyiség. A csúcsok mentén az év nagy részében  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatti a hőmérséklet, ebből adódóan a nyári hónapokban sem ritka látvány az összefüggő hótakaró (Jancsik 2009).

A dolgozatban vizsgált Gales tó (Lacul Gales) a Retyezát-hegység északi oldalán, közönséges lucfenyő (*Pinus abies*) és a havas cirbolyafenyő (*Pinus cembra*) alkotta összefüggő erdő felett 150 méterrel, 1990 méteres magasságban, a Gales gleccservölgy alsó részében helyezkedik el (1. és 2. ábra). A hegység harmadik legmélyebb tavaként ismert: legnagyobb mélysége 20,5 m, területe 3,68 hektár. A havasi törpefenyővel (*Pinus mugo*) részben körbevett tengerszemet 2300-2400 méter magas csúcsok ölelik körbe (Vârful Mare, Vârful Valea Rea, Vârful Gales). Déli oldalról befolyó patak táplálja a tavat, átellenben Gales patakként ismert kifolyása végighalad az egész völgyön (Jancsik 2009).



**1. ábra** A Gales tó a Retyezát-hegység (Dél-Kárpátok) északi oldalán (Sík Eduárd fotója, 2004)



**2. ábra** A vizsgálat helyszíne; **a:** Kárpát-medence, **b:** Dél-Kárpátok elhelyezkedése, **c:** Retezát-hegység térképe, **d:** a Gales tó batimetrikus térképe, jelölve a mintavétel pontját (x)

Az 1927-ben alapított Retezái Természetvédelmi Terület 1935-ben Románia elsőnek létrehozott Nemzeti Parkja lett, egyben Közép-Kelet Európa egyik legszigorúbban védett természetes élőhelye. A Retezát-hegység mellett a Szárkő-hegységet is magába foglaló védett, felerészben erdővel borított terület nagysága meghaladja a 38000 hektárt, fokozottan biztosítva a Dél-Kárpátok fokozott védelmét. A nemzeti park alapvető feladatainak egyike, hogy megőrizze az európai magashegységi növénytársulásokat, elsősorban a havasi törpefenyő (*Pinus mugo*) alkotta társulást, továbbá az endemikus flóra- és faunaelemeknek helyet adó havasi legelőket. A biodiverzitási „hotspot”-nak is tekinthető változatos összetételű flórájú élőhelyet 1980-ban az UNESCO bioszféra rezervátummá nyilvánította. A hegység alapközetének és a sajátos mikroklímának köszönhetően a Retezát-hegységben az 1200 ismert növényfaj közül 62 endemikus. A granodiorit kőzeten olyan havasi fajok élnek, mint a havasi szegfű (*Dianthus glacialis*), havasi kökörcsin (*Pulsatilla alba*), sárga tárnics (*Gentiana lutea*); endemikus fajok közül a retezái szeder (*Rubus retezaticus*), retezái lóhere (*Trifolium retezaticum*) emelhető ki. A meszes talajon az ún. kalkofil fajokat dominálnak pl. párnás kötő (*Saxifraga rocheliana*), bánáti len (*Linum uninerve*), kék leánykökörcsin (*Pulsatilla grandis*).

#### 4.2 Mintavétel

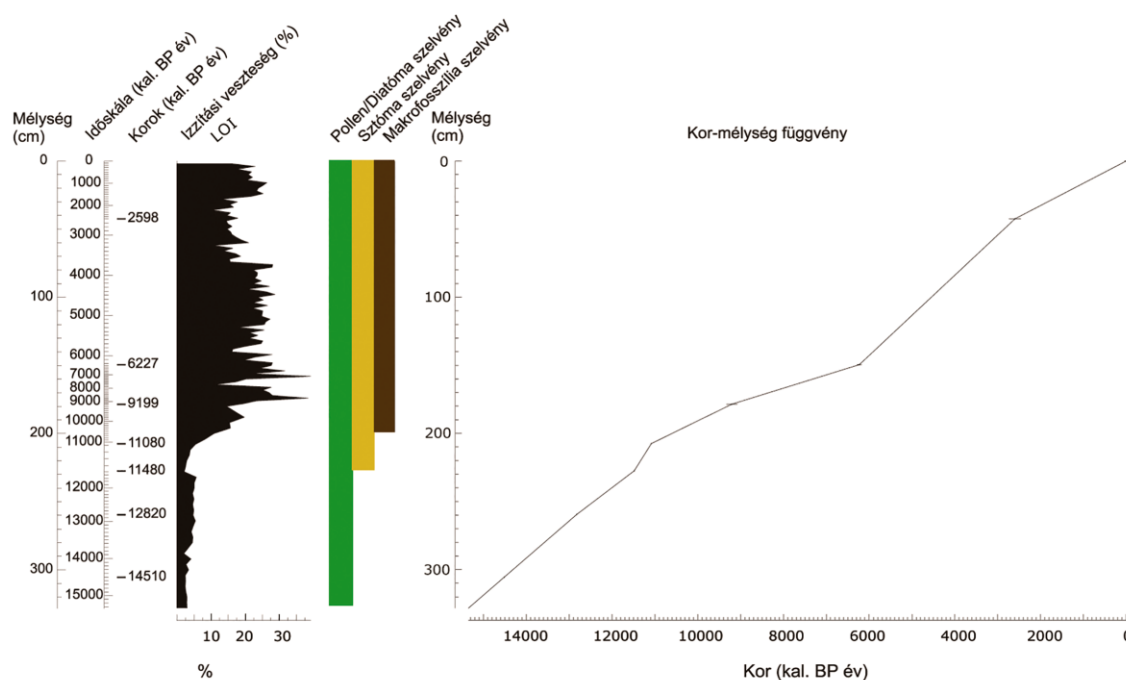
Magyari Enikő és Braun Mihály vezetésével, 2007 augusztusában történt a mintavétel a tó legmélyebb pontjához közel (19,5 m). Hét cm átmérőjű módosított, több méter hosszú üledékmag kiemelésére alkalmas Kullenberg fúróval (Emery & Broussard 1954) végezték a mintavételt, ahol egyetlen darabban egy 328 cm-es bolygatatlan üledéket (Gales-3; 45°23'6"N, 22°54'33"E) emeltek ki. A mintavételi cső lezárását követően a fúrásmagot laboratóriumba szállították, ahol a feldolgozásig 2 °C-on tárolták. A cső kettévágását

követően az üledékszervény feltárása a következő komponensek feldolgozására terjedt ki: makrofosszília-, sztóma-, pollen-, szilícium-dioxid vázas algák (kovaalga és Chrysophyta sztomatociszta), fő- és nyomelem, szervesanyag-tartalom, mikro-, és makropernye, továbbá 2013-ban a biogén szilikát tartalom meghatározására került sor. A palinológiai- valamint a geokémiai vizsgálatok első eredményei Magyari *et al.* (2009b, 2012) munkájában olvasható.

## 4.3 Laboratóriumi feldolgozás

### 4.3.1 Radiokarbon kormeghatározás és a kor-mélység függvény

A dolgozatban felhasznált koradatokat Magyari Enikő bocsájtotta a rendelkezésemre. A kor-mélység függvény az üledékszervényből származó négy makrofosszília és öt kladocera vázmaradványt tartalmazó minta radiokarbon kora alapján készült el (3. ábra). A korolást nehezítette, hogy a fúrás alsó részében nem volt szárazföldi makrofosszília. Ezért párhuzamosításra volt szükség: a Brazi tó pollendiagramját a Gales pollendiagramját összevetve, az adatok párhuzamosításával kapott késő-glaciális koradatokat használtuk fel. A korolás részletei, a méréseket végző laboratórium adatai, az alkalmazott kormodell választásának módja Magyari (2009b) munkájában található meg. Minden, a dolgozatban szereplő koradat kalibrált kor (cal yr BP, kal. BP év) amely a Bcal program és az IntCal09 adatbázis (<http://bcal.shef.ac.uk>, Buck *et al.* 1999, Reimer *et al.* 2009) alkalmazásával került meghatározásra.



**3. ábra** A Gales-3 fúrás kor-mélység modellje és a szervesanyag tartalom (LOI) változása a mélység függvényében. A pollen és kovaalga analízis (zöld) a fúrás teljes hosszában, a sztóma (világosbarna) és a makrofosszília (sötétbarna) analízis a Holocén mintákon készült (Magyari *et al.* 2009b)

### 4.3.2 Szervesanyag és biogén szilikát tartalom analízis

Az üledék szervesanyag tartalmát (LOI, Loss on Ignition) és a biogén szilikát (BioSi) tartalmát a Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén Braun Mihály és munkatársai határozták meg. A LOI meghatározása Heiri *et al.* (2001) módszere alapján, 550

°C-on történő izzítással történt. A teljes üledékszervényt lefedő LOI elemzés 2 cm-es felbontásban készült (3. ábra, Magyari *et al.* 2009b).

Az üledék biogén szilikát (BioSi) tartalmának meghatározása a biogén eredetű, szilícium-dioxid vázas algák (elsősorban kovaalgák, szilikoflagelláták) produktivitásának becslésére alkalmas mutató. Az üledékben oldott szilikát nem tisztán biogén eredetű, hanem jelentős része a kőzetekből beoldódott, ún. litológiai szilikátból (LSi) származik (pl. Ragueneau *et al.* 2005). A lúgos kioldás módszere alkalmas a biogén eredetű szilícium tartalom megbízható határozásához, a fosszilis és recens mintákban egyaránt. A biogén szilikát tartalmat a Si:Al arány határozza meg (pl. Köning *et al.* 2002). A lúgos (NaOH) kioldást követően a biogén szilikát és az alumínium tartalom meghatározása induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrofotométerrel (ICP-OES)) történt a Debreceni Egyetemen Braun Mihály vezetése mellett.

#### 4.3.3 Szilícium-dioxid vázas algák elemzése

A minták előkészítése az általánosan elfogadott eljárással történt (Battarbee 1986). A 328 cm-es magszervényből 4 centiméterenként 1 cm<sup>3</sup>-es részmintákat vettünk. Az elővizsgálatok során kiderült, hogy a minták sósav hatására nem mutatnak pezsgést, vagyis nem karbonátosak. Így, csak forró hidrogénperoxidos kezelést alkalmaztunk. A főzőpohárba helyezett mintákhoz 30%-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-t adtunk, majd 3-4 órán keresztül egyenletes hőmérsékletet biztosító főzőlapon (hot-platen) lassú forrásban tartottuk. A minták szerves anyag tartalmának roncsolódását a minták kifehéredése jelezte. Egy napos ülepedést követően dekantáltuk őket. Ioncserélt vízzel történő mosást (három alkalommal) követően a kinyert tiszta mintákból fedőlemezre és fém lapocskára cseppentettünk. A fedőlemezre cseppentett anyagot - száradást követően - mügyantába ágyasztuk (Zrax, R.I=1.7 vagy Pleurax, R.I=1.73). A fénymikroszkópos határozást LEICA DM LB2 digitális kamerával felszerelt fénymikroszkóppal végeztük (100 X HCX PLAN APO, digitális kamera Fujifilm Digital Camera FinePix S2 Pro, majd VSI-3 OM(H)). A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálathoz Hitachi S-2600N elektronmikroszkópot (20 kV feszültség és 5-8 mm távolság mellett) használtunk, ahol a tisztított vázakat tartalmazó légszáraz mintákat 120 másodpercig 16 mA erősség mellett arany-palládiummal vontunk be (XC7620 Mini Sputter Coater).

#### *Kovaalgák elemzése*

Mintánként minimum 300 kovavázat faji szinten határoztunk meg. A monitorozási vizsgálatokban általában 400 vázig tartó számolást ír elő a protokoll, azonban a paleolimnológiai vizsgálatoknál általánosan elfogadott a 300 vázig történő számolás (pl. Battarbee 1986, Cvetkovska 2014), mivel a nagyobb felbontás érdekében inkább a mintaszámot emelik. Külön figyelmet fordítottunk a maradványokban szegény, kis szervesanyag tartalmú (elsősorban a késő-glaciális) minták feldolgozására, ezekben az esetekben a teljes lemezt átvizsgáltuk. A kovaalga egyedszám adatokból relatív gyakorisági értékeket számoltam. Az elektronmikroszkópos vizsgálatot a taxonómiai bizonytalanságok kiszűrése, csökkentése érdekében végeztük.

A kovaalgák határozásához a következő irodalmak használtuk: Süßwasserflora von Mitteleuropa I-IV., Iconographia Diatomologica, Diatoms of Europe kötetek (Krammer & Lange-Bertalot 1986-1991, Lange-Bertalot & Krammer 1989, Lange-Bertalot 2001, Lange-Bertalot és Metzeltin 1996, Spaulding *et al.* 2010, Lowe *et al.* 2014, Hamilton *et al.* 2014). A határozókönyvek mellett az interneten hozzáférhető határozók közül az egyik legfontosabb az Amerikai Egyesült Államok Institute of Arctic and Alpine Research intézete által működtetett online kovaalga határozója (<http://westerndiatoms.colorado.edu>) volt. A kovaalga taxonok nomenklatúrája a <http://www.algaebase.org/> oldalon kerültek ellenőrzésre (Guiry & Guiry 2015).

### *Chrysophyta* ciszta elemzés

A Chrysophyta ciszták számolása egyidőben történt a kovaalga vázak mintánkénti meghatározásával. Az így kapott mintánkénti cisztaszám a C:D (Chrysophycean cysts : diatom ratio) arány meghatározásához volt szükséges. A ciszták és diatómák egymásra vonatkoztatott mennyisége, az ülepedési rátától függetlenül, a tó produktivitásának hatékony mutatója (Smol 1985). Mivel egy kovaváz a kovapáncél fele, vagyis egy kovaalga két váz tartozik, ezért a C:D arány számítása úgy történik, hogy a ciszták számát a kovavázak felével arányosítjuk.

A Chrysophyta ciszta flóra tanulmányozása az előzetesen meghatározott kovaalga zónák (DAZ) szerint történt, zónánként kiválasztott mintákban mintegy 200 Chrysophyta cisztát fényképeztünk le (Függelék 61. ábra). Míg az elektronmikroszkóp használata kötelező jellegű volt a Chrysophyta ciszták már leírt és a tudományra nézve új formáinak azonosításához, ultrastruktúrájának meghatározásához, addig az interferencia kontrasztot nyújtó fénymikroszkóp a ciszták markáns morfológiai jegyeinek (pl. gallér, tüskék) meghatározásában segített. A tudományra nézve új formák leírásához részletes fotódokumentáció készült, amely előtanulmányként használható a Retyezát-hegység további, a projekt keretében mintázott tavak ciszta közösségeinek vizsgálatához.

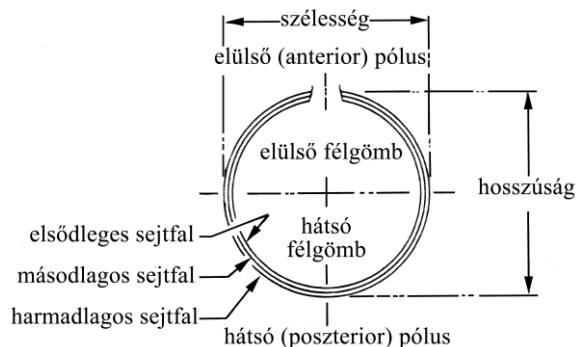
A Chrysophyta sztomatociszta morfológiai azonosítása egy mesterségesen kidolgozott, nemzetközileg elfogadott kódrendszer szerint történt (Cronberg & Sandgren 1986). Egy ciszta tudományos leírásának feltétele az, hogy az adott cisztáról legyen fény és elektronmikroszkópos dokumentáció (típus példány kijelölése; rajz készítése is ajánlott), minél részletesebben adják meg az előfordulási adatokat („locus typicus” kijelölése; paleolimnológiai kutatásoknál a fúrás adatainak megadása, pl. üledékrétegtan).

A ciszta határozásban Duff *et al.*(1995), Facher & Schmidt (1996), Pla (2001) és Wilkinson *et al.*(2001) kötetei nyújtottak nagy segítséget. Ezenkívül Kamenik (2010) által fejlesztett Stom@tocyst adatbázisa (<http://www.stomatocysts.unibe.ch/>) adott hasznos információt.

#### 4.3.3.1 *Chrysophyta* ciszta nevezéktan

A ciszta morfortípusok leírásához leggyakrabban latin vagy latinból származtatott kifejezéseket használnak, amelyek magyarra történő tükörfordítása félrevezető lehet. Ezért a sztomatociszták morfológiai bemutatásánál a latin nevek magyarosítására törekedtem.

Az átlagosan 2-30  $\mu\text{m}$  átmérőjű ciszta felszíne morfológiailag elülső és hátsó oldalra osztható (4. ábra). A pórus, ami nem feltétlenül a gömb pólusán helyezkedik el, de mindig az elülső oldalon található. Az elülső és hátsó pólusok közti távolság adja meg a hosszúsági értéket, míg a hosszúságra merőleges legszélesebb faltávolság (nem feltétlenül az egyenlítői pontban) adja a szélességi adatot (4. ábra).

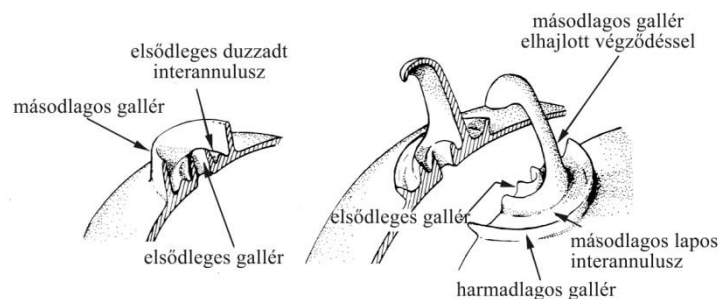


4. ábra A Chrysophyta sztomatociszta sematikus rajza Duff *et al.* (1995) nyomán

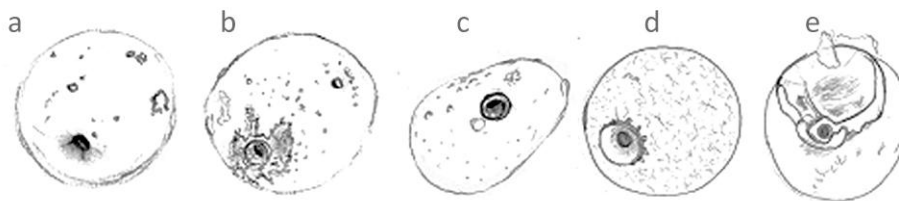
A legtöbb ciszta gömbölyű (pl. 6.a,b ábra), de lehetnek oválisak, ellipszoidok, tojásdadok (6.c ábra) vagy fordított tojásdad alakúak. A ritkán előforduló piramidális formájúaknál a hosszúság/szélesség arány kisebb, mint 0.8.

Minden ciszta rendelkezik pórusal. A pórus egyszerű esetben szabályos (6.a ábra), körkörös. Amennyiben a pórus belső oldalán a felszíni átmérő nagyobb, akkor kúp alakú pórusról beszélünk. Ha a pórus belsejében a ciszta sejtfa homorú, akkor konkáv pórus szerkezetű a pórus. Pszeudoannulusznak hívjuk a pórus szegélyének belső oldalán fejlődő vékony szilíciumperemet, amelynek alakja az egyenestől a domborúig változhat. Ritkán a pórus felszínét egy szilíciumtartalmú dugószerű hártya zárhatja.

A pórus körüli megvastagodás, az ún. gallér (6.b,c,d ábra) fakultatív megjelenésű. A gallér szerkezetét három paraméter határozza meg: i.) magassága, ii.) a csúcsi végződés formája, valamint iii.) a külső felszínének díszítettsége. A gallér alapi részének jellemzése és az esetleges további elemek, (pl. támasztó oszlopok, 6.d ábra) szükségesek a leíráshoz. A gallér bazális perem belsőt és a pórus külső peremét összekötő fakultatív egység az annulusz. Ritkán előfordulhat, hogy kettő vagy több gallér (összetett gallér) fejlődik a pórus körül, ezeket a pórus belsejétől indulva sorszámozzuk. A gallérok közötti ciszta felszín az internannulusz. Ritkán előfordul, hogy a gallér csúcsi részén horonyszerű képlet jelenik meg, amely másodlagos gallérnak tűnhet, valójában álgallér. Nagyon ritka esetben a gallért is boríthatja szilikahártya (5. ábra).



5. ábra Chrysophyta ciszták pórus és gallér elemei Duff *et al.* (1995) nyomán



6. ábra Néhány gallértípus és díszítőelem a Gales-3 fűrásból származó sztomatocisztákon

A ciszta szerkezetének bonyolultságát a sejtfa felszínén megjelenő díszítő- vagy kapcsolódó elemek adják. A felületi mintázat közül a legegyszerűbbek a nagyjából kúp vagy henger alakú „szemölcsök” (6.a,b,c ábra). A legapróbb 2  $\mu\text{m}$  alatti átmérőjűek a szkabrák (scabrae), az attól nagyobbak a verrukák (verrucae) és a konulák (conula), utóbbiak alapi átmérője mindig meghaladja a magasságukat.

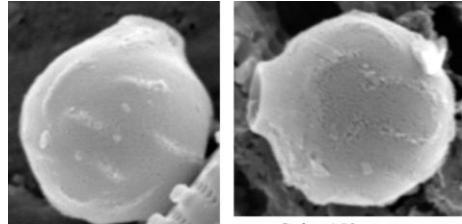
A ciszta felszínén megjelenő tüskéket hosszúságuk és végződésük alapján csoportosítjuk. Az echinéták (echinate) a legegyszerűbb, nem elágazó végű tüskék. A bakuláták (baculate) apikális végződésükben koronyszerűen elágazó, míg a tüskék harmadik csoportjába általában hosszú a végükön kettéágazó képletek tartoznak.

A felszínen rövid szakaszokban előforduló elemeket gerinceknek (ridges) nevezzük, míg ha a teljes ciszta felszínét körbefutják (egyenlítői szélesség mentén futó/hosszirányban futó/

kört alkotó) akkor körkörös gerincnek nevezzük, míg a hálózatos szerkezetű mintázatot retikulárisnak (6.d ábra) nevezik. A ciszta felszínén megjelenő díszítőelemek alkotta bemélyedések osztályozása a mélyedés átmérőjének, egymástól való távolságának valamint hosszának függvénye (6.b,e ábra).

A ciszták azonosítás során komoly gondot jelentett, hogy a különböző irodalmak különböző jelzetet/számozást használnak. Tudománytörténeti szempontból érdekes, hogy egymástól függtelenül szinte egy időben kezdődött az intenzív cisztakutatás Kanadában, Németországban és Spanyolországban.

A párhuzamos vizsgálatok eredményeként, nehezen összehasonlítható elnevezések kerültek publikálásra és honosodtak meg köztudatban. Olyan helyzet alakult ki, mint a nyelveknél, a különböző kontinenseken különbözőképpen nevezték ugyanazt a formát, morfortípust. Vegyük példának #113 jelű cisztát (7. ábra), amit Zeeb *et al.* 1990-ben írt le a PEARL (Paleoecological Environmental Assessment and Research Laboratory, Queen's University, Kanada) laboratóriumában.



**7. ábra** C113 ciszta a Gales-3 szelvény 152 cm-es mintájából

Sergi Pla a spanyol Pireneusokban ugyancsak megtalálta ezt a formát, és S113-nak jelölte. Facher & Schmidt közép-európai tavakat vizsgáló összefoglalójában n° 81 megnevezéssel találjuk ugyanezt a formát. Kamenik adatbázisában két „néven” szerepel: ST 152 és ST 154. Ahhoz, hogy saját eredményeinket össze tudjuk hasonlítani az irodomban közöltekkel, el kellett készíteni egy olyan szinoníma táblázatot, ahol ezek az elnevezések együtt fordulnak elő. A szinonimizálást Kamenik adatbázisára („Stom@ocysts & Co”, <http://www.stomatocysts.unibe.ch/>) alapozva tettük meg (Függelék I., 2. táblázat).

A legalább három egyedben alapuló, SEM által dokumentált ciszták morfológiai bemutatása, jelölése a Nemzetközi Statospóra Munkacsoport (International Statospore Working Group) ajánlása szerint történt (Cronberg & Sandgren 1986). A tudományra nézve új típusok leírásához legalább három egyed SEM dokumentációja szükséges. - az „500”-as sorszámokkal kezdődtek, a Kárpátok („Carpathians”) nyomán „C” előtagot kapott minden új és korábban leírt morfortípus. A sorszámot követő betű(k) a morfortípus lehetséges variánsa(i)ra utalnak. Az elnevezést követő zárójelben lévő szám a SEM által dokumentált egyedek számát jelenti (pl. C500 [5] a Dél-Kárpátok Gales-tavából leírt új forma az 500-as sorszámú és 5 példányról van SEM felvétel (2. táblázat).

#### 4.3.4 Alkalmazott statisztikai módszerek

A Gales-3 üledékszelvény kovaalga zónáinak (DAZ, Diatom Assemblages Zones) meghatározása a PSIMPOLL 3.00 programon (Bennett 1998, <http://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>) belül az euklidészi távolságok négyzetének növekedésén alapuló összevonási módszerével, a CONISS (CONstrained Incremental Sums of Squares cluster Analysis) elemzéssel történt, ahol a kovaalga adatok relatív gyakorisági értékeinek négyzetgyök transzformációjával, majd a csoportokon belüli eltérés-négyzetösszeg minimalizálásának módszerével képeztem a 10 zónát magába foglaló klasztert. A csoportosítást elvégeztük a teljes adatsoron - a legnagyobb taxonómiai felbontás mellett - majd a tömeges és indikátor fajok meghagyása mellett nemzetségszintű összevonást (38 kategória alapján) alkalmazva is. Csoportokat képeztünk úgy is, hogy a cisztákat kihagytuk az elemzésből (ezek a valódi DAZ zónák) és úgy is, hogy figyelembe vettük a C:D arányt. Végül az életformák alapján is elvégeztük a klaszterképzést. Életformák szerint négy csoportot

különböztettünk meg Buczkó *et al.* (2013a) munkája alapján, így adataink összevethetőek a Brazi tó diatómáinak életforma felosztásával): 1. *aerofita* az a diatóma, amely elviseli az időnkénti kiszáradást, víz alatti élőhelyeken tartósan nem versenyképes (pl. *Hantzshia amphioxys*, *Luticola* fajok *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis*) csoportja; 2. a víztest medrében rögzülő vagy a partmenti élettelen felszínen megtelepedő *bentonikus* fajok csoportja, alcsoportja a homokszemcse felszínén megtelepedő epipszammionikusak (pl. *Psammothidium* és *Sellaphora* fajok) közössége. 3. *Perifitikus* fajok (pl. *Achnanthydium*, *Cymbella*, *Cymbopleura*, *Encyonema*, *Gomphonema* taxonok) különböző makroszkópikus növények felszínéhez rögzülnek. Végül a 4. csoportba a víztestben lebegő életformát mutató *euplanktonikus* tartoznak, míg a fakultatív lebegő életmódot a *tychoplanktonikus* fajok mutatják (Függelék I., 1. táblázat).

Az adatok elemzése során gondot jelentett, hogy a fúrás alacsony szervesanyag tartalmú alsó mintáiban gyakran nem volt 300 példány. Bár az elemzés formailag elvégezhető ilyen mintákra is, ezek nem adnak statisztikailag megbízható eredményt. Az ábrákon részleges kitakarással ábrázoltuk ezeket részeket.

A klaszteranalízis során nyert kovaalga zónák validálását az R programban (R Development Core Team, <http://www.R-project.org>), a *pvclust* csomaggal végeztem a teljes adatsoron, a ciszták nélkül (valódi DAZ zónák) a kovaalga adatok relatív gyakorisági értékeinek négyzetgyök transzformációjával. A hierarchikus klaszteranalízisben a paleoökológiai adatoknál használt csoportátlag („average”) összevonó módszerét alkalmaztam euklidészi távolság alkalmazása mellett. Ez a statisztikai csomag a klaszteranalízis eredményeiben rejlő bizonytalanságokra („sampling error”) világít rá bootstrap analízis többszörös újramintavételezési („resampling”) módszerén keresztül, minden egyes klaszterre valószínűségi értéket számolva (approximately unbiased p-value,  $p_{AU}$ ).

A klaszteranalízis után többváltozós statisztikai módszerrel is elemeztük az adatokat. Az előzetesen elvégzett elemzés segítségével, az adatok transzformációja nélkül meghatároztuk a leghosszabb tengely hosszát, amely az élőlényközösség (változó) béta diverzitására utal (Leps & Šmilauer 2003). A különböző változószámot tartalmazó adatsorok gradiens hosszát vizsgálva megállapítottuk, hogy a teljes Gales adatsor esetén a 6.9 SD (variancia mértéke az ordinációs tengely mentén, azonos a súlyozott standard deviációval) érték nem teszi lehetővé a PCA analízis elvégzését. Ennek megfelelően addig szűkítettük a közösség adatsorát, míg a megbízható PCA elemzéshez elvárt 3-4 SD egységek közötti gradiens hosszát nem kaptuk. Ennek megfelelően az adatsorba nem kerültek be a 300 váz alatti minták (késő-glaciális időszak) és a cisztaszám sem. A 300 egyedszám határ (300-600 vázszám ajánlott) egyébként a klasszikus algológiai határozásban is elvárt (pl. Battarbee 1986). Főkomponens analízis (Principal Component Analysis, PCA) segítségével meghatároztuk a fosszilis élőlényközösségekben a főbb gradienseket, majd ábrázoltuk az ordinációs tengelyek mentén. Ezáltal megállapítottuk, hogy milyen csoportok különíthetőek el. A főkomponens analízist az R programmal (R Development Core Team, <http://www.R-project.org>) a *prcomp* csomaggal végeztük, négyzetgyök transzformációjával. Az elemzést elvégeztük a teljes adatsoron, cisztákkal együtt és azokat kihagyva; a nemzetségszintű összevonás után kapott adatsoron, valamint az életformák alapján történt összevonással nyert adatsoron is.

## 5 Eredmények

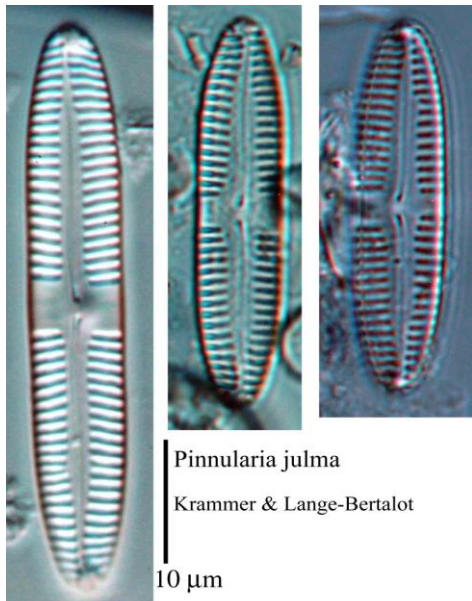
A fejezet két nagy egységre tagolódik. Az első részben a Gales-3 szelvény szilícium-dioxid vázas alga közösségeinek florisztikai vonatkozású leírása történik meg. A második egységben a Gales tó fejlődéstörténetét bemutató, vízszintrekonstrukcióra vonatkozó eredmények kerülnek bemutatásra.

### 5.1 A Gales tó szilícium-dioxid vázas algaközösségei

#### 5.1.1 A Gales tó kovaalga flórája

A Gales tóból nyert 328 cm hosszú fúrásból 82 mintát dolgoztunk fel. Összesen 180 különböző kategóriát különböztettünk meg a határozás során. A fúrás alján sok, rossz megtartású, oldódott, korrodált forma fordult elő és számos kovatóredék, amelyek fajszintű határozása nem volt lehetséges, ugyanakkor jelenlétük informatív. Ezeket az „indet” kategóriába soroltuk. Megkülönböztettük a „sternumokat”, amely a sternum a kovaváz legerősebben kovásodott része. Ha csak a sternumok voltak a mintákban, akkor a minta nem töredezett, hanem oldódott.

A határozási nehézségek ellenére 178 kovaalgát határoztunk meg faji vagy nemzetség szinten. A teljes fajlista az 1. táblázatban (Függelék I.) tanulmányozható, ahol külön választottuk a késő-glaciális és Holocén időszakot. Az elkülönítést egyrészt az indokolta,



**8. ábra** *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot

hogy a két időszakban nagyon különböző volt a fajösszetétel, valamint az, hogy a késő-glaciális időszakot lefedő mintákban általában nem volt elegendő ( $n=300$ ) váz a statisztikailag megbízható mintaképzéshez. Ugyanakkor a környezeti rekonstrukció szempontjából ezek a „meddő” vagy gyér flórát tartalmazó rétegek is informatívak. A táblázat tartalmazza az adott taxon relatív gyakorisági (rel.ab.LG: késő-glaciális relatív gyakoriság, rel.ab.Hol.: Holocén relatív gyakoriság) értékeit, valamint a konstancia (konst.LG: késő-glaciális konstancia, konst.H: holocén konstancia) adatait, ahol a konstancia értékek adott taxonnak az összes mintára vonatkozó előfordulását mutatja százalékos formában (konstancia 1: 1-20%, 2: 21-40%, 3: 41-60%; 4: 61-80%, 5: 81-100%). A késő-glaciális részen a konstancia maximuma három, vagyis nincs olyan taxon, amely

minden mintában megtalálható lett volna, pontosabban, mivel a meddő mintákat is figyelembe vettük, ezért nincs olyan faj, amely a minták több mint 60%-ban jelent volt. Négy olyan faj van, amely 3-as konstanciával bír: *Encyonema minutum*, *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, *P. gibba*. Kettes konstanciájú faj a *Humidophila perpusilla* és az *Orthoseira roseana* volt, vagyis a késő-glaciális minták maximum 40%-ban fordultak elő. A *Surirella linearis* nagyméretű sejtjei leginkább a bentoszban élnek, és több *Gomphonema* faj is megtalálható volt a késő-glaciálisban.

A várakozásnak megfelelően a Holocén időszak diatóma flórája jóval változatosabbnak mutatkozott, mint a késő-glaciálisé, csupán 12 olyan taxon került feljegyzésre, ami csak a késő-glaciálisból volt kimutatható, a Holocén időszelekből nem. A Holocénben tizenhárom 5-ös konstanciájú faj fordult elő, amely a minták több mint 80%-ban előfordult, ezek a következők: *Adlafia minuscula*, *Aulacoseira valida*, *Diatoma mesodon*, *Encyonema gaeumannii*, *Fragilariforma virescens*, *Genkalia digituloides*, *Karayevia carissima*, *Nitzschia* cf. *garrensis*, *Pinnularia sinistra*, *Planothidium lanceolatum*, *Psammothidium curtissimum*, *P. subatomoides*, *Staurosira venter*, melyek életformájukat és taxonómiai hovatartozásukat illetően igen eltérőek (Függelék I., 1. táblázat).

Három nagyobb csoportot érdemes kiemelni a Gales-3 szelvény fajegyütteséből, az *Aulacoseira* fajokat, a monorafés achnanthoid fajokat valamint a korábban a *Fragilaria* nemzetségbe soroltakat (ma többek között a *Fragilariaforma*, *Pseudostaurosira*, *Staurosira* és a *Staurosirella* nemzetségekbe kerültek ezek a fajok).

A gyakori, domináns planktonikus *Aulacoseira* taxonok a következők voltak: *Aulacoseira alpigena*, *A. ambigua*, *A. nivalis*, *A. pfafliana* és *A. valida*. Az *A. valida* a késő-glaciális mintákban 1-es, a Holocénben 5-ös konstanciát mutatott, karakterisztikus flóraelem volt. Az *A. ambigua*, *A. nivalis* és *A. pfafliana* csak a Holocén mintákban jelentek meg, 4-es konstancia mellett. Az *A. alpigena* a késő-glaciális mintában 1-es, a Holocénben 4-es konstanciával szintén domináns flóratag volt.

A monorafés achnanthoid taxonok közül a Holocén Gales-rekord domináns (konstancia 4 vagy 5) tagjai voltak a perifitikus *Achnanthidium minutissimum*, *Adlafia minuscula*, *Planothidium lanceolatum*, *Psammothidium bioretii*, *P. curtissimum*, *P. helveticum*, *P. scoticum*, *P. subatomoides*. Bentonikus monorafés taxonok közül a *Sellaphora pupula* var. *pupula*, *S. seminulum* emelhető ki.

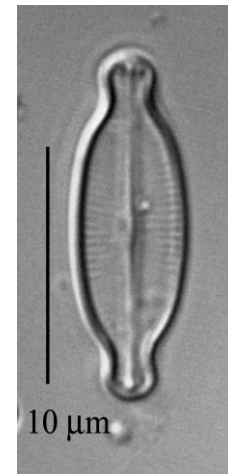
A késő-glaciális-Holocén átmenetben megjelenő és a kora-Holocénre gyakorivá váló fragilaroid taxonok közül az alábbiak határozták meg a Gales-rekordot: *Fragilariaforma virescens*, *Fragilaria* cf. *capucina*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *P. construens*, *Stauroforma exiguiiformis*, *Staurosira venter*, *Staurosirella* sp. A *Staurosirella pinnata* csak 2-es konstanciát mutatott.

Florisztikai szempontból jelentős eredménynek tekinthető a *Pinnularia julma* (Krammer & Lange-Bertalot) 124 cm-es mélységű mintában történt azonosítása (8. ábra), a taxon konstanciája 1 volt. A másik hangsúlyos elemnek a 96- és 160 cm-es mintából előkerült *Navicula detenta* (Hustedt) (9. ábra) számít, szintén 1-es konstanciával.

A ritka fajok közül említést érdemel a *Navicula difficillima*, amely a 164 cm-es mintában jelent csak meg, míg a *Geissleria acceptata* egyedül a 172 cm-es mélységből került elő. Mindkét faj 1-es konstanciát mutat a teljes szelvény tekintetében.

Említést érdemel a *Neidium* nemzetségen belül a fajoként nem azonosítható *Neidium* sp. taxon (10. ábra) leírása, amely több késő-glaciális (280, 276, 272, 268, 236, 232, 216 cm) és egyetlen Holocén mintában (204 cm) fordult elő. A késő-glaciális mintákban 2-es, a Holocén időszelekből 1-es konstanciájú.

Egy másik 1-es konstanciájú taxont, a *Neidium affine* (Ehrenberg) Pfitzer fajt a Holocén mintákban, a 160, 120, 104, 56 és a 40 cm-es mélységben azonosítottam,



9. ábra *Navicula detenta* Hustedt



10. ábra *Neidium* sp. a Gales-3 fúrásból

mérettartománya 39-55  $\mu\text{m}$  hosszú és 10-12,5  $\mu\text{m}$  széles volt, ugyanakkor a 40 cm-es mintában egy kisebb, 30x10  $\mu\text{m}$  méretű típust soroltam a *N. affine* taxonhoz, jóllehet nagy hasonlóságot mutatott Hamilton *et al.* (2014) által az arktikus területekről leírt *N. antarcticum* fajjal.

A gyakori taxonok (Függelék II., 1. táblázat) közül megjelennek az oligotróf, enyhén savanyú élőhelyre jellemző diatómák, az *Eunotia* nemzetség képviselői (*Eunotia arcus* var. *minor*, *E. incisa*); szárazodásra utal a *Hantzschia amphoxys* (3-as konstancia), *Humidophila contenta*, *H. perpusilla* (4-es konstancia), *Luticola* sp. (*L. mutica*, *L. nivalis*, *L. ventricosa*), *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis* taxonok megjelenése. Áramló vízre jellemző a rheofil a *Meridion circulare* és változata a *M. circulare* var. *constrictum* (3-as konstancia) jelenléte (14. ábra).

Általánosan elmondható, hogy a törött vázakon kívül nagyobb határozási bizonytalanságot a tipikusan boreális, kissé acidofil vizekre jellemző, hazai határozási gyakorlatban ritkán előforduló, viszont a Gales tóban igen diverz *Eunotia* sp. nemzetség képviselői okozták a korábban említésre került kissejtes monorafid taxonok határozási nehézsége mellett. A karakterisztikus és/vagy nagyméretű (azonosítható határozási bélyegeket hordozó) taxonok (pl. *E. bidens*, *E. boreoalpina*, *E. diadema*, *E. incisa*, *E. tetradon*) elkülönítése mellett a hasonló mérettartományú (hossz-, szélesség, stráf szám/ 10  $\mu\text{m}$ ), fénymikroszkópban a határozási bélyegek alapján nem azonosítható egyedeket mérettartomány és stráf szám szerint nemzetség szinten kategorizáltam. Ezekben az esetekben további elektronmikroszkópos elemzés szükséges a megbízható fajszintű határozáshoz. Miután a nemzetség szinten összevont csoportok nem voltak dominánsak - a sztratigráfiai elemzésbe nem lettek felhasználva -, várhatóan számottevő információt nem vesztettem.

### 5.1.2 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája

A Gales-3 szelvényből 83 sztomatociszta morfortípust különböztettem meg. 81 formát fény- és elektronmikroszkóppal is dokumentáltam, míg két típus esetében csak fénymikroszkópos képekkel rendelkezünk (C137, C298). A felhasznált irodalom alapján 71 morfortípus már korábban leírt forma volt (Függelék I., 2. táblázat). Továbbá 180 egyedről részletes angol és magyar nyelvű taxonómiai leírást készítettem Pla (2001) *Pireneusokból* közölt ciszta határozókönyve alapján.

A teljes szelvényben előforduló, többnyire domináns, felszínükön díszítőelem nélküli morfortípusok a következők voltak: C001, C009, C049, C125 (Függelék III., 45., 40. és 22. ábra). A fúrásban felfelé haladva a díszített felszínű formák kerültek túlsúlyba a díszítetlen felületű formákkal szemben, ugyanakkor a díszítetlen morfortípusok a teljes szelvényt meghatározták. A leggyakoribb, minden mintában előforduló ciszta a sejtfallal felszínén, egymástól egyenlő távolságra, sűrűn elhelyezkedő, végükön koronaszerűen elágazó tüskékkel díszített C210 morfortípus volt (Függelék III., 25. ábra), míg a legnagyobb gyakoriságot a 180 cm-nél maximumot mutató ovális C072 morfortípus volt, a sejtfallal felszínén sűrűn tüskézett, a tüskék végződése koronaszerű képletet mutatott (Függelék III., 41. és 43. ábra).

#### 5.1.2.1 A Gales tó tudományra nézve új Chrysophyta cisztái

Tizenkét olyan formát találtunk, amelyeket nem lehetett a korábban leírt morfortípusokkal azonosítani, ezeket a tudományra nézve újak véljük. Az ISWG ajánlásának megfelelően azok az új formákról közöljük eredményeket, amelyekről legalább három elektronmikroszkópos kép áll rendelkezésre és közülük egyet közölni tudok.

A formák megnevezését önkényesen végeztem. Dr. Sergi Pla-nak, a ciszták nemzetközi szakértőjének segítségével döntöttünk a következő elnevezés mellett: minden ciszta neve

kezdődjön C-vel, ami esetünkben a Kárpátokra (Carpathians) utal. A ciszták számozását 500-tól kezdtem. Valamennyi, az ISWG ajánlásnak (Cronberg & Sandgren 1986) megfelelően újként leír forma a „*Gallérral és díszített felszínű sztomatociszták*” csoportjába tartozik, biológiai rokonsága egyik morfortípusnak sem ismert. Az alábbiak az a 7 forma kerül bemutatásra, amelyek leírásához elegendő LM és SEM felvétel állt rendelkezésemre. A maradék öt formáról csak egy-egy felvétellel rendelkezünk.

#### **Sztomatociszta C500 (9) (Függelék III. 1. ábra; 8-9. ábra)**

Hengerszerű gallérral és hosszú díszítő elemmel rendelkező gömbszerű vagy ovális sztomatociszták csoportjába tartozó ciszta.

*Elektronmikroszkópos leírás:* 5,60x7,40  $\mu\text{m}$  átmérőjű sima felszínű, gömbölyű, kissé ovális ciszta, a pórust keskeny, határozott futású, hengerszerű gallér (átmérő 0,75-1,20  $\mu\text{m}$ ; magasság: 0,7-1,1  $\mu\text{m}$ ) fogja körül. A pórus közvetlenül nem látható. A gallér elülső részén a perem élesen végződik (perem szélessége 0,1  $\mu\text{m}$ ), a perem belső oldalának átmérője 0,4-0,6  $\mu\text{m}$ . A gallér és a ciszta átmérő aránya kb. 0,15. A ciszta hátulsó felén a típusra jellemző, egyedi díszítőelem jelenik meg. A viszonylag hosszú (mindig >1,30  $\mu\text{m}$  feletti) függelék morfológiája egyedi: a ciszta felszínétől indulva (alapi szélessége 0,6-1,0  $\mu\text{m}$ ) szélesedik, sallangos, valószínűleg kettéágazik, vége gyakran hullámos, olykor csipkézett szélű (maximális szélessége a végén 2,2  $\mu\text{m}$ , az elem magassága mindig > 1,3  $\mu\text{m}$ ).

*Fénymikroszkópos leírás:* a pórus felőli oldalról nézve könnyen felismerhető a gallér keskeny, elülső része felé kissé kiszélesedő formájáról és a hirtelen lezáródó végéről. Fordított helyzetben, amikor a pórus nem látható, akkor a legjellemzőbb bélyege, a sallangos, kiszélesedő díszítőelem teszi könnyen felismerhetővé.

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma:* Gales16cm59

*Előfordulás helye:* Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 16 cm mélység

*Hasonlóság:* Nem tudunk hasonló előfordulásról.

*Mintában való előfordulás:* Rendszeresen előforduló ciszta típus a Gales-3 üledékszelvényben, a késő- és közép-Holocén szelvényben (16-140 cm) kifejezetten gyakori.

#### **Sztomatociszta C501 (Függelék III. 2. ábra, 10-11. ábra)**

Széles gallérral és összefüggő gerincdíszítést tartalmazó nagyméretű gömbszerű sztomatociszták csoportjába tartozik.

*Elektronmikroszkópos leírás:* Szabálytalan formájú sztomatociszta, nagyméretű, kifelé szélesedő gallérral. A gömbölyded, nagyméretű ciszta átmérője 10,2x14,3  $\mu\text{m}$ . Az alapi végén hengeres (átmérője 3,6-5,6  $\mu\text{m}$ ), majd egyre inkább szélesedő, öblös (obkonikális) gallér (csúcsi átmérője 4,8-5,2  $\mu\text{m}$ ) magassága 4,0-4,1  $\mu\text{m}$ . A gallér csúcsi végének széle többnyire hullámos, pereme hirtelen elvékonyodó. A gallér ciszta felszínhez kapcsolódó külső alapi részének díszítettsége jellegzetes: határozott, vastag, felfelé kissé vékonyodó, párhuzamos futású pillérek sorakoznak, megtámasztva a gallért (ciszta felszínéhez kapcsolódó pillér átmérője 0,6-1,10  $\mu\text{m}$ , magasságuk 1,0-2,0  $\mu\text{m}$ , apikális átmérő 0,25  $\mu\text{m}$ , pillérek közötti távolság 0,3-0,6  $\mu\text{m}$ ). A ciszta pórusa, illetve a gallér belső oldala nem látható. Az egyébként sima felszínű cisztán szabálytalan elrendezésű és formájú gerincek, lunák (hold alakú, akár félkör hosszúságú) és hullámos hátgerincek (ridgek) (hosszuk maximum 2,9  $\mu\text{m}$ ; gerinc magassága 0,4-0,9  $\mu\text{m}$ ) láthatók. A hullámos gerincek egymásba kapaszkodhatnak. A felszín mintázata alapvetően változatos az egyenlítői zónában: a hullámos gerincek kör alakú mélyedést fognak körül, melynek átmérője 0,6-1,0  $\mu\text{m}$ . Főként a pólusok körül, de különösen a hátsó póluson gyakoriak a magányos hold alakú gerincek (lunák).

*Fénymikroszkópos leírás:* Az egyik legkönnyebben azonosítható ciszta típus. A fénymikroszkópos képen is jól látható a magas, felfelé öblösödő gallér: két V-alakban

megjelenő tüskeszerű képletként. A sejtfal megvastagodásaiért a felszínen futó gerincek felelősek, egyenetlen, gyakran szögletes felszínformát eredményezve.

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma: Gales16cm47*

*Előfordulás helye: Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 16 cm üledékmélység*

*Hasonlóság: Néhány morfológiai tulajdonság alapján (ciszta alak, átmérő valamint a gallér alapi részén elterülő csavart pillérek megléte) a ciszta típus hasonlóságot mutat a Stomatocyst No. 85. Facher & Schmidt (1996) által leírt formához, viszont a St. 85.-nak magasabb gallérja van és csak a pólus körül jelennek meg a jóval keskenyebb a gerincek.*

*Mintában való előfordulás: Teljes szelvényben előforduló, de ritka morfortípus.*

#### **Sztomatociszta C502 (4) SEM (Függelék III. 3. ábra; 12-13. ábra)**

Hosszú, de nem kettéágazó tüskével rendelkező sztomatociszták csoportjába tartozó típus.

*Elektronmikroszkópos leírás: Nagyméretű, sima felszínű, gömbszerű sztomatociszta (átmérő 6,8-8,2 µm). A kifejezetten széles és alacsony (< 0,2 µm) hengeres gallér (átmérő 1,8-2,5 µm). A gallér : ciszta átmérő aránya 0,29. A pórus szabályos, kisméretű (átmérő 0,3-0,4 µm). A gallér belső oldala a pórus irányába lejt. A ciszta hátulsó fal oldalán 4-8 darab, egymástól nagyjából egyenlő távolságra elhelyezkedő üreges hosszú, ún. echinéta (echinate) tüske helyezkedik el, amely nem ágazik el (bazális átmérő kb. 0,5 µm, hossz 6-10 µm).*

*Fénymikroszkópos leírás: A széles gallér és a hosszú tüskék jól láthatóak a fénymikroszkópos képeken.*

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma: Gales172cm002*

*Előfordulás helye: Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 172 cm üledékmélység*

*Hasonlóság: Hasonlít a Stomatocyst 331 Wilkinson & Smol 1998 típusra, de a C502 formának szélesebb gallérja van, valamint a tüskék hosszabbak és nem csavarodnak.*

*Mintában való előfordulás: fénymikroszkópban a közép-Holocén részből került elő (168- és 180 cm üledékmélység), SEM vizsgálatokban a közép- és késő-Holocén szakaszban jelent meg (8-, 60-, 120- és 172 cm).*

#### **Sztomatociszta C503 (5) SEM (Függelék III. 4. ábra; 14-15. ábra)**

„Bemélyedéssel” rendelkező sztomatociszták csoportjába tartozik.

*Elektronmikroszkópos leírás: Nagyméretű, gömbölyded sztomatociszta (átmérő 11,8-15 µm). A viszonylag keskeny, alacsony gallér kúpszerű, csúcsi vége megvastagodott (átmérő 1,6-2,2 µm, magasság kb. 0,4 µm). A gallér:ciszta átmérő aránya 0,1-0,12. A ciszta felszíne alapvetően sima, két-három határozott szélű mélyedés (depresszió) (átmérő 0,6-0,8 µm) figyelhető meg a pórus felőli (anterior) oldalon. A mélyedések apikális végei kissé megvastagodtak.*

*Fénymikroszkópos leírás: A ciszta átmérő adata és a két-három pontszerűen megjelenő mélyedések nagyban segíti a fénymikroszkópos azonosítást.*

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma: Gales268cm001*

*Előfordulás helye: Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 268 cm üledékmélység*

*Hasonlóság: A morfortípus hasonlóságot mutat a Stomatocyst 62 Duff & Smol 1991 típusával, de az általunk leírt forma kisebb. Továbbá a fénymikroszkópos képeken a mélyedések könnyen összekeverhetők a #62 típussal, abban az esetben, amikor az utóbbi forma esetén a letört tüskék pontszerű foltként jelennek meg. Továbbá a C503 hasonlít a Stomatocyst 103 Duff & Smol emend. Brown & Smol in Brown et al. (1997) formához, de itt kevesebb és kisebb a mélyedés.*

*Mintában való előfordulás: a Gales-3 magszelvény egyetlen késő-glaciális mélységében, 268 cm-nél került leírásra, ugyanakkor ebben a mélységben elérte a kb. 20 %-os relatív gyakoriságot.*

### **Stomatocyst C504** (10) SEM (Függelék III. 5. ábra; 16. ábra)

Gallér vagy gallér nélküli sztomatociszták, amelynek elülső oldalán egyszerű vagy összetett gallért utánzó díszítőelemek vannak típusú csoportba tartozó forma.

*Elektronmikroszkópos leírás:* nagyméretű, gömbölyded sztomatociszta (átmérő 9,6-11  $\mu\text{m}$ ). A ciszta felszíne sima vagy nagyon finoman díszített. A keskeny, henger formájú gallér átmérője 2,0-2,4  $\mu\text{m}$ , legmagasabb mérhető magassága 2  $\mu\text{m}$ , viszonylag magas, emiatt gyakran letörik. A szabályos, pórus egyszerű (átmérő 1,4-1,6  $\mu\text{m}$ ). A ciszta díszítettsége egyedi: az elülső oldalon a gallér körül helyezkednek el a változó számban megjelenő (4-10 db), szabálytalan, kisméretű, változatos, olykor visszahajlott végű tüskék (alapi átmérő 0,6-1,0  $\mu\text{m}$ , magasság <2  $\mu\text{m}$ ).

*Fénymikroszkópos leírás:* A hengeres gallért körülvevő függelékek jól láthatók.

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma:* Gales236cm003

*Előfordulás helye:* Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 236 cm üledékmélység

*Hasonlóság:* Hasonló formára utalás nincs az irodalmakban.

*Mintában való előfordulás:* csak 236 cm-es mintában találtuk meg, ahol nem túl ritka.

### **Stomatocyst C505** (4) SEM (Függelék III. 6. ábra; 17-18. ábra)

Hosszú, nem elágazó tüskéket tartalmazó sztomatociszták csoportjába tartozik

*Elektronmikroszkópos leírás:* Sima felszínű, gömbölyded sztomatociszta (átmérő 9,5-11  $\mu\text{m}$ ) A gallér (alapi átmérő 2,8-3  $\mu\text{m}$ ; magassága 1,2-2  $\mu\text{m}$ ) hengerszerű vagy kissé kúpszerű, csúcsi végén határozottan megvastagodott. A gallér:ciszta átmérő aránya 0,23. A gallér viszonylag széles belső pereme enyhén lejtést mutat, körbevéve a szabályos, egyszerű pórust (átmérő 1,0-1,4  $\mu\text{m}$ ). A ciszta hátsó fali oldalán 3-4 hosszú, vastag, egymástól egyenlő távolságra elhelyezkedő csőszerű üreges tüske látható (alapi átmérő 1-1,2  $\mu\text{m}$ , magasság > 10  $\mu\text{m}$ ).

*Fénymikroszkópos leírás:* A gömbölyded morfortípus könnyen azonosítható a hosszú, elvékonyodó végű tüskéi által.

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma:* Gales168cm016

*Előfordulás helye:* Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 168 cm üledékmélység

*Hivatkozás:* A morfortípus hasonlít a Pireneusokból leírt S355 Pla 2001 formához, de a gallér különbözik tőle. A S355 típusnak keskenyebb a hengerszerű gallérja, a cisztán megjelenő tüskék pedig hosszabbak.

*Mintában való előfordulás:* a Gales-3 magszelvény két mélységéből: 60- és 168 cm-es mélységben azonosítottuk, ahol nem ritkák.

### **Stomatocyst C506** (4) SEM (Függelék III. 7. ábra; 19. ábra)

Gallérral és bemélyedéssel rendelkező sztomatociszták csoportja

*Elektronmikroszkópos leírás:* Gömbölyded sztomatociszta (átmérő 5,5-6,6  $\mu\text{m}$ ). A szabályos pórust (átmérő 0,3-0,4  $\mu\text{m}$ ) rövid, inkább henger formájú gallér veszi körül (átmérő 0,7-0,9  $\mu\text{m}$ ), melynek csúcsi vége kissé megvastagodott (csúcsi perem maximális szélessége 0,1-0,2  $\mu\text{m}$ ). A gallér:ciszta átmérő aránya 0,13-0,14. A ciszta felületén szabálytalan alakzatú és elrendeződésű gödörszerű bemélyedések láthatók, szélességük 0,5-0,8  $\mu\text{m}$  között változik. A sajátos szerkezetet több, elnyúló árok (hosszirányú mélyedések) alkotja, melyek maximális hosszúsága 1,7  $\mu\text{m}$ , szélességük 1,1  $\mu\text{m}$ , mélységük kb. 0,1  $\mu\text{m}$ .

*Fénymikroszkópos leírás:* A fénymikroszkópos képen visszatükröződik a bemélyedések alkotta egyenetlen felszín, valamint a pórus kis, pontszerű alakja.

*Elektronmikroszkópos kép sorszáma:* Gales16cm004

*Előfordulás helye:* Gales tó, Gales-3 üledékszelvény, 16 cm üledékmélység

*Hasonlóság:* Nincs hasonló ciszta az irodalomban.

*Mintában való előfordulás:* A Gales-3 szelvény 16 és 20 cm-es mélységénél találtak meg, viszonylag gyakoriak.

## 5.2 A Gales tó fejlődéstörténete a szilícium-dioxid vázas algák alapján

### 5.2.1 A kovavázás szerkezetek zonációja

A Gales-3 magszelvényt változatos fajösszetételű késő-glaciális és Holocén diatóma flóra jellemezte. A teljes szelvényt tekintve a minták diatóma fajszáma, a meddő mintákat is beleszámítva átlagosan 33 volt. A 228 és 192 cm-es minták voltak a legfajgazdagabbak, 55 taxonnal (a meddő mintákat kihagyva az átlag 34, míg, a statisztikailag kiértékelhető mintákban 43 volt az átlagos fajszaám).

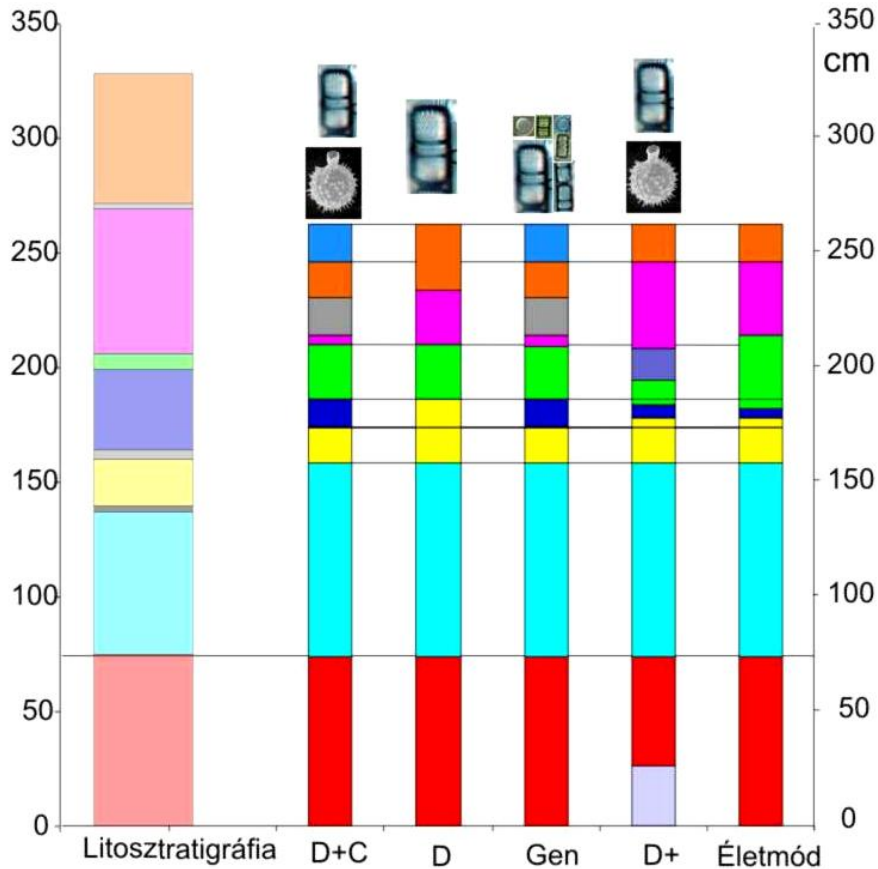
Általánosan elmondható, hogy mind a kovaalga vázak, mind a ciszták a késő-glaciálisban, az utolsó eljegesedés (LGM) utáni időszakban gyérek és rossz megtartásúak voltak. A korrodált vázak és a ciszták néhány kivételtől eltekintve azonosíthatatlanok voltak a fény- és elektronmikroszkópos elemzésekben. A késő-glaciális meddő mintákat követően bentonikus, perifitikus taxonok (*cymbelloid* spp., *Pinnularia* sp., *Pseudostaurosira* sp., *Staurosira* sp.) jelentek meg, és a késő-glaciális/kora-Holocén átmenetben gyakorivá váltak. Ugyanakkor a kora-Holocénben az epipszammonikus fajok (pl. *Sellaphora pupula*, *S. rectangularis*, *S. seminulum* relatív gyakorisági értékei helyi maximumot adtak. 180 cm-nél (~ 9300 kal. BP év) a planktonikus *Fragilaria gracilis* vált dominánssá, a flóra meghatározó tagjává. Majd a Holocén második felétől a diatóma profil éles váltást mutatott: a planktonikus, magas víztestet indikáló *Aulacoseira* taxonok relatív gyakorisága folyamatosan emelkedett, fokozatosan háttérbe szorítva a fragilaroid taxonokat (*Fragilaria*, *Pseudostaurosira*, *Stauroforma*, *Staurosira*, *Staurosirella* spp.) (11. és 14. ábra).





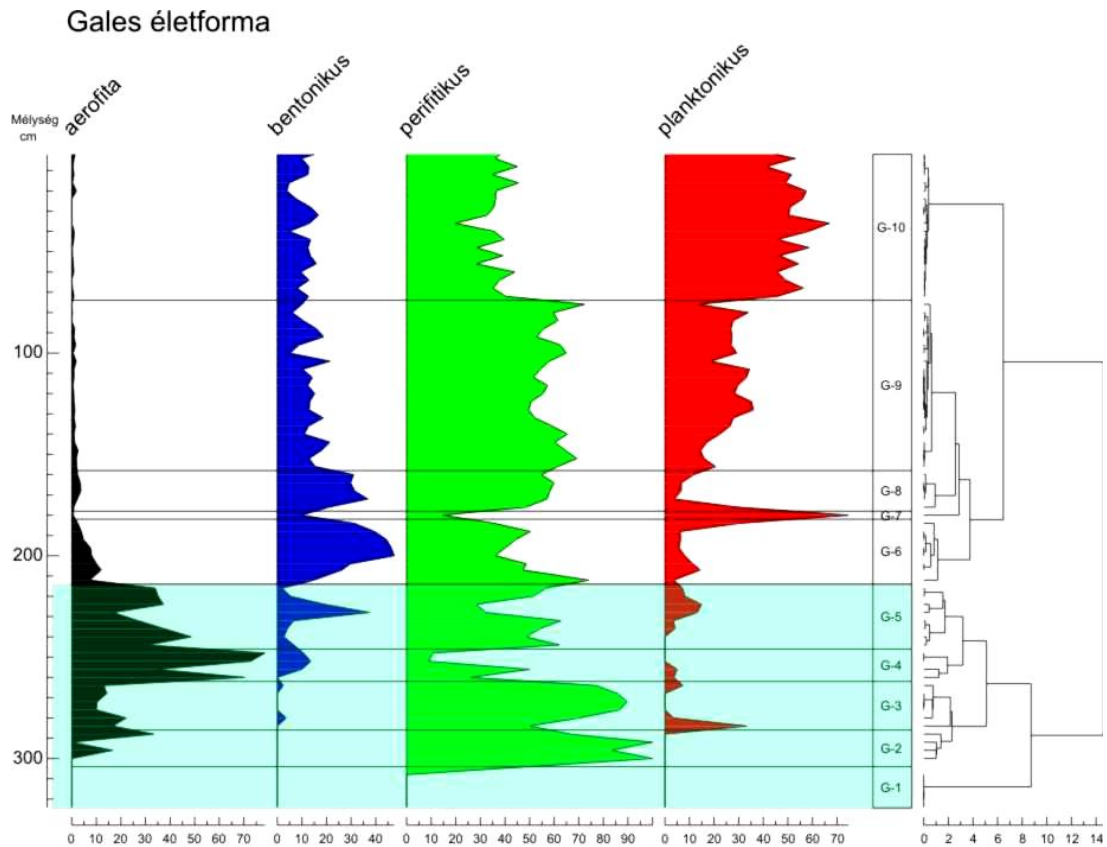






**12. ábra** A Gales-3 fúrás mag zónái. Balról jobbra haladva Litosztratigráfia: Troels-Smith féle üledékrétegtani zóna, Magyar *et al.* (2009) adatai alapján, D+C: összes kovaalga taxon és ciszták alapján képzett zóna (180 taxon), D: összes kovaalga taxon (178 taxon) alapján képzett zóna, Gen: nemzetségszintű összevonással (39 csoport) kapott kovaalga zóna, D+: domináns kovaalga taxonokon és nemzetségszintű összevonással képzett kovaalga csoportokon (56 taxon) alapuló zóna (Soróczki-Pintér *et al.* 2012, 2014), Életmód: az 1. táblázat (Függ. I.) 2. oszlopában található csoportok alapján képzett zóna

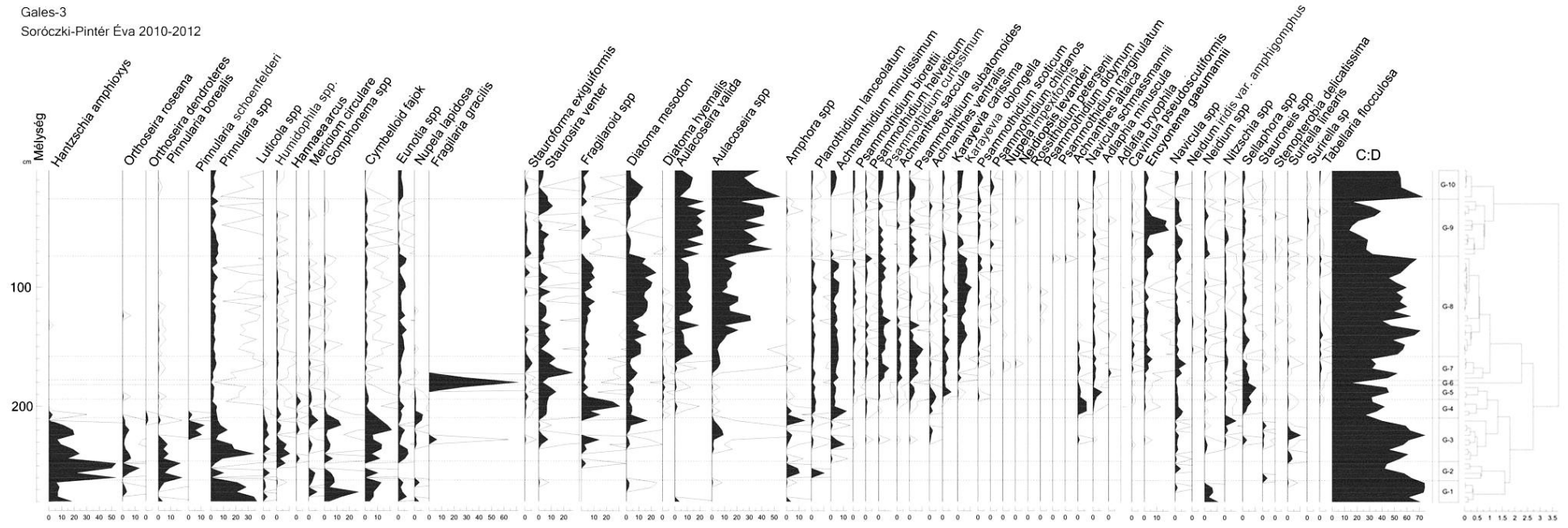
Míg a 11. ábrán a Gales-3 szelvény teljes fajkészletén, összes mintaszámán (83 db minta) és a cisztaszámokon alapuló zónahatárok láthatók, addig a 12. ábrán a különböző felbontási adatbázisokon, CONISS összevonási módszerrel képzett zónahatárok kerültek összehasonlításra. Utóbbi esetben az adatbázis mindig 67 mintát (264 cm-től kezdődően) tartalmazott. A változók száma 180 (kovaalga taxonok és Chrysophyta ciszták) és 4 (kovaalga életformák, 13. ábra) között változott. A legteljesebb adatsorunk (12. ábra D+C, azonos a 11. ábrával) az volt, amikor minden taxon szerepelt az elemzésben, a ritka fajokat is figyelembe véve (a taxonok arányát 1 ezrelékre állítottuk). Elvégeztük az elemzést ciszták nélkül (D), csak a kovaalgákon, szintén a ritka taxonokkal együtt. A Gen oszlopban található az „indikátor” fajokon, illetve a nemzetségszintű összevonásokon alapuló adatbázis 39 taxonján végzett elemzés eredménye. A D+ egy bővebb adatbázison készült, amelyben 56 kategóriát különböztettünk meg, nem került egy csoportba az összes monorafid forma („achnanthoid fajok”), hanem külön kezeltük az *Achnanthes*, *Achnantheidium*, *Karayevia*, *Planothidium* és *Psammothidium* fajokat (Soróczki-Pintér *et al.* 2012, 2014, 14., 15. ábra). Végül életformák szerint is elvégeztük a csoportképzést (Életmód, 4 kategória, 13. ábra).



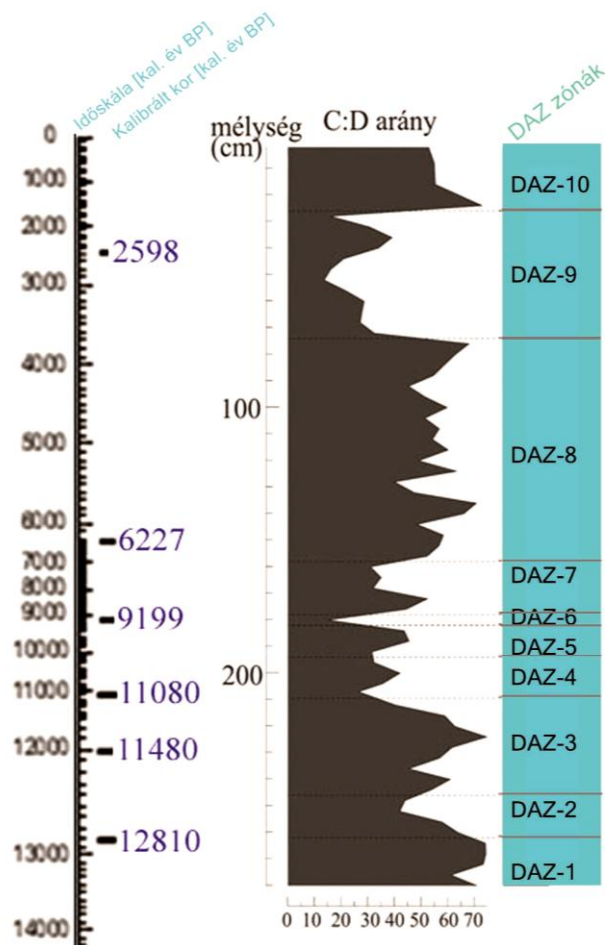
**13. ábra** A kovaalgák életforma szerinti csoportjai a Gales-3 szelvényben. A világoszöld takarásban lévő késő-glaciális időszak életformái statisztikailag nem megbízható eredmények (300 váz szám alatti minták)

Jól látható, hogy minden zónázás eredménye határozott elválást mutat 260, 246, 208, 184, 174, 158 és 74 cm-nél. Ugyanakkor a szelvény üledékrétegtani határai csak a 74 és 158 cm-hez közeli mintáknál egyeznek meg a zónákkal (75 cm 160 cm és 206 cm Magyari *et al.* 2009b munkájában közölt adatok alapján).

Gales-3  
 Soróczyki-Pintér Éva 2010-2012



**14. ábra** A Gales-3 szelvény néhány jellemző kovaalgájának és nemzetségeinek mélység szerinti zonációja a késő-glaciális időszak végén és a Holocénben a statisztikailag értékelhető minták felhasználásával



**15. ábra** A Gales-3 szelvény Chrysophyta sztomatociszta-kovaalga frusztulum arány [C:D] változása az 56 diatóma taxonon alapuló 10 fő diatóma-zóna függvényében

### 5.2.2 A klaszteranalízis validálása

A Gales-3 szelvény 178 kovaalga taxonon alapuló, hierarchikus klaszteranalízis (CONISS) által képzett zónák (12. ábra, D oszlop) visszaellenőrzését végeztem el. A sztratigráfiai dendrogramon megjelenő tíz kovaalga zóna „jóságának” vizsgálatához valamennyi kovaalga taxon változót bevontam a vizsgálatba, a ciszták nélkül (valódi zónák vizsgálata). A teljes fajkészleten alapuló validálás eredményeként a valódi G-zónákat határoztuk meg (16. ábra), amely egyúttal magába foglalja a nemzetségszintű összevonásokat tartalmazó sztratigráfiai diagram (14. ábra) statisztikailag megbízható zónáinak számát is, a nagyfokú átfedés okán.

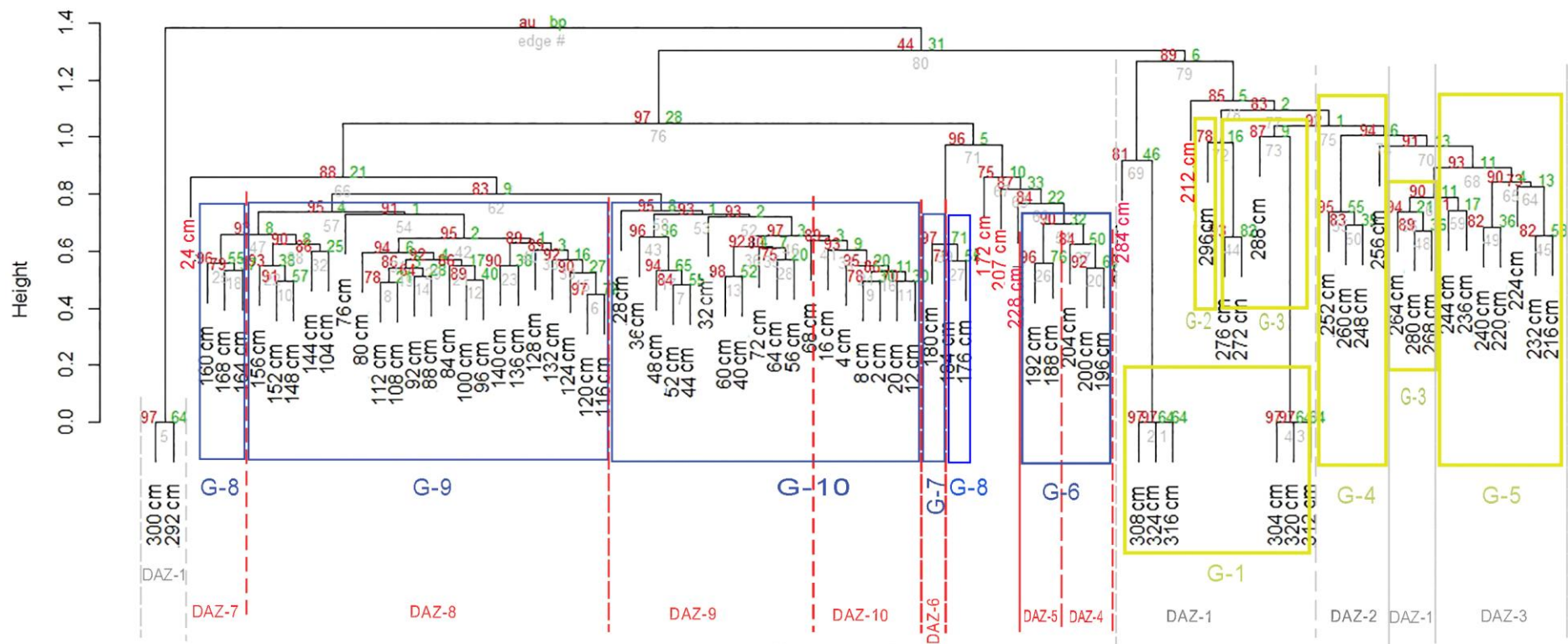
Ha összehasonlítjuk a CONISS által képzett klasztereket (G-1-10, 12. ábra) és az újramintavételezés módszerével nyert, valószínűségi értékekkel rendelkező klasztereket (16. ábra, figyelembe véve azt, hogy a valószínűségi értéket  $p_{AU} \geq 0,95$  értékben határoztuk meg, akkor hasonlóság figyelhető meg a két dendrogram között. A CONISS által képzett csoportokban részleges kitakarásra kerültek a statisztikailag nem megbízható eredményt adó minták (11. ábra), nevezetesen a G-1-5 csoportok, amelyek a DAZ-1-3 kovaalga zónákkal (324-207 cm-es szelvénytartomány) azonosak.

Eredményeinkben az látható (16. ábra), hogy ugyanezek a klaszterek (G-1-5) ugyan szoros kapcsolatot mutatnak a G-6-10 csoportokkal ( $p_{AU}=0.89$ ) de a szignifikancia szint meghaladja az 5%-os értéket, így a nullhipotézis, miszerint a „klaszter nem létezik”, elfogadható. A Gales-3 szelvényben a teljes fajkészleten alapuló zónázás szerint 5 (G-6-10), míg az 55 kovaalga taxonon alapuló zónázás szerint 7 kovaalga zóna (DAZ-4-10) elkülönülését tudjuk statisztikailag alátámasztani.

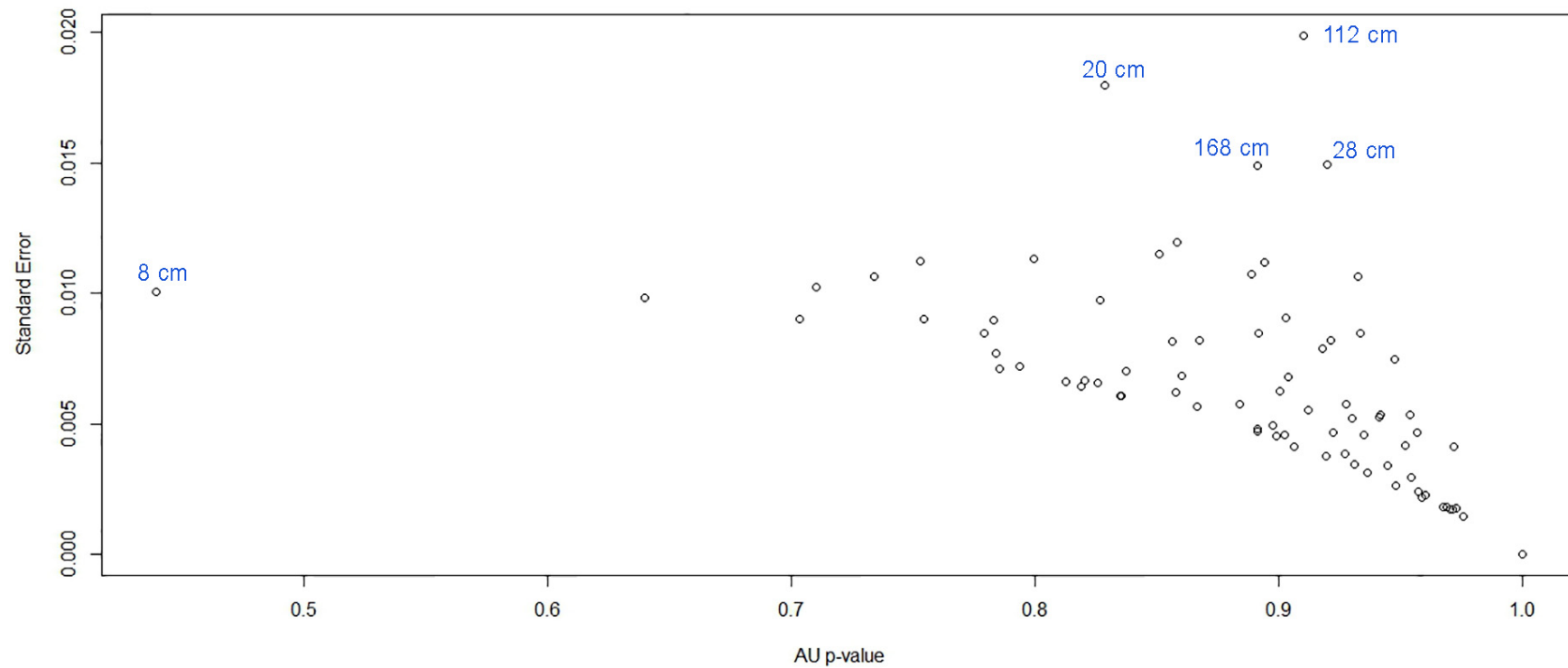
A vizsgálati módszer érzékeny az ún. „outlier”, kiugró mintákra, ilyen a G-1 klaszter (DAZ-1 zóna) két mintája (300, 292 cm), amelyek egymással szignifikáns de a teljes közösséggel nagyon gyenge kapcsolatot ( $p_{AU}=0.44$ ) mutatnak. A G-6-10 csoportok  $p_{AU}=0.97$  valószínűségi érték mellett kapcsolódnak egymáshoz. A Holocén időszakot lefedő csoportokon belül a G-6 és G-7, azaz DAZ-6,-7 zónák mutatják a legnagyobb hasonlóságot ( $p_{AU}=0.96$ ), ezt a G-8 (DAZ-8), G-9 (DAZ-9) és a G-10 (DAZ-10) csoport követi, egyforma hasonlósági szint mellett ( $p_{AU}=0.95$ ). Ebben a csoportban outlier adatnak felelnek meg a pirossal jelölt 172, 207, 228 cm-es minták, melyek sorrendben egyre erősebb hasonlóságot mutatnak a G-6-os csoporttal, a kovaalga zónákat vizsgálva a DAZ-4,5 zónával. Az egyébként a DAZ-7 zónába tartozó 172 cm-es minta DAZ-6-os zónához való kapcsolódása azzal magyarázható, hogy ez az utolsó (~8500 kal. BP év) Holocén minta, amely a fragilaroid taxonok dominanciáját, lokálisan a *Staurosira venter* dominanciáját mutatja, egyben az első *Aulacoseira alpigena* egyedét ebben a mintában azonosítottuk. A G-6 klaszterhez kapcsolódó másik két kiugró adat (207, 228 cm) közül a 228 cm-es minta (~12 040 kal. BP év) a G-5 zóna (DAZ-3) tagja, ugyanakkor a DAZ-5 zónához tartozó pozíciója jól magyarázható a sajátos, sokkal inkább a Holocénra emlékeztető flóra összetétellel. A késő-glaciális időszakban viszonylag kevés a nagy egyedszámú minta, ellenben a 228 cm-es mintában az összes egyedszám (325) és az összes fajszám kiugróan magas volt. A fragilaroidok mellett néhány taxon csak ebben a mintában jelent meg (pl. *Eolimna elorantana*, *Navicula schmassmannii*, *Sellaphora pupula* és a *S. seminulum*). A közép-késő-Holocén zónákban egyeduralmukodóvá váló planktonikus *Aulacoseira* nemzetség apró képviselője, az *Aulacoseira alpigena* is itt jelent meg először.

A 207 cm-es minta a rövid időszakot felölelő DAZ-4-es zóna (G-6) tagja, ugyanakkor nem mutat szignifikánsan szoros kapcsolatot ( $p_{AU}=0.87$ ) a zóna többi tagjával. Figyelembe vehető, hogy ennek a mintának a flóra összetételében nem történt jelentős változás.

A szignifikancia szint növekedésével a p-értékek standard hibájának (standard error,  $se_{AU}$ ) csökkenése figyelhető meg, négy minta esetében tapasztalhatunk 0,015 feletti standard hiba értéket, a maximum hibaérték 0,020 volt (17. ábra).



**16. ábra** A Gales-3 szelvény klaszteranalízisének dendrogramja az újramintavételezés módszerét („method.hclust=„average”, „method.dist=euclidean”, nboot=10000) alkalmazva. A dendrogramon levő piros számadat jelöli a valószínűségi értéket („AU p-value”). Kék négyzet mutatja a szignifikáns klasztereket, míg sárgával a statisztikailag nem megbízható csoportok jelennek meg. A pirossal jelzett mélységi adatok (cm) „outlier” adatoknak tekinthetők



**17. ábra** Az újramintavételezés módszerével („method.hclust=„average”, „method.dist=euclidean”, nboot=10000) kapott p-értékek standard hibaértékei a Gales-3 szelvényben

### 5.2.3 A Gales-3 szelvény diatóma zónái

A Gales-3 szelvényben a teljes kovaalga fajkészlet mélység szerinti 10 zónájából a G-6-10 zóna elkülönülése bizonyítható statisztikailag (16. ábra). A következőkben a Gales tó szervesanyag tartalom változásával (LOI) és a kor-mélység összefüggéssel kapcsolatos eredményeket (3. ábra, Magyar *et al.* 2009b) felhasználva mutatjuk be az öt G-zónát (G-6-10), amelyeket rendre megfeleltetünk a domináns taxonok és nemzetségszintű összevonással képzett csoportokra (56 változó) épülő kovaalga zónákkal (Diatom Assemblages Zones, DAZ). A 14. ábrán látható 10 DAZ zóna közül statisztikailag 7 zóna (DAZ-3-10) elkülönülése támasztható alá statisztikailag (16. ábra).

Az alábbiakban részletesen bemutatjuk a zónák kovaalga közösségét, amely kiegészül a C:D arány időbeli lefutásának vizsgálatával (15. ábra). Ugyan a G- és a DAZ-zónák erősen átfednek, részletesen megvizsgáljuk a teljes faj- és mintakészleten (180 taxon változó, 83 db mintaszám) és a szűkített faj- és mintakészleten (56 taxon változó, 67 mintaszám) alapuló zónák közötti különbségeket is.

#### *Statisztikailag nem megbízható zónák*

**G-1-3 (DAZ-1):** 324-262 cm; ~12 910 kal. BP évig

A G-1,-2,-3 zónákat egy csoportban lehet tárgyalni az alapvetően alacsony fosszilis szilíciumváz miatt: alapvetően meddő, maradványszegény mintákról beszélünk. A három csoport a nemzetségszintű összevonásokkal képzett zónákkal (ritka taxonok elhagyása) összehasonlítva megfelel a DAZ-1 zónának.

A G-1 zónában (324-308 cm), a késő-glaciális időszak alsó mintáiban egy-egy darab törött vázat számoltam. Az első, 324 cm-es mintában egy cisztát és egy kovaváz töredéket találtam. A 316 és a 308 cm-es mintákban egy-egy darab törött vázat számoltam, cisztát nem találtam. A G-2 zónában (300-276 cm-ig) nagyon kevés, jórészt töredezett, rossz megtartású perifitikus és bentonikus életmódú diatómát figyeltem meg. 300 cm-nél egy törött *Pinnularia* taxon került feljegyzésre, míg 296 cm-nél nagyon alacsony koncentrációban, főleg határozásra alkalmatlan „indet” kategóriába sorolt töredék valamint néhány diatóma sternum és az aerofita *Hantzschia amphioxys* könnyen felismerhető jellegzetes formája volt felismerhető. A következő, 292 cm-es minta kovafloorája újra szegényesebb, egyetlen törött *Pinnularia* vázat figyeltem meg. 288 cm-nél viszonylag jó megtartású, azonosításra alkalmas fajok egy-egy példányát találtam: *Encyonema minutum*, *Gomphonema clavatum*, *Pinnularia borealis*. 284 cm-nél törött vázak mellett ismét a *Hantzschia amphioxys* volt felismerhető. 280 cm-nél a lemez gondos átnézése után 27 egyedet találtam, közülük kilenc fajt azonosítottam. Jellemzőbb fajok a *Hantzschia amphioxys*, *Neidium* sp., *Pinnularia gibba*, *Pinnularia mesolepta* var. *gibberula* volt, de itt jelent meg először az *Amphora copulata*, *Aulacoseira valida*, *Encyonema minutum*, *Gomphonema clavatum*, *Nupela lapidosa*, *Pinnularia borealis* is. 276 cm-nél a *Pinnularia* taxonok domináltak, ezenkívül a *Gomphonema pumilum* mutatott magasabb gyakoriságot a *Cymbopleura amphicephala*, *Encyonema minutum*, *Eunotia praerupta*, *Eunotia* sp., *Hantzschia amphioxys*, *Neidium* sp., *Luticola* sp., *Pinnularia mesolepta* és a diatóma sternum mellett. A G-3 zónában (272-264 cm) 272 cm-nél néhány *Gomphonema pumilum* és törött *Pinnularia* vázak fordultak elő, továbbá *Cymbopleura amphicephala*, *Encyonema minutum*, *Eunotia praerupta*, *Hantzschia amphioxys*, *Neidium* sp. taxonok mellett egy újabb aerofita faj, az *Orthoseira roseana* jelent meg, valamint egy rheofil faj, a *Meridion circulare*. 268 cm-nél tovább emelkedett a diatóma vázsám, az egyedek mintegy egyharmadát a rossz megtartás miatt nem lehetett azonosítani („indet”). *Encyonema minutum*, *Hantzschia amphioxys*, *Gomphonema* sp., *Luticola* sp., *Neidium* sp., *Pinnularia microstauron* taxonokat azonosítottuk. Itt jegyeztük fel a *Diatoma mesodon* első megjelenését

az aerofita *Orthoseira roseana* és *Pinnularia borealis* mellett. A zóna legfelső mintájában (264 cm) több mint 100 egyed sikertelenül megszámolni.

Összefoglalva, az aerofita taxonok jellemezték a G-2 zónát: *Hantzschia amphioxys*, *Orthoseira roseana* és *Pinnularia borealis*, illetve gyakoriak voltak a perifitikus taxonok is, főleg a cymbelloid (*Encyonema minutum*, *Cymbopleura amphicephala*) és *Gomphonema* fajok (*G. clavatum*, *G. pumilum*), valamint a *Nupela lapidosa* is. A bentonikus *Pinnularia* közösség egyre nagyobb arányban volt jelen a zóna közepétől.

A ciszták szempontjából is gyér volt ez a zóna, a minták cisztaszáma nem tükrözi a G-1,-2,-3 zóna elkülönülését. A fúrás alján, 280 cm alatt mintánként csak néhány ciszta fordult elő a teljes tárgylemez átvizsgálásakor. A fúrás alján a kevés maradvány miatt nem értelmezhető a C:D arány sem, mintánként alig néhány példány fordult elő, majd a G-2 zónában, 280-256 cm között 50% feletti lett az arány. mert az átlagosan 40 ciszta példány mellett alacsony volt a kovaalga egyedszám. Az első jelentős egyedszám emelkedés (175 db ciszta) a G-3 zóna végén, 264 cm-es mintában volt megfigyelhető. A zónát alapvetően a díszítőelem nélküli ciszták jellemezték, egyetlen kivételtől eltekintve: a C300B (Függelék III., 24. ábra) forma az egyik legsűrűbb felszíni mintázatú morfortípus, amely jelen volt ebben a zónában. A zóna domináns ciszta morfortípusai a következők voltak: C001 (Függelék III., 45. ábra), C116 (Függelék III., 21. ábra), C057 (Függelék III., 49. ábra), C210 (Függelék III., 25. ábra).

**G-4 (DAZ-2):** 262-246 cm; 12 910-12 500 kal. BP év

A mintegy 400 évet felölelő zónára a vázak alacsony száma volt jellemző, valamint kb 20-25 ciszta fordult elő mintánként.

A kovaalga közösség összetétel tekintetében az aerofita taxonok dominanciája határozta meg a zónát: *Hantzschia amphioxys*, *Humidophila* spp., *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis*. A *Humidophila* nemzetségen belül a *H. perpusilla* taxon volt a leggyakoribb. Lotikus taxonok közül a zóna elején a *Meridion circulare*, majd a zóna végén 244 cm-nél a *Hannaea arcus* jelenlétét regisztráltam. A zóna első felében 256 cm-nél jelent csak meg a *Planothidium lanceolatum*. A zóna közepétől újra megjelentek a bentonikus és perifitikus taxonok: legnagyobb arányban az *Amphora copulata*, *Encyonema minutum*, valamint *Pinnularia* fajok. 244 cm-nél az *Achnanthydium minutissimum*, *Epithemia* sp., a zóna végén *Eunotia* taxonok voltak jellemzőek. A zóna közepén felbukkanó *Pseudostaurosira brevistriata* a zóna végéig jelen volt. Továbbá néhány perifitikus *Gomphonema* (*G. clavatum*, *G. pumilum*) és *Luticola* spp. taxon is előfordult ebben a zónában.

A kovavázakhoz hasonlóan a ciszták is alacsony számban voltak jelen a nagy mennyiségű anorganikus szemcse között. 252 és 244 cm között a C:D arány helyi minimumot adott (0,42-0,44). A zóna valamennyi mintájában előfordult a sűrűn tüskézett felszínű C210 (Függelék III., 25. ábra) ciszta morfortípus, amely egyértelműen dominált. A C135 (Függelék III., 27. ábra) és C009 (Függelék III., 40. ábra) morfortípusok valamint a legnagyobb méretű forma, a C286 is jelen volt a zónában. A csak fénymikroszkópban azonosított Sztomatociszta 14 forma (Függelék III., 28. ábra) és a C079 (Függelék III., 29. ábra) csak ebben a zónában fordultak elő. A DAZ-2 zónát képviselő ciszta morfortípusok egy részére (C169, C135, Unidentified S14, C079) jellemző, hogy erőteljes gallért fejlesztettek (Függelék III., 26-29. ábra).

**G-5 (DAZ-3):** 246-208 cm; 12 260-11 090 kal. BP év

A mintegy 1200 évet lefedő zóna mintáiban továbbra is meghatározó volt a nagy mennyiségű szerves anyag, kőzetliszt, a minták nagyobb részében nem sikerült 300 egyed találnunk (kivételt képez ez alól a zónák közepén lévő 232 és 228-as minta).

Jellemzőnek mondható a bentonikus *Surirella linearis* permanens jelenléte, az ugyancsak bentonikus *Amphora* taxonok (pl. *A. copulata* a teljes zónában, míg az *A. pediculus* a zóna

második felében) mellett. Másrészt a perifitikus taxonok közül főleg a cymbelloid formák (*Cymbopleura amphicephala*, *Encyonema gaeumannii*, *E. gracile* és *E. minutum*) valamint a *Gomphonema* taxonok (*Gomphonema clavatum*, *G. parvulum* és *G. pumilum*) is tartósan jelen voltak a zónában. A perifitikus achnanthoid nemzetségek képviselői közt az *Achnanthidium minutissimum* a zóna közepén, 232 cm-nél 11%-os relatív gyakoriságot mutatott. Ugyanakkor az aerofita fajok a teljes zónát végigkísérik, bár már egyre csökkenő gyakorisággal (a zóna elején a *Hantzschia amphioxys*, *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis*). A teljes zónában jelent volt, a szintén aerofita *Humidophila perpusilla*, amely a 240 és 232 cm-nél lokális csúcsot ért el. A fragilaroid taxonok a zóna közepétől, 236 cm-től jelentek meg (pl. *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosirella pinnata*). Leggyakrabban a *Staurosirella* sp. (236-224, 216 cm), legnagyobb relatív gyakorisággal pedig a planktonikus *Fragilaria gracilis* (6,4%) jelent meg, utóbbi csak három DAZ-6 zónába tartozó mintában fordult elő.

Figyelemreméltó változás következett be 228-224 cm között (11 500-11 410 kal. BP év) a kovaalga összetételben: a diatóma fajok száma a felére csökkent (59-ről 27-re) a teljes tárgylemez áttekintésekor. Ezzel egyidőben a diatóma összegyedszám is jelentősen visszaesett (n=314-ről n=65-re). Továbbá néhány taxon a zóna közepétől volt csak jelen: 228 cm-nél jelent meg pl. a *Genkalia digituloides*. A zónában csak a 228 cm-es mintából került feljegyzésre az *Eolimna elorantana*, *Navicula schmassmannii*, vagy az epipszammonikus *Sellaphora pupula* és a *S. seminulum*. Érdemes megjegyezni, hogy a Holocén második felétől szinte egyeduralkodóvá váló planktonikus *Aulacoseira* nemzetség apró képviselői ugyancsak a zóna közepétől jelentek meg (pl. 228-216 cm között az *Aulacoseira alpigena* volt megfigyelhető), igaz még nagyon kicsi relatív gyakorisággal. A lotikus fajok is folyamatosan előfordultak, a *Hannaea arcus* a zóna elején és végén, míg a *Meridion circulare* a zóna középső részén jellemezte a zónát. A zóna közepétől, 232 cm-től megjelenő *Diatoma mesodon* gyakorisága a zóna végére elérte a 17%-ot.

A C:D arány újra növekvő tendenciát mutatva tartósan magas (0,4-0,7) volt egészen 208 cm-ig. A leggyakoribb ciszta morfortípus a C049, C169 (Függelék III., 22-23. ábra), C360 (Függelék III., 32-33. ábra) volt. A később meghatározóvá váló C072 (Függelék III., 41. ábra) morfortípus első megjelenése 216 cm-hez köthető.

#### *Statisztikailag megbízható zónák*

**G-6 (DAZ-4):** 208-194 cm; ~11 090-10 210 kal. BP év

A diatóma fajszaám a zóna végéig folyamatosan emelkedett (n=23-ről 57-re), a flóra egyre diverzebbé vált. Ugyanakkor a cisztaszám csökkenő tendenciája miatt a C:D arány a zóna elején jelentősen visszaesett (27%), majd emelkedve a zóna közepére, 200 cm-nél helyi maximumot (42%) mutatott. A szervesanyag tartalom a teljes zóna hosszon keresztül folyamatosan emelkedett.

A zónában a perifitikus taxonok általában 5%-os relatív gyakoriság alatt voltak jelen: pl. *Achnanthes saccula*, *Karayevia carissima*, *Psammothidium helveticum*, *P. bioretii*, *P. curtissimum*, *P. subatomoides*, habár a 204 cm-es mintában az *Achnanthidium minutissimum* relatív gyakorisága elérte a 13%-ot. Mindeközben a bentonikus, főként fragilaroid fajok egyre gyakoribbá, illetve dominánssá váltak: a teljes zónában jelen volt a *Pseudostaurosira brevistriata* (4-22%), *Staurosirella* sp. (rel. gyak. 5-14%) és a *Staurosirella pinnata* (4-15%), míg a *Staurosira venter* s.l. a zóna második felében volt jellemző, 200 cm-nél dominánssá válva. 204-196 cm között a *Navicula schmassmannii* mutatott lokális maximumot valamint 204 cm-nél a *Genkalia digitulus* gyakorisága is meghaladta az 5%-ot. Ugyancsak 204 cm-től az epipszammonikus *Sellaphora* fajok gyakorisága folyamatos emelkedést mutatott, 196 cm-nél elérte a 7%-ot. A zóna közepén megjelent egy másik rheofil taxon, a *Hannaea arcus*.

Ugyan csökkenő egyedszámmal, de a leggyakoribb ciszta morfortípusok a C210 (Függ. III., 25. ábra), C120, C202, C239 (Függ. III., 34-36. ábra), C072 (Függ. III., 41., 43. ábra), C148 (Függ. III., 47. ábra) és a C042 voltak. 196 cm-nél jelent meg először a szelvényben a C310 ciszta morfortípus, amelynél ismert az öt képző faj: C"17" másnéven *Chrysococcus furcatus* (Dolgoff) K.H. Nicholls, amelyet ebben a zónában azonosítottunk (C"17" eredetileg sztomatocisztának írták le, majd kiderült, hogy a *C. furcatus* kovásodott vegetatív sejtjéről van szó).

**G-6 (DAZ-5):** 194-184 cm; ~10 210-9560 kal. BP év

A többihez képest rövid időszakot felölelő zónában a meghatározó, a teljes magszelvényt tekintve helyi maximumot mutató bentonikus fajok a következők voltak: 192 cm-nél az *Achnanthes ventralis* (6%), 188 cm-nél a *Karayevia carissima* (7%), illetve más *Achnantheidium* taxonok is folyamatosan jelen voltak (pl. *Achnanthes saccula*, *Achnantheidium minutissimum*, *Psammothidium bioretii*, *P. curtissimum*). Domináns faj volt az *Adlaphia minuscula* (188 cm-nél 8%). 188 cm-nél, a *Staurosira venter* lokális maximumot mutatott (14%). Az epipszammonikus *Sellaphora* taxonok (pl. *Sellaphora pupula* var. *pupula*, *S. pupula* var. *rectangularis*, *S. seminulum*) az előző zóna folytatásaként az egész szelvényben jelen voltak. Párhuzamosan a fragilaroid fajok gyakorisága jelentősen csökkent, a *Pseudostaurosira brevistriata* 22%-ról (192 cm) 4%-ra csökkent (184 cm), *Staurosirella* sp. 6%-ról (192 cm) 1%-ra (184 cm) esett vissza. Ugyanakkor a planktonikus *Fragilaria gracilis* a zóna legvégén hirtelen a diatóma flóra domináns fajává vált (184 cm-nél 28%). A zóna teljes hosszában 1%-os relatív gyakoriság felett fordult elő a *Diatoma mesodon* (188 cm-nél elérte a 6%-ot), *Planothidium lanceolatum* (2-3,2%) míg 1% gyakoriság alatt, de tartósan jelen volt pl. az *Eunotia incisa* és a *Humidophila perpusilla*. A tychoplanktonikus *Tabellaria flocculosa* ebben a zónában jelent meg először. Összességében a diatóma fajszám magas volt.

A C:D arány a zóna közepéig, 188 cm-ig emelkedett, helyi maximumot (46%) elérve, majd újra csökkeni kezdett. A korábban is jellemző díszített felszínű morfortípusok (C210 és a C072) fordultak elő a leggyakrabban a mintákban, de a C009 (Függ. III., 40. ábra), C050 (Függ. III., 42. ábra) és a C052 forma is jellemző volt. Továbbá a C121 és C169 (Függ. III., 38-39. ábra) morfortípus is megjelent a zónában.

**G-7 (DAZ-6):** 184-178 cm; ~9560-9150 kal. BP év

Ez a többi zónához képest nagyon rövid, négyszáz évet tartalmazó zóna egyedi fajösszetétele miatt markánsan elkülönül a többitől. 180 cm-nél a *Fragilaria gracilis* a diatóma flóra domináns (72%) tagja volt.

A további, teljes zónában jelenlevő, de csökkenő gyakoriságú fajok a következők voltak: *Genkalia digituloides*, *Planothidium lanceolatum*, *Sellaphora seminulum*, *Stauroforma exiguiiformis*, *Staurosira venter*, *Tabellaria flocculosa*. Csökkenő relatív gyakoriság mellett a fragilaroidok közül a *Fragilariforma virescens*, *Staurosirella* sp. és a *Staurosirella pinnata* voltak jellemzőek. Hasonló tendenciát mutatott a *Diatoma mesodon*, *Encyonema gaeumannii*, *Eunotia incisa* és számos perifitikus achnanthoid taxon (pl. *Achnantheidium minutissimum*, *Karayevia carissima*, *Psammothidium subatomoides*) is. A diatóma fajszám a zóna közepén 180 cm-nél kissé visszaesett (n=45-ről 36-ra).

A DAZ-5 zónában említett tendencia folytatásaként a szervesanyag tartalom növekedett és 176 cm körül a teljes fűrasmagot tekintve a második legnagyobb értéket mutatta.

180 cm-nél a C:D arány a teljes szelvényt tekintve a második legkisebb értéket (15%) adta ebben a zónában. Az összes cisztaszám a zóna közepére, 180 cm-nél jelentősen visszaesett. A Chrysophyta ciszta közösség összetételében is megmutatkozott a hirtelen átrendeződés: az ovális, felszínén sűrű tüskékkel borított C072 (Függ. III., 41., 43. ábra) morfortípus

dominánsá vált (50% feletti rel. gyak.) a zónában. Továbbá a korábban jellemző díszített formák közül a C210 és a nagyméretű C166 (Függ. III., 44. ábra) és más, díszítőelem nélküli forma, pl. C050 (Függ. III., 42. ábra) volt gyakori a zónában; a C121 és a C112P pedig alkalomszerűen jelent meg.

**G-8 (DAZ-7):** 178-158 cm; ~9150-7100 kal. BP év

Diverz diatóma flóra jellemezte ezt a zónát, a fajszám 48-56 között változott. A szervesanyag tartalom a zóna végén, 158 cm körül érte el a teljes szelvény hossza nézve a maximumát. A 2000 évet átfogó zóna első felében a fragilaroid taxonok közül a *Staurosira venter* relatív gyakorisága 172 cm-nél abszolút maximumot adott (28%), a diatóma közösség jelentős részét képviselve, majd ezt követően csökkent a gyakorisága. Továbbá a *Fragilariforma virescens* a teljes zónát tekintve jelen volt, de alacsony gyakoriság mellett (1,9-2%). A többi fragilaroid faj szórványosan volt jelen. Párhuzamosan a planktonikus *Aulacoseira* nemzetség képviselői (pl. *Aulacoseira alpigena*, *A. ambigua*, *A. pfaffiana*, *A. valida*) jelentek meg a zóna közepén (168 cm-nél) és egyedszámuk fokozatos emelkedést mutatott. Bár a perifitikus és bentonikus flóra kis számban volt jelen, az achnanthoid taxonok (*Achnanthydium minutissimum*, *Psammothidium bioretii*, *P. helveticum*, *P. subatomoides*) a közösség állandó elemei voltak. Az *Aulacoseira* taxonok megjelenésével párhuzamosan 164 cm-nél a következő perifitikus taxonok csökkenő gyakoriságot mutattak: *Adlafia minuscula*, *Diatoma mesodon*, *Encyonema gaeumannii*, *Karayevia carissima*, *Navicula schmassmannii*, *Psammothidium curtissimum* és a *Staurosira venter*.

Az összes cisztaszám a zóna közepére visszaesett, majd a zóna végéig alacsony maradt. A C:D arány 172 cm-ig mutatott növekedése (0,53) után ismételt visszaesést tapasztaltunk, amely 160 cm-ig (0,31) tartott. A diatómákhoz hasonlóan a ciszta flóra összetétele is megváltozott. Az előző zónában a korábban kiugró gyakoriságot mutató C072 morfortípus száma visszaesett. Ellenben a C310 típus lassú növekedést mutatott. A hosszú tüskével rendelkező ciszták is nagyobb arányban fordultak elő. A zónát a következő morfortípusok jellemezték: C355, C505, C166, C210, C345, C057, C001, C198, C148, C337 (Függ. III., 44-49. ábra).

**G-9 (DAZ-8):** 158-74 cm; ~7100-3670 kal. BP év

A 3500 évet felölelő zónát diverz diatóma közösség jellemezte. A zóna diatóma fajszáma 39-55 között változott, előbbi 92 cm-nél (n=39), míg a legdiverzebb minta a 144 cm volt.

Az *Aulacoseira* nemzetség képviselői (pl. *Aulacoseira alpigena*, *A. pfaffiana*, *A. valida*) mellett újra nagyobb arányban vettek részt a kissejtes monorafid taxonok képviselői (pl. *Achnanthydium minutissimum*, *Karayevia oblongella*, *Psammothidium curtissimum*, *P. subatomoides*). Az *Adlafia minuscula* és a *Humidophila perpusilla* szintén jellemző volt a zónára. A *Diatoma mesodon* 20% feletti relatív gyakoriságot ért el a zóna második felében (100 és 96 cm), majd 88 cm-nél maximumot adott (24%). Permanensen jelenlétet mutattak a következő taxonok: a bentonikus *Staurosira venter* gyakorisága 144 cm-nél 9% és 132 cm-nél 10% volt, míg a *Fragilariforma virescens* 112- és 116 cm-nél 6%-kal járult hozzá az együtteshez. Az *Encyonema gaeumannii* gyakorisága 2-5% között változott, a *Planorhynchium lanceolatum* 100 cm-nél mutatott maximumot (4%), míg a *Nitzschia garrensis* 1-2%-os részvételt mutatott. Az acidofil *Eunotia* nemzetségből az *Eunotia incisa* és az *E. minor* jellemezték a zónát. A tycho planktonikus *Tabellaria flocculosa* szintén jellemző flóratag volt.

A C:D arány a zóna teljes hosszát tekintve tartósan 40% feletti volt, 148 cm-ig az arány meghaladta a 0,5 értéket (0,52-0,58), majd 144 cm-nél minimálisan visszaesett (0,49). Ezt követően 136-140 cm között magas, 0,66-0,70 értékek mutatkoztak, a legmagasabb C:D érték (0,71) 136 cm-nél határozta meg. A DAZ-8 zónában, a közép-késő Holocénben mutatott

erős fluktuáció tovább folytatódott, 128 cm-nél mutatott visszaesése (0,40) után 124, 116 és 100 cm-nél újra magas (0,60 feletti) volt az arány és a zóna legvégén, 76-80 cm között maximalizálódott (0,62-0,68). Alapvetően a díszített felszínű morfortípusok domináltak a mintákban: C004, C057, C166, C180, C272, C324 (Függ. III., 49-52. ábra).

**G-10 (DAZ-9):** 74-26 cm; ~3670-1590 kal. BP év

A G-10 zóna kovavázis flóra összetétele egységes képet mutatott. Általánosan elmondható, hogy a planktonikus *Aulacoseira* taxonok váltak meghatározó nemzetséggé. A szűkített adatmátrix zónázásával hasonlítva össze a G-10 zónát, a DAZ-9 és a DAZ-10-es zóna sorolható ebbe a zónaegységbe. A DAZ-10 zóna elválásánál az *Aulacoseira* taxonok további emelkedése és a C:D arány kiugrása volt tapasztalható. A diatóma fajszaám 52 cm-nél volt a legalacsonyabb (n=37).

Az *Aulacoseira alpigena* a zóna elején 8-9%-os relatív gyakorisági értéke a zóna közepére (48 cm) 1%-ra csökkent majd zóna végére (24 cm) újra magas (30%) volt. Az *Aulacoseira pfaffiana* relatív gyakorisága 4-30% között mozgott a zónában (48 cm-nél 30%), míg az *Aulacoseira valida* 4-25% gyakoriságú volt és 36 cm-nél érte el a maximumot (25%). Továbbá az *Aulacoseira nivalis* a 76- és 64 cm-es minták kivételével tartósan jelen volt, 32 cm-nél maximumot (20%) mutatott. Az *Aulacoseira* cf. *nivaloides* csak szórványosan fordult elő ugyanakkor domináns tagja volt a diatóma flórának: relatív gyakorisága 3-% között mozgott. Az *Aulacoseira* taxonok relatív gyakorisága összességében maximumot adott.

A bentonikus *fragilaroid* taxonok háttérbe szorulását vagy eltűnését tapasztaltam a zóna teljes szakaszán. A csökkenő gyakoriság mellett tartósan jelenlevő két taxon a *Fragilariforma virescens* és a *Staurosira venter* volt. Előbbi 52 cm-nél érte el a maximális gyakorisági értéket (6%), utóbbi 32 cm-nél mutatott maximumot (11,4%). A szórványosan előforduló fragilaroidok közül a *Stauroforma exiguiformis* a zóna elején 72 cm-nél kis kiugrást adott (5%), majd 36 cm-től teljesen eltűnt. A *Genkalia digituloides* 64 cm-nél mutatott maximumot (6%). A *Diatoma mesodon* a DAZ-9-es zóna elején, 72 cm-nél jelentősen visszaesett (2%), a zóna közepén 52 cm-nél eltűnt, majd a zóna második felében újra emelkedett (28 cm-nél 41%). Ugyanakkor 52 cm-nél az *Encyonema gaemannii* a teljes szelvényre nézve maximumot (20%) adott. A *Pinnularia* nemzetség képviselői között a *Pinnularia mesolepta* és a *P. silvatica* tartós jelenlétét figyeltem meg. Az achnanthoid taxonok közül tartósan jelen volt a *Karayevia carissima*, *Psammothidium curtissimum*, *P. subatomoides*, valamennyi taxon a zóna elejétől, 72 cm-től növekedő gyakoriságot mutatott, 48 cm-nél pedig egyöntetű visszaesést tapasztaltam a gyakorisági értékek tekintetében. Ugyanezt a tendenciát figyeltem meg az *Adlafia minuscula* esetében is.

A kovaalga cluster analízisben tapasztaltakkal ellentétben a C:D arány tekintetében a késő-Holocén, azaz a G-10 zónát erőteljes kontraszt jellemzi: a zóna első felében (DAZ-9) a C:D érték kisebb kiugrásokkal, de visszaszorult és 52 cm-nél a teljes szelvényt tekintve a legkisebb értéket mutatta (0,14). Ezt követően emelkedni kezdett: 36 cm-nél 0,39 volt, a zóna végén, 28 cm-nél 0,16-ra esett vissza. Ciszták tekintetében a DAZ-9 zónában (Függ. III., 53-56. ábra) jellegzetes, erősen díszített felszínű ciszta morfortípusok szerepeltek, mint a C133, C220, C336, C300; valamint jellegzetes forma volt a nagyméretű C166. A C310 morfortípus relatív gyakorisága jól megfigyelhető növekedést mutatott, ugyanakkor a C072 ovális, díszített felszínű forma előfordulása csökkenést mutatott. A tudományra nézve új morfortípusok előfordulása - C500, C501, C502 (Függelék III., 8-13. ábra) - ebben a zónában mutatott maximumot.

**G-10 (DAZ-10):** 26 cm-; ~1590 kal. BP évtől a jelenig

A G-10 zóna második felében (DAZ-10) továbbra is az *Aulacoseira* nemzetség dominanciája volt jellemző, emelkedő tendenciát mutatva. Az *Aulacoseira nivaloides*, *A. ambigua*, és az *A. pfaffiana* relatív gyakorisága 3-4-szeresére növekedett a G-10 első feléhez képest, míg az *A. valida* esetében csak kismértékű emelkedést tapasztaltam.

Párhuzamosan a fragilaroid taxonok gyakorisága visszaesett. A kisméretű, főleg monorafidok fajok (*Achnanthes saccula*, *Adlafia minuscula*, *Karayevia carissima*, *K. oblongella*, *Psammothidium bioretii*, *P. curtissimum*) alapvetően jellemezték az utolsó zónát. A *Diatoma mesodon* 16 cm-nél lokális maximumot (13,5%) mutatott a zónában.

A zóna második felében a C:D arány nagy ugrást mutatott: 24 cm-nél mutatott maximuma (0,73) mellett a diatóma fajsza szám minimumra esett vissza (n=29), ezzel párhuzamosan pedig a diatóma összes váz szám is nagyon alacsony volt. A zóna hátralévő részében a C:D arány tartósan magas, 0,50 felett maradt, míg a diatóma fajsza szám a korábban tapasztaltakhoz hasonlóvá vált (n=45). A sztomatociszta morfortípusok tekintetében a díszített felszínű formák aránya ebben a zónában volt a legnagyobb; a következő leggyakoribb típusokkal: C310, C035, C169, C345 és C166 (Függ. III., 57-60. ábra). A tudományra nézve új formák közül a C500, C501 fordult elő a zónában.

#### 5.2.4 A kovavázak szervezeteinek ordinációja

Az előzetesen elvégzett elemzés alapján a főkomponens analízisbe 52 mintát (208 cm-től) és 75 kovaalga fajt/fajcsoportot (3.4 SD units) vontunk be. A fajlistát 182 kategóriáról 75-re csökkentettük (az egymáshoz közel álló fajok - pl. *Eunotia* spp., *Psammothidium* spp. - összevonásra kerültek), ezáltal nagyrészt kiküszöbölésre kerültek a határozási nehézségből fakadó bizonytalanságok. Továbbá elvégeztük a kovaalga taxonok életmód szerinti ordinációját (1.1 SD units) és PCA elemzést végeztünk. A főkomponens analízis eredményét a 18. ábra mutatja be.

A biplot ábrán (18. ábra) jól látható az első és a második főtengety határozott elkülönülése, miközben az ún. patkó-effektus is jól felismerhető, hiszen az időben egymást követő minták nem függetlenek egymástól. Ugyanakkor irodalomból ismert, hogy a biológiai mintáknál az időssal végzett főkomponens analízis nem zavarja a PCA ordináció értelmezhetőségét (Podani 1997).

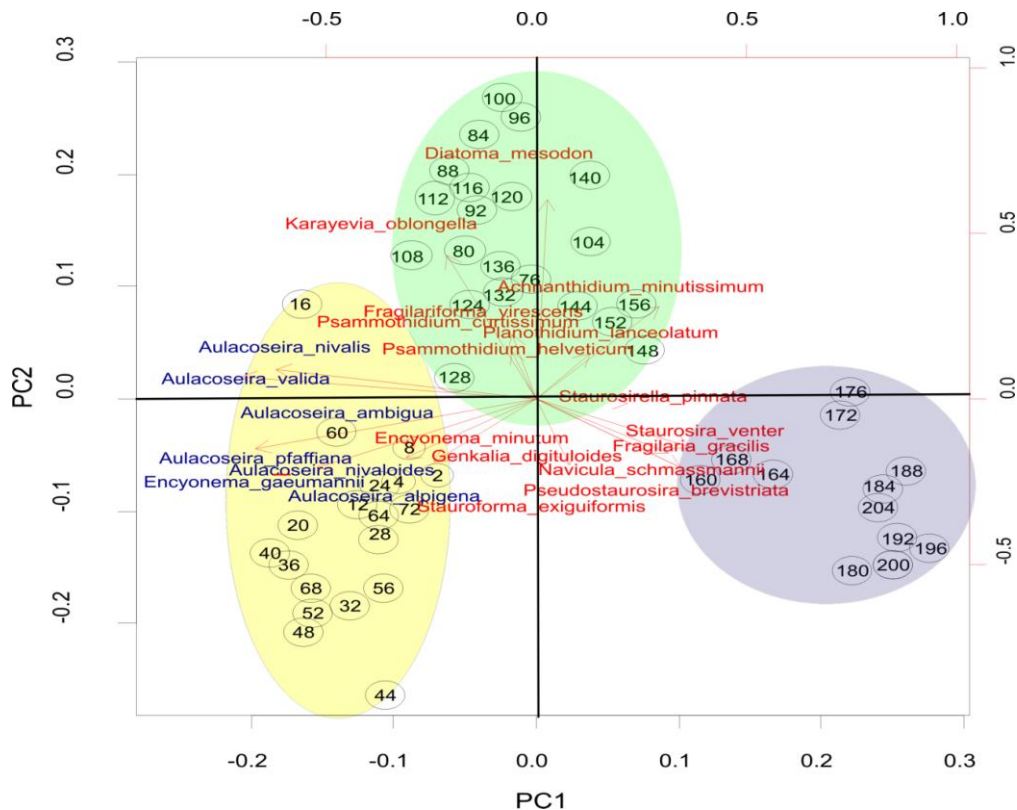
**3. táblázat** Az egyes főkomponensek által leírt változatosság aránya és annak összegződése a Gales-3 fúrás Holocén időszakában (52 minta 75 fajcsoport)

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Szórás (st. dev.)	0,30	0,19	0,17	0,15	0,14	0,11
Variancia (%)	27,75	10,98	8,31	6,93	5,58	3,73
Kumulatív variancia (%)	27,75	38,72	47,04	53,97	59,55	63,28

Az első főtengety a variancia 27,8%-át fedte le, a második 11,0%-át míg a harmadik tengelyre 8,3% jutott. Az első három tengely a teljes variancia közel felét (47%) adta (3. táblázat).

Az első főkomponens mentén elsősorban az *Aulacoseira* taxonok (valamennyi fajukkal), és az *Encyonema* fajok (*E. gaeumannii* és *E. minutum*), valamint a fragilaroid taxonok (*F. gracilis*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira venter*) és a hegyi tavak jellegzetes apró diatómája, a *Navicula schmassmannii* váltak el. A két elváló csoport a „felső” és „alsó” minták mentén különült el, a felső mintákhoz a DAZ-9 és DAZ-10 zónához tartozó minták tartoztak. Az alsó csoport a DAZ-7-DAZ-4 mintáit tartalmazták.

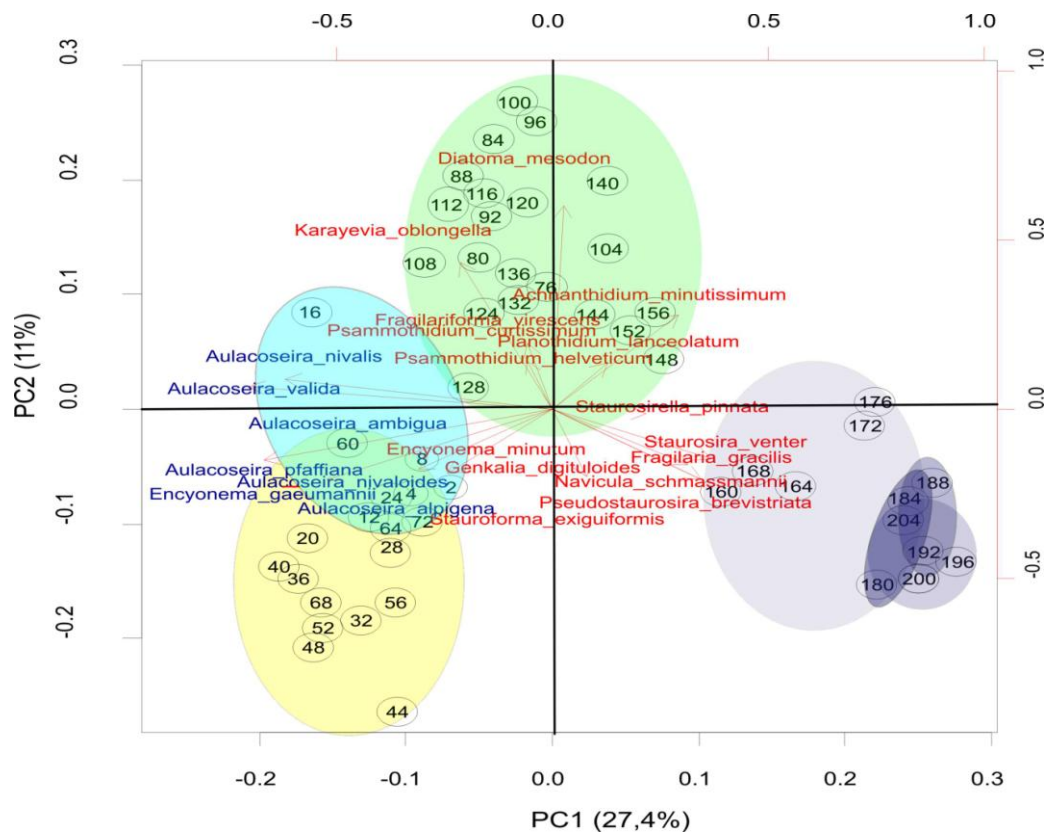
A második főtengety mentén elsősorban az apró achnanthoid fajok (*Achnanthidium minutissimum*, *Karayevia oblongella*, *Planothidium lanceolatum*, *Psammothidium helveticum*, *P. curtissimum*), valamint a *Diatoma mesodon* és *Fragilariforma virescens* dominálta minták váltak el az „*Aulacoseira*-s” és fragilaroid fajok által jellemzett csoporttól.



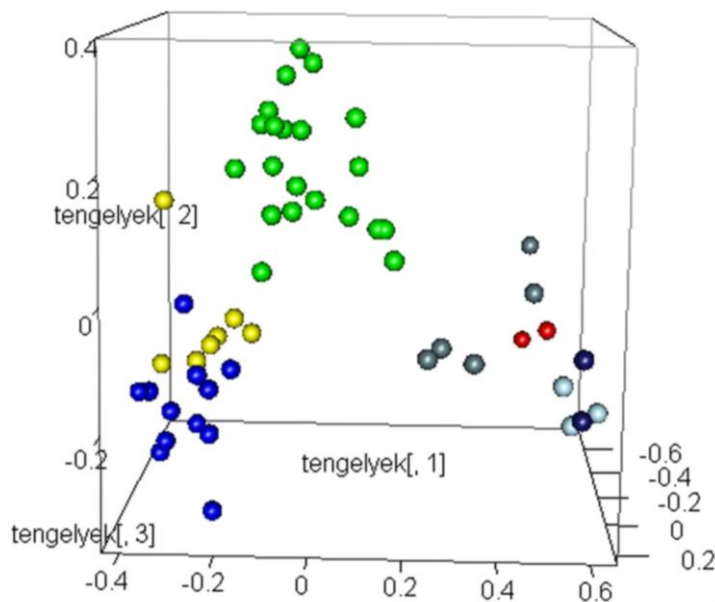
**18. ábra** A Gales-3 szelvény Holocén szakaszának (208 cm-től) PCA biplot ábrája az első (27,4%) és második (11%) főtengety mentén. A négy centiméterenként vett mintákat fekete körök jelölik, közepén a mélység megnevezésével. A klaszteranalízissel meghatározott zónákat különböző színek jelölik (DAZ-10-9=sárga, DAZ-8=zöld, DAZ-7-4=lila). A diatómákat piros szín jelöli, kivéve a kézzel jelölt *Aulacoseira* nemzetséget és az *Encyonema gaeumannii* taxont (52 minta és 75 faj/fajcsoport alapján)

Ha a szűkített adatokat tartalmazó kovaalga zónák egymáshoz viszonyított elhelyezkedését vizsgáljuk, azt látjuk, hogy a korábban bemutatott három, jól elkülönülő csoport mellett megjelent további négy, egymással átfedő csoport. A világoskék DAZ-10 a korábban megnevezett DAZ-10-9 csoportot érinti, de határozottan elkülönült, míg a korábban egy csoportként megjelölt DAZ-7-4 kategórián belül három, a *Fragilaria gracilis* dominanciával jellemzett, egymással szorosan átfedő alcsoportok (lila) kerültek a DAZ-7-4 kategória perifériájára (19. ábra).

Adatainkból jól látható, hogy a második és harmadik tengely a variancia további jelentős részét magyarázták (11 ill. 8,3 %), ugyanakkor a két tengely közötti különbség kicsi volt. A harmadik főtengety mentén főleg a *Fragilaria gracilis* dominálta minták váltak el. A háromdimenziós ábrán (20. ábra) is nyomon követhető az első három főtengety által meghatározott minták pozíciója.



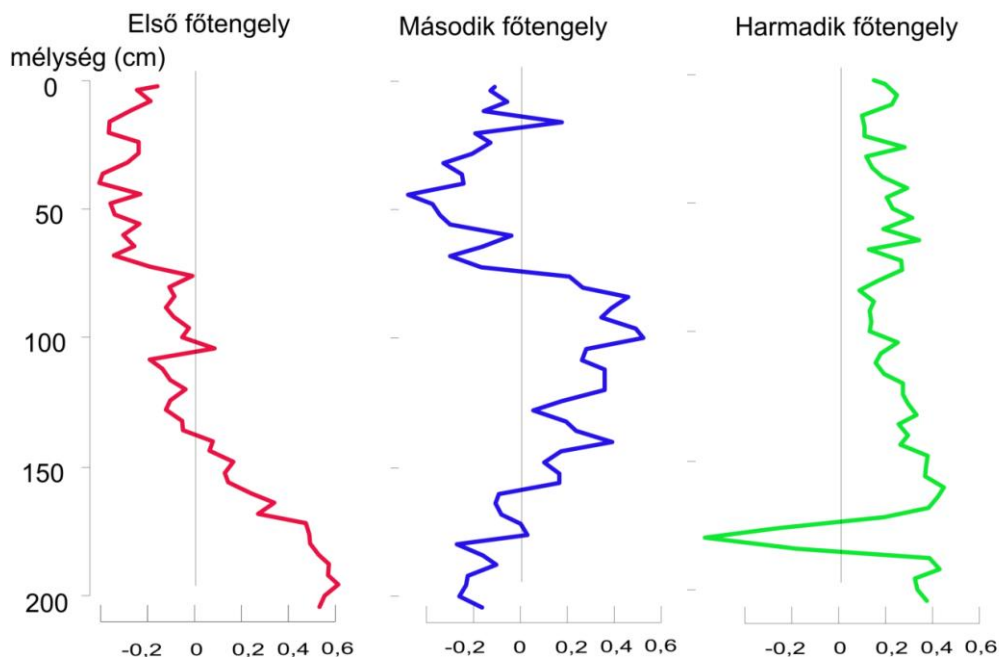
**19. ábra** A Gales-3 szelvény Holocén szakaszának (208 cm-től) PCA biplot ábrája az első (27,4%) és a második (11%) főtengety mentén, a 7 diatóma zóna (DAZ-10-4) feltüntetésével. A négy centiméterenként vett mintákat fekete körök jelölik, közepén a mélység megnevezésével. Zónák jelentése: sárga=DAZ-10-9; világoskék=DAZ-10; zöld=DAZ-8; lila=DAZ-7 (160-176 cm), alkategória DAZ-6 (180 cm), DAZ-5 (184, 192 cm), DAZ-4 (196, 200 cm)



**20. ábra** A főkomponens analízis első három főtengetye által meghatározott minták térbeli ábrázolása, a háromdimenziós kocka lapjai felől tekintve. Az ábrákon piros kör jelöli a *Fragilaria gracilis* dominált DAZ-6-os zóna mintáit, amely a 3. főtengety mentén válik el. További zónák: sárga=DAZ-10, sötétkék=DAZ-9, zöld=DAZ-8 lila kör=DAZ-7, világoskék kör=DAZ-5-4

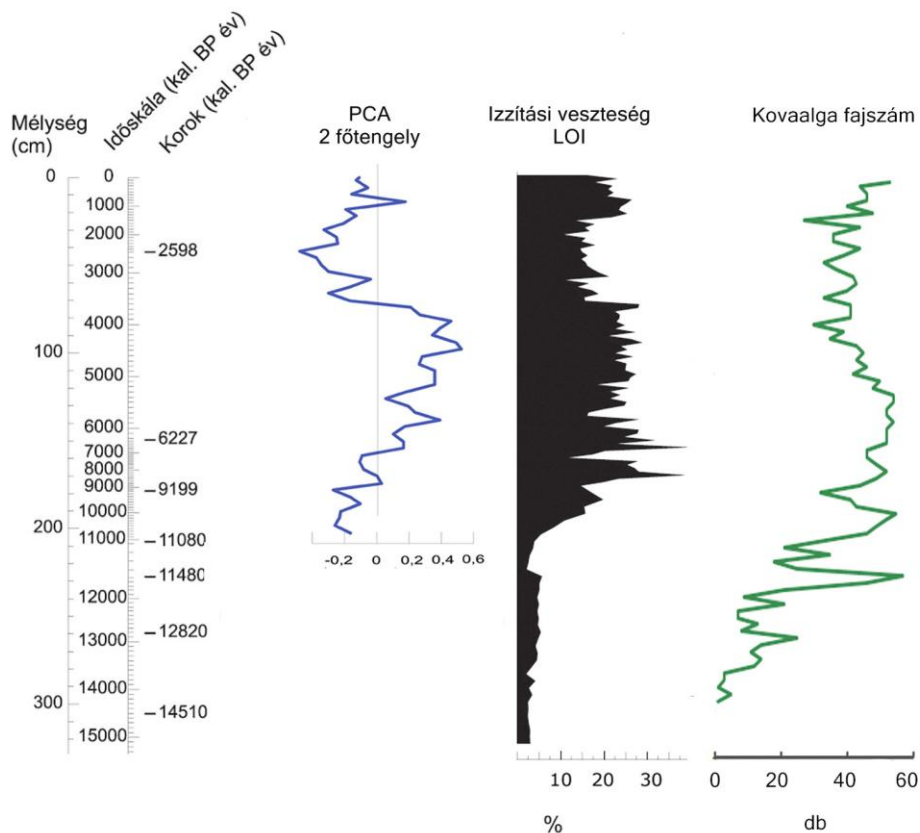
Az első három főtengety variancia értékeinek mélység szerinti lefutása (21. ábra) egymástól eltérő trendet mutatott. Az 1. főtengety variancia értékeinek a lefutásából az látható, hogy határozott elválást mutattak a közép-, késő-Holocén minták (felső szakasz), - amelyeket egyre erősödő dominanciájú *Aulacoseira* taxonok jellemeztek (negatív komponenssúlyok) - a főként bentonikus, monorafid achnanthoid és fragilaroid taxonok képviselőivel jellemzett, alacsony vízszintre utaló zónáktól (pozitív komponens súlyok). A biplot ábrákat (18., 19. ábra) vizsgálva is látható, hogy a magasabb vízszintet jelző planktonikus taxonok (DAZ-9,-10) határozottan elkülönültek a bentonikus, perifitikus életmódú taxonokkal jellemzett zónáktól. Az 1. főkomponens súly (21. ábra) előjelváltást mutatott 100 és 76 cm-nél (DAZ-8 zóna), vagyis amikor a monorafid taxonok mellett a bentonikus életmódú diatómák, valamint a magas relatív gyakoriságot mutató *Diatoma mesodon* is jelentős részt alkottak a diverz közösségben. Ha a 1. főkomponens lefutása a teljes Gales-szelvényt lefedné, feltételezhetően még erősebb szélsőértéket tapasztalnánk az alsó, késő-glaciális időszakban az aerofita taxonok dominanciája miatt. Az első főtengety lefutása határozott váltást mutatott a közép-Holocénben.

A 2. főtengety lefutása és a LOI lefutása között párhuzamot figyeltünk meg (22. ábra), illetve a mélység szerinti kovaalga fajsám ugyan kisebb amplitúdóval, de hasonló trendvonalat mutatott. A 2. főtengety mentén (18. ábra) határozottan elváló DAZ-6-4 zóna a 2. főkomponens alsó, negatív varianciaértékeit tükrözte. Míg a DAZ-4,-5 zónában fokozódó diverzitást, szervesanyag tartalom növekedést jelzett a komponenssúly növekedése, addig a DAZ-6 zónában (180 cm) egyöntetű visszaesés volt tapasztalható a főkomponens súllyal együtt a diverzitásban is, majd rövid időn belül a szervesanyag tartalomban is. Az előjelváltásért a DAZ-7 zóna kiugró fajsáma volt a felelős, a LOI ugrásszerű növekedéssel, bentonikus és perifitikus taxonok dominanciájával járt együtt (22. ábra). Ezt követően a 2. főkomponens pozitív irányú növekedése párhuzamosan futott a szervesanyag tartalom növekedésével és a magas fajsámmal. A főkomponensben megjelenő másik jelentős változást a planktonikus életmódot képviselő taxonok határozott visszaszorulásával jellemzett DAZ-9 zónához kötöttük (76 cm), amely a 20. ábrán is jól látható elkülönülést mutatott. Ugyanitt a LOI és nem sokkal később az összes fajsám is visszaesést mutatott.



**21. ábra** A PCA elemzés során kapott első három főkomponens variancia értékei a mélység függvényében

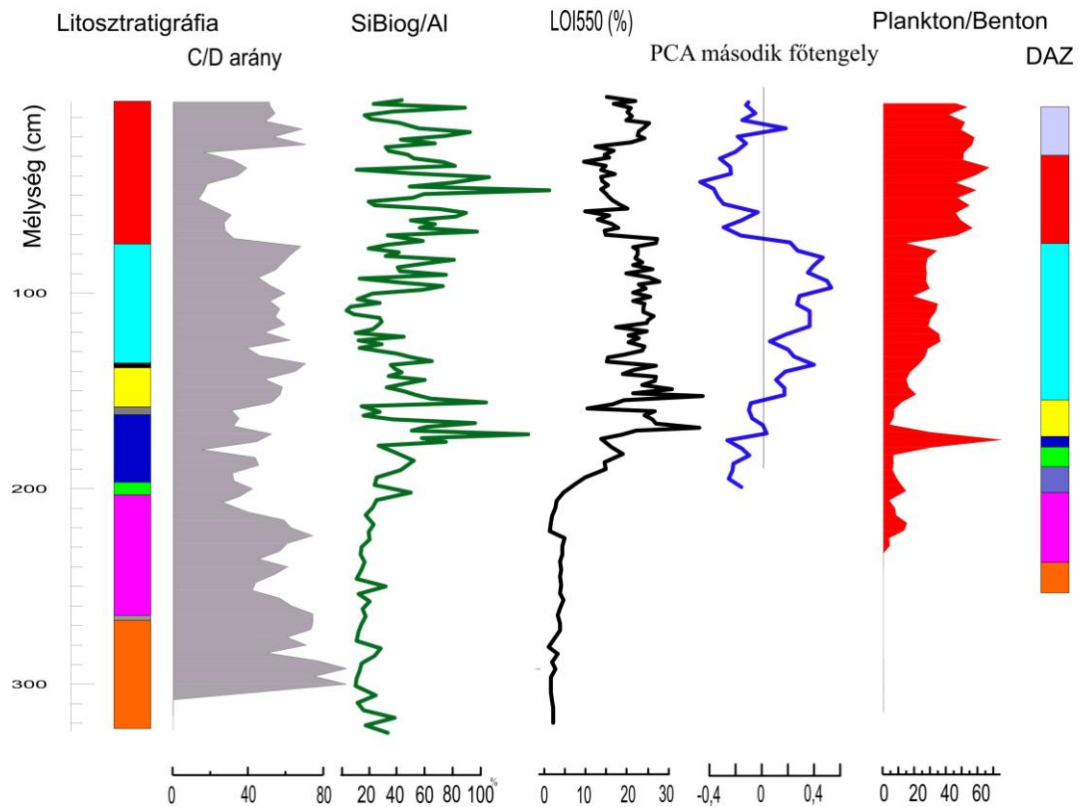
A 3. főkomponens magyarázza a teljes variancia 8,1%-át, a főkomponens súly határozott visszaesése a DAZ-6 zónához kötöttük, ami egybeesett a visszaeső szervesanyag tartalommal és csökkenő diverzitással.



**22. ábra** A Gales-3 szelvény második főkomponens súly, a LOI (Magyari *et al.* 2009b alapján) és a kovaalga fajszám összehasonlító ábrája

### 5.2.5 A biogén szilikát tartalom változása

A biogén szilikát profil nem mutatott olyan nagy változásokat, mint a C:D arány, LOI vagy a diatóma életformák (27. ábra). A tó kialakulásának kezdetén mért magas BioSi a meddő vagy néhány kovavázart tartalmazó mintákhoz kapcsolódott. A késő-glaciális/Holocén átmenettől egészen a közép-Holocénig kissé fluktuáló, de alapvetően 5-10% alatti biogén szilikát tartalmat mértek, majd 70 cm-nél - a teljes Holocén szelvényt tekintve - 10% feletti hirtelen növekedést figyeltünk meg, ami később, 48 cm-nél (12,5%) és 14 cm-nél (13,2%) megismétlődött. Ha a BioSi/Al hányados változékonyságát vizsgáljuk, sokkal dinamikusabbak voltak a csökkenések, növekedések. A kezdeti alacsony késő-glaciális koncentrációt követően az első számottevő növekedés a közép-Holocénben, 174 cm-nél volt megfigyelhető, amikor a LOI is második legmagasabb értékét (38,4%) mutatta. 164 cm-nél egyszerre jelent meg a BioSi/Al (16,8%) és a LOI (11,4%) helyi minimumértéke. A következő Holocén maximumot igen rövid időn belül, 158 cm-nél azonosítottuk mindkét mutatót tekintve. Ha tovább vizsgáljuk a párhuzamot, elmondható, hogy általánosságban csökkenő tendencia következett, miközben a változás intenzitásának erőssége sokkal gyengébb lett. Az egyetlen BioSi/Al kiugrás (150%) 48 cm-nél történt, amikor a LOI nem mutatott lényeges változást (23. ábra).



**23. ábra** Gales-3 szelvény összehasonlító ábra: Üledéksztratigráfia; ciszta-kovaalga arány (C:D); biogén szilikát (SiBio/Al); szerves anyagtartalom (LOI); a főkomponens analízis második főtengetye; planktonikus kovaalgák aránya; valamint a domináns fajok és nemzetségszintű összevonások után készült diatóma zónák a mélység függvényében

## 6 Értékelés

### 6.1 A Gales tó szilícium-dioxid vázas algaközösségei

#### 6.1.1 A Gales tó kovaalga flórája

Összességében elmondható, hogy a határozás során sok nehézséget jelentett az, hogy a Retyezát-hegység gleccsertavában élő, oligotróf, főként boreális algák sokkal kevésbé ismertek, mint amelyek a hazai monitoring programokban szerepelnek. Az oligotróf és eutróf vizekben élő diatómák nagyon eltérőek, együtt alig fordulnak elő, vagyis nincs közöttük átfedés. A határozásban az egyik legnagyobb gondot a sok, apró termetű, gyengén kovásodott, főleg monorafid faj elkülönítése jelentette.

A retyezáti diatóma flórán belül a Holocénben megjelenő *Aulacoseira* fajok paleolimnológiai jelentőségét és morfológiáját Buczkó *et al.* (2010) munkája ismerteti. A Gales tóban a megjelenő planktonikus *Aulacoseira* taxonok között nem került említésre az *Aulacoseira nivaloides*, amely morfológiailag hasonló az *A. nivalis*-hoz, de a váz felszíne nem sík, hanem domború. A fénymikroszkópos vizsgálataink nem voltak elegendőek a faj jelenlétének bizonyítására, de valószínűsíthető, hogy a Gales tóban ez a faj is megtalálható. További kutatások szükségesek ahhoz, hogy bebizonyosodjon a faj jelenléte. Ebben az esetben a faj új adat lenne Románia algaflórájára.

Cărăuș (2012) munkásságának köszönhetően Románia flórájáról szinte naprakész adatokkal rendelkezünk. Az ő munkáját alapul véve, kiegészítve a munkacsoportunk által publikált cikkekben talált adatokkal (Buczkó *et al.* 2009b, 2010, 2013b, Wojtal *et al.* 2014), Románia flórájára nézve két új diatóma fajt mutattunk ki a Gales tó közép-Holocén mélységéből. A *Pinnularia julma*-t a híres oligotróf tóból a Julma Ölkky-ből írta le Krammer és Lange-Bertalot 1996-ban, abban a monográfiában, amelyben felhívták a figyelmet az oligotróf vizekben „rejtőző” számos új formára. Jelenléte a Kárpátokban nem meglepő (Lange-Bertalot & Metzeltin 1996). A másik új fajt szintén a közép-Holocén időszakból, két mintából azonosítottunk a *Navicula detenta*-t, amelyet Hustedt írt le 1943-ban, északi-alpin fajként jellemzve. A faj ugyanakkor a laminált üledéket őrző tavakban is megjelent Eifelmaaren térségében. Oligotróf, alacsonyabb hőmérsékletet kedvelő fajként ismert (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

A ritkaságok közül említést érdemel még a *Geissleria acceptata* és a *Navicula difficillima* megjelenése is. Ezeknek egy-egy előfordulását ugyan Cărăuș (2012) monográfiája említi, tehát a Gales tóban megtalált példányok az országra nézve a második adatnak tekinthető.

A *Neidium* nemzetségen belül előfordult, hogy adataink és a jelenleg hozzáférhető irodalmak alapján nem volt meghatározható egy taxon (*Neidium* sp.), továbbá továbbgondolásra indít az a tény, hogy a Gales tóban azonosított *N. affine* példányok között egy késő-Holocénben megjelent, kisebb példány morfológiailag, méretileg nagy hasonlóságot mutat, és feltételezhetően azonos lehet az arktikus területekről 2013-ban leírt *N. antarcticum* Hamilton, de Haan, Kopalová, Zidarova & Van de Vijver fajjal. Hogy valóban ez a faj jelenik meg a Dél-Kárpátokban, az csak egy részletes elektronmikroszkópos, és a populációk morfometriai elemzése után kerülhet tisztázásra.

#### 6.1.2 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája

A ciszták csoportosításánál gondot jelentett az irodalmakból is ismert tény, hogy az esetek nagy részében (85-90%) nem tudni, melyik ciszta melyik alga kitartóképlete. Mivel nem önálló szervezetek, ezért nem indokolt, hogy fajként kerüljenek leírásra a Linné féle nevezéktan szabályai szerint, vö. Deflandre (1936) Nygaard (1956) rendszerével (Preisig

1995, Cronberg & Sandgren 1986), így a nemzetközi cisztahatározók (Duff *et al.* 1995, Wilkinson *et al.* 2001, Pla 2001) szerint neveztük el a morfortípusokat.

A mély tavakra jellemző, hogy gazdag Chrysophyta sztomatociszta flórával rendelkeznek. Ennek felismerése után kezdtünk bele a ciszta flóra feltárásának. A kifelbontású ciszta vizsgálat alapján elmondható, hogy a Gales tó Chrysophyta flórája gazdag formavilágú: 83 azonosított és 7 a tudományra nézve új típus került elő a 328 cm üledékszelvényből. Ha ezt az előtanulmánynak tekinthető 83 morfortípus számot összehasonlítjuk az irodalomban leírt adatokkal (pl. Duff *et al.* 1995, Wilkinson *et al.* 2001, Pla 2001), akkor arra a következtetésre jutunk, hogy diverz, változatos morfológiával jellemezhető cisztaközösség határozza meg a közép-kelet európai régiót. Említést érdemel, hogy a meglévő kifelbontású ciszta flóránk a Pireneusokban leírt (Pla 2001) ciszta állománnyal nagy hasonlóságot mutat. Az ott leírt 14 tömeges típus (minták több mint 75%-ban előfordulva; S046, S009, S001, S239, S049, S050, S033, S340, S310, S210, S035, S351, S004, S198) közül az S351 kivételével valamennyi forma gyakori volt a Gales mintákban. Másrészt az endemikusként leírt pireneusi formák (S345 és S310) nemcsak a Gales tóban, hanem Norvégiában is gyakoriak voltak (Pla, nem publikált adat), tehát a fenti eset is a vizsgálatok hiányosságára hívja fel a figyelmet.

Ha megvizsgáljuk a Gales rekord 83 morfortípusból álló ciszta közösség morfológiáját (ciszta- valamint a gallér, pórus alakja, mérete, annak hosszúság-szélesség aránya, ciszta felszínének díszítettsége), elkülönülést tapasztalunk a késő-glaciális és Holocén ciszta-rekord között. Míg a Holocén időszak mintáiban a díszített felszínű morfortípusok voltak jellemzőek a teljes szelvényben megjelenő díszítetlen formák mellett, addig a késő-glaciális mintákban nagyobb és díszítőelem nélküli formákat, a diatómameddő, vagy kevés vázat tartalmazó mintákban pedig gyakran korrodált cisztákat találtunk. Ennek valószínűleg, részben tafonómiai okai vannak, a részleges kiszáradás miatt a vázak roncsolódtak, feloldódtak. Az, hogy a Gales-tavi késő-glaciális ciszta flórát hidegvízkedvelő, díszítetlen morfortípusok jellemzik, nem egyedi jelenség. Számos az arktikus és hegyvidéki élőhelyeket bemutató tanulmányban olvasható, hogy a Chrysophyta ciszta közösséget a hidegkedvelő, díszítetlen felszínű morfortípusok dominanciája jellemzi (pl. Wilkinson *et al.* 1997, Stewart *et al.* 2000, Pla 2001). Példa erre a Spitzbergák tisztavízű, oligotróf tavai is, ahonnan a leírt 153 morfortípus nagyobbik hányada díszítetlen felszínű (Betts-Piper *et al.* 2004) volt.

Összességében a Gales tó kifelbontású sztomatociszta elemzéséből származó flórákép ugyan még nem fedi le a Retyezát hegység teljes ciszta flóráját, de előzetes taxonómiai tanulmányként egy jól használható, közepes morfortípust tartalmazó adatbázis született a Dél-Kárpátok területéről, amely egyrészt alkalmassá válhat autoökológiai kutatásokhoz, másrészt a Dél-Kárpátok további tavaiban megőrződött fossziliákon keresztül az ökoszisztémái rekonstrukciók készítéséhez. Továbbá a dél-kárpáti flóra összehasonlíthatóvá válik Európa magashegységeiből leírt flórájával.

#### 6.1.2.1 A Gales tó tudományra nézve új Chrysophyta cisztái

Az új ciszta morfortípusok a teljes flóra 14%-át adták, valószínűleg véletlen az egybeesés, de érdekes, hogy Betts-Piper *et al.* (2014) Spitzbergákon végzett paleolimnológiai vizsgálatában is a ciszták 14%-át publikálta új formaként.

Az azonosított ciszták többsége és az újak leírható morfortípusok mindegyike hordozott valamilyen mértékű díszítő elemet a sejtfal felszínén, gyakran meglehetősen változatos formában. Lehetséges, hogy a fokozott díszítettség összefüggést mutat a tó tápanyag ellátottságával (pl. Zeeb *et al.* 1990), vagy a téli jégborítás elhúzódásával. A díszített felszínű, domináns C072 morfortípus együtt mutatott gyakorisági maximumot a planktonikus *Fragilaria gracilis* fajjal. Utóbbival kapcsolatban ismert, hogy alpesi és arktikus tavakban a

planktonikus fragilaroid taxonok magas abundanciája gyakran a fokozott jégborítás mutatója (pl. Lotter & Bigler 2000).

Összehasonlításképpen érdemes megjegyezni, hogy Firsova *et al.* (2012) Mongólia legnagyobb édesvízi tavából, a Hovsgol tó üledékéből 36 morfortípusról számolt be, amelyből 20 új formaként lett leírva. A pireneusi Redo' Aigüestortes tóból 120 negyedidőszaki formát (Pla 2001), a Redon tóból pedig 132 morfortípust azonosított Pla (Pla nem publikált adat; Pla & Catalan 2005). Az eddigi legnagyobb morfortípus számot publikáló Baumann *et al.* (2010) több mint 160 morfortípust talált a svájci Silvaplana magashegységi tóban, amely - összehasonlítva más magas alpesi tó ciszta flórájával (pl. Facher & Schmidt 1996, Lotter *et al.* 1997, Kamenik *et al.* 2001, Lotter *et al.* 2002, Kamenik & Schmidt 2005, Schmidt *et al.* 2007) - kifejezetten magas diverzitású tónak számít. Ebben az értelemben, összehasonlítva a Pireneusokban leírt ciszta morfortípus számmal (Pla 2001), a retyezáti Gales tóban talált ciszta gazdagság további kiegészítésre szorul. Nem publikált adataink alapján elmondható, hogy a Dél-Kárpátok magashegységi tavainak Chrysophyta ciszta gazdagsága hasonló lehet Európa más magashegységi flórájához. Facher & Schmidt (1996) 50 közép-európai tóból 126 formát azonosított, míg Pla (1999) 105 pireneusi hegyvidéki tóból 210 morfortípust különített el. Észak-Kelet-Amerikában, az Adirondack Park 71 tavából összesen 181 morfortípust regisztráltak (Duff & Smol 1995), vagy Grönland szomszédságában, az északi sarkkör felett fekvő, kanadai Ellesmere-sziget 35 tavából 137 morfortípust (Wilkinson *et al.* 2007) írtak le. Míg a 246 morfortípust tartalmazó, legdiverzebb cisztaflóra 55 Dél- és Közép-Ontario-beli tóból került leírásra (Wilkinson & Smol 1998).

## 6.2 A Gales tó fejlődéstörténete a szilícium-dioxid vázas algák alapján

### *A sekély víztest kialakulása (15 340-12 910 kal. BP év)*

A tavi élet első jelei a mikrofossziliákban szegényes alsó 68 cm hosszú üledékben találhatóak. A maradványok megtartása rossz, főleg kiszáradást tűrő aerofita fajok jellemzőek (pl. *Hantzschia amphyoaxis*), és csupán néhány ciszta utal a vízi élet kialakulására, ami a meleg és csapadékos Bølling-Allerød interstadiálisra (GI-1, ~14 500 kal. BP év) esik. Ez a meleg időszak tette lehetővé a fásszárúak és cserjék előretörését, amelyre a pollendiagramból következtethetünk (Magyari *et al.* 2009b). A Gales tó teljes profiljának tekintetében ebben a szelvényszakaszban a szilícium-dioxid vázas algaközösség gyér, rossz megtartású, ami az oldódással, az időnkénti kiszáradással magyarázható. Összességében a késő-glaciális időszakot jellemző bentonikus taxonok gyakorisága egészen a Fialtal Driász kezdetéig (~12 900 kal. BP év) emelkedik, egyre diverzebb közösséget alkotva, majd a zóna végére sekély, de állandó tavacskát rekonstruálunk. A zóna végére határozott emelkedést mutató cisztaszám kialakulása nagyobb valószínűséggel tafonómiai eredetű, semmint az oligotrófia következménye.

### *Kiszáradást is toleleráló kovaalga közösség (~12 900-12 500 kal. BP év)*

A Holocént megelőző időszak elejére szegényes, szinte meddő diatóma minták jellemzőek, és a zóna közepére a lotikus taxonok is eltűnnek, miközben az időszakos szárazodásra, vagy kiszáradáshoz közeli állapotra utaló, kiszáradást toleráló aerofita fajok (*Hantzschia amphyoaxis*, *Humidophila* spp., *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis*) határozzák meg az alapvetően alacsony diverzitású mintákat. Ez az időszak a késő-glaciális végét jelentő Fialtal Driásszal esik egybe: az éghajlat hideg és száraz. A pollenprofil a regionális erdőszedés visszaszorulásáról tanúskodik (Magyari *et al.* 2009b).

Hangsúlyozandó, hogy ebben a zónában az alacsony diverzitás mellett több, erős, robusztus vázú taxon is előfordul, mint az *Epithemia* sp., vagy a *Pinnularia gibba*, amely egybeesik a biogén szilikát ~12 800 kal. BP évnél megjelenő helyi maximumával.

Nemcsak a palinológiai, hanem az üledékrétegtani vizsgálat és az alacsony szervesanyag tartalom is alacsony produktivitás meglétét feltételezi (23. ábra, Magyari *et al.* 2009b), amelyet a tó belső, téli és tavaszi produktivásáról informáló C:D arány minimuma, és a lotikus taxonok eltűnése is alátámaszt.

A cisztaképzésben megfigyelt erőteljes gallérfejlesztés egyfajta túlélési stratégiai eszköz lehet az erőteljes vízszint csökkenéssel, produkció visszaszorulásával párhuzamosan.

#### *Sekély víztestet jelző diatóma közösség (12 500-11 090 kal. BP év)*

12 500-11 500 kal. BP év között, a Fiala Driász második felében a bentonikus és perifitikus kovaalgák (*cymbelloid* fajok, *Pinnularia* spp.) ismételt megjelenése vízszintemelkedést feltételez. A zóna végére kialakuló diverz habitat sekély, de stabil víztest meglétére utal. A késő-glaciális/Holocén átmenetet vizsgáló tanulmány (Buczko *et al.* 2013a) szerint a téli jégborítás rövidülésének köszönhető a belső produktivitás kismértékű növekedését előidéző kovaalga közösség fejlődése. ~11 700 kal. BP évtől kezdve, feltételezhetően a Holocén kezdetét jelentő hőmérséklet emelkedés nemcsak az üledék szervesanyag tartalmának növekedésében, hanem a szárazföldi vegetáció előretörésében is tükröződik (Magyari *et al.* 2009b), miközben a Fiala Driász lehülés során konzerválódó oligotróf körülményeket jelző C:D arány kezdeti kiugró értéke (75%, ~11 500 kal. BP év) kis fluktuációt leszámítva fokozatosan csökken. 11 500-11 400 kal. BP év között a diatóma faj- és egyedszám drasztikus csökkenése valamint az új taxonok megjelenése összefüggésben állhat a kora-Holocén melegedési hullámát megszakító lehülési periódussal, amely két rövid lehülésre osztható: az első az ún. preboreális oszcillációkor (~11 500-11 400 kal. BP év) a szoláris aktivitás csökkenése nyomán az északi féltekén hirtelen bekövetkező lehülés (Berger & Loutre 1991), majd egy közbenső melegedéssel járó időszak után egy újabb, már nedvesebb éghajlattal párosuló (Bos *et al.* 2007) rövid lehülés (késő-boreális anomália, LBO, 11 270-11 200 kal. BP év) következett be. Ehhez a nedvességet adó második lehülési időszakhoz kapcsolódik az *Aulacoseira* nemzetség megjelenése, ami a vízszint emelkedésére utal. A bentonikus *S. exiguiformis* ~11 500 kal. BP évnél való megjelenése (röviddel előzi csak meg a Brazília tóban való gyakorivá válást), általánosan az acidofil taxonok jelenléte, LOI visszaesése a hirtelen lehülésből adódó téli jégborítás elhúzódásával függhet össze. Egy lehetséges magyarázat szerint a jégborítás elhúzódása miatt a vízi szervezetek által termelt CO<sub>2</sub> a víztestben H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> formában felhalmozódik, savanyítva azt (Buczko *et al.* 2012, 2013a, Wolfe 2002). Az áramlást kedvelő *Hannaea arcus* megjelenése - a befolyó vizek meglétéén keresztül - feltételezhetően összefüggésben állhat a késő-boreális anomália lehülés hozta fokozott csapadékossággal, utóbbival függ össze a planktonikus *Aulacoseira* taxonok megjelenése.

Az anomália okozta hőmérséklet csökkenés és csapadékosság nemcsak a diatóma (pl. Buczko *et al.* 2012) és az árvaszúnyog-lárva rekordban (Tóth *et al.* 2012), hanem a Chrysophyta sztomatociszta közösség összetételének megváltozásában is megjelenik. ~11 200 kal. BP évnél jelent meg először a C072 Facher & Schmidt ciszta forma, amely később, a 9.3 ka anomáliakor kiugró dominanciát ad a *Fragilaria gracilis* taxonnal.

A szilícium-dioxid vázas flóra kora-Holocén változása egyértelműen összefüggésbe hozható a környezeti paraméterekkel, amelyekre - többek között - erős hatással volt az észak-atlanti térségben detektált késő-glaciális és kora-Holocén nagy amplitúdójú hőmérséklet ingadozása (pl. Björck *et al.* 1998). Erről a kora-Holocén diatóma flóra instabilitásról számol be Quillen *et al.* (2011) a floridai Lake Annie egyébként jó megtartású Holocén üledékszelvényéből, utalva arra - a pollenadatok és a lassú ülepedési ráta ismeretében -, hogy a diatóma összetétel megváltozása feltételezhetően az éghajlat változással függhet össze.

#### *Partmenti vegetáció kialakulását jelző diatóma közösség (~11 090-10 210 kal. BP év)*

A növekedő fajszámú diatóma közösség változatos életformájú: a fragilaroid taxonok (pl. *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosirella pinnata*, *Staurosirella* sp.) mellett az epipszammonikus fajok (*Sellaphora pupula* var. *pupula*, *S. pupula* var. *rectangularis*, *S. seminulum*) és a perifitikus taxonok is megtalálhatóak. Párhuzamot találunk a Brazi tó diatóma profiljával: ott a perifitikus taxonok elterjedése a partmenti *Sphagnum*-láp kiterjedésével hozható összefüggésbe, ahol a LOI és a rekonstruált foszfor tartalom ismeretében egy fokozott belső produkcióval jellemzett melegedő víztestet feltételeznek (Buczko *et al.* 2012). Hasonló, a belső produkció növekedését alátámasztó jelenséggel találkozunk a Gales tó esetében is. Amellett, hogy egyre diverzebb a diatóma flóra, csökken a C:D arány, fokozatosan emelkedik a szervesanyag tartalom és helyi maximumot ad a biogén szilikát is. A zóna közepén maximumot adó *Genkalia digitulus* és *G. digituloides* taxonokról Wojtal *et al.* (2014) azt közli, hogy ezek a fajok mind a boreális mind a hegyi - kissé savas, oligotróf - tavakban a trofitás növekedés indikátorai. A biogén szilikát emelkedéséből, valamint a *Chrysococcus furcatus* jelenlétéből következtethetünk a fokozódó produktivitásra. Ismert tény, hogy az egyébként hideg, kissé savas vizekre jellemző Chrysophytákkal ellentétben a *Chrysococcus furcatus* taxon produktív víztestekben is gyakran megjelenik (Duff *et al.* 1995). Majd a zóna végén bekövetkező életforma változás, a perifitikus taxonok visszaszorulása, a lotikus *Hannaea arcus* megjelenése és helyi maximuma vízszintemelkedésre utalhat, hasonlóan a Brazi tóban tapasztaltnal (Buczko *et al.* 2013a).

*Planktonikus életforma uralkodóvá válása - Fragilaria gracilis zóna (~9500-9000 kal. BP évek)*

Erre a zónára a túszerű, planktonikus *Fragilaria gracilis* tömeges megjelenése jellemző. A 9200 évvel ezelőtti planktonikus *F. gracilis* csúcs alapján magas vízszint feltételezhető, ami a fokozódó csapadékosság következménye lehetett. Megjegyzendő, hogy ezt az eseményt alacsony sztomatociszta szám és alacsony C:D arány kíséri. Ez a rövid ideig „ható” klímafluktuáció elősegíthette a tó vízgyűjtőterületen kialakuló talajeróziót (Magyari *et al.* 2013), aminek nyomán a víztestbe jutó ásványi anyagok a víztest fényellátottságának csökkenéséhez vezethettek. A lehülésből, tartós csapadékosságból adódó vízoszlop növekedésnek köszönhetően feltételezhető, hogy megfelelő élettér alakulhatott ki a nagyobb méretű *Fragilaria* taxon számára. Ugyanakkor a szervesanyag tartalomra utaló LOI és a C:D arány helyi minimuma egyértelműen az igen alacsony diverzitás miatti belső produkció visszaszorulására utal.

Az, hogy a Gales tó kovaalga közösségének összetétele ilyen nagyfokú változáson ment keresztül, összevethető más vízszintváltozást vizsgáló paleolimnológiai tanulmánnyal. A vízszintváltozás alapvetően módosítja a víztest környezeti változóit, egyrészt a kémiai gradienst (pH, alkalinitás, vezetőképesség), másrészt a fizikai paramétereket (pl. hőmérséklet, jégborítás hossza) (pl. Ognjanova-Rumenova *et al.* 2009). Nemcsak a fitoplanktonra, de a környezeti állapotváltozásban alkalmazott zooplankton élőlénycsoportra is igaz, hogy a víztest mérete szignifikáns összefüggésben van a bióta összetételével (Catalan *et al.* 2009a,b). Osztrák alpesi tavak paleolimnológiai vizsgálatából pedig ismert, hogy egyes fragilaroid taxonok szignifikáns kapcsolatot mutatnak a víztest kémiai, fizikai gradienseivel (Schmidt *et al.* 2004), például a legnagyobb hossz-szélesség aránnyal rendelkező *Fragilaria gracilis* nemcsak a kémhatással, hanem a növekvő vízmélységgel is jól korrelál (Schmidt *et al.* 2004), másrészt az életformára vonatkozó vizsgálatok szerint is planktonikus/tychoplanktonikus szervezetnek tekinthető (Schmidt *et al.* 2004). Ez a megállapítás erősítheti azt a feltételezésünket, hogy a Dél-Kárpátokban ~9300 kal. BP évnél domináns *Fragilaria gracilis* okozta vízszintemelkedés ahhoz a 9.3-ka globális léptékű éghajlati anomáliához kapcsolható, amely az Észak-Atlanti óceánba jutó nagy mennyiségű édesvíz beáramlás következményeként

- a termohalin cirkuláció gyengülésén keresztül - általános lehűlést idézett elő az északi kontinens egész területén, fokozott csapadékoszággal párosulva (Fleitmann *et al.* 2008).

Az éghajlati anomáliát követően, 174 cm-nél (~8700 kal. BP év) a korábbi 28%-ról 135%-ra emelkedő biogén szilikát mutató a kedvező körülményekkel, belső produkció intenzívvé válásával kapcsolható össze, amelyet a növekvő diatóma faj- és egyedszám bizonyít.

A C072 Facher & Schmidt sztomatociszta morfortípus kiugró dominanciája és a mellette megjelenő szintén tüskézett felszínű formák (pl. C166) megjelenése kapcsán megemlíthető, egy korábbi, a fitoplankton süllyedési sajátságának vizsgálatára vonatkozó kísérletes kutatásunk (Padisák *et al.* 2003) eredménye. Az eltérő hossz-szélességgel rendelkező fitoplankton formák (pl. *Asterionella*-, *Fragilaria crotonensis* kolónia, *Cosmarium*, *Tetrastrum*) közül formailag a cisztákra hasonlító *Cosmarium* modellek süllyedési sebességét vizsgálva nem tapasztaltunk különbséget a különböző fokú felszíni díszítettségű modelleknél, illetve a díszített és a díszítetlen (mesterséges) forma között sem volt nagy különbség. Ebből arra következtethetünk, hogy a dominanciát mutató, erősen díszített felszínű C072 morfortípus létrehozása nem a vízoszlopban maradásért létrejött stratégia, sokkal inkább egyfajta kompetitív előnyt jelentett - köszönhetően a Chrysophyta algák alacsony produktivitásában mutatott mixotrófiájának - a hideg éghajlati anomália okozta fizikai és kémiai környezetváltozásban.

*Az Aulacoseira nemzetség előretörése ~9150 kal. BP. évtől*

A DAZ-7-es zónától, vagyis a kora-Holocén végétől (~9150-7100 év), ami a Holocén klíma optimum kezdetével esik egybe, emelkedő vízszintre utal a planktonikus *Aulacoseira* nemzetség képviselőinek (*Aulacoseira alpigena*, *A. ambigua*, *A. pfaffiana*) 8100 kal. BP évtől egyre fokozódó elterjedése, párhuzamosan a fragilaroid, perifitikus taxonok visszaszorulása. A C:D arány növekedésével, ~8500 kal. BP évnél tapasztalt helyi maximumával hideg, mély víztest feltételezhető. Az erős kovavázú *Aulacoseira*-dominanciát és a ciszta produkció fokozódását mutatja a tavaszi diatómacsúcsról informáló biogén szilikát tartalom második legnagyobb értéke (~8700 kal. BP év, 135%), és a nyári és őszi algaprodukciónak jelző szervesanyag tartalom erőteljes növekedése is.

A leghosszabb időszakot lefedő közép-Holocén időszakot (DAZ-8 zóna, 7100-3670 kal. BP év) diverz és stabil kovaalga közösség határozza meg, jellegzetesen a planktonikus életformák dominanciájával, ami a fokozódó vízszint növekedés bizonyítéka. Ha a diatóma életformák változásán keresztül rekonstruáljuk a vízszintváltozást, a bentonikus fragilaroid, valamint a planktonikus *Aulacoseira* taxonok időbeli trendjét (pl. 13. ábra) kell összehasonlítani, amelyen látható, hogy ~5500 kal. BP évnél megszakad a tipikus planktonikus életforma, újra a bentonikus és perifitikus életmód válik gyakoribbá a fragilaroid taxonok diverz előfordulása mellett, mindez csökkenő vízszintre utaló esemény. A vízszint csökkenés okai között lehet a nyári besugárzás mértékének növekedése és/vagy a csapadékszegény hideg téli időszak.

Hasonló életforma váltással járó trend figyelhető meg a másik retyezati tóban, a Brazi tóban is, ahol a késő-glaciális szelvényt a sekély, kissé lúgos víztestet indikáló fragilaroid fajok jellemzik, míg a közép-Holocéntól kezdve a planktonikus *Aulacoseira* taxonok válnak meghatározóvá, és 6300-5800 kal. BP év között határozott vízszintemelkedés mutatható ki (Buczko *et al.* 2013a). Ugyanakkor az észak-atlanti régióra is kiterjeszhető a közép-Holocén időszakra jellemző hidrológiai maximum. Ezzel a jelenséggel találkozunk egy 5500 éves dél-karolinai tó üledékvizsgálata (Gaiser *et al.* 2004) kapcsán is.

A DAZ-8 zónától kezdve kissé fluktuálva, de folyamatosan magas értéket mutató C:D arány - ~3740 kal. BP évnél 0,7-es maximumot elérve - a fokozódó oligotrófia mutatója, valamint vízszint növekedésre utal/utalhat. A diatóma csúcs bizonyítéka a biogén szilikát

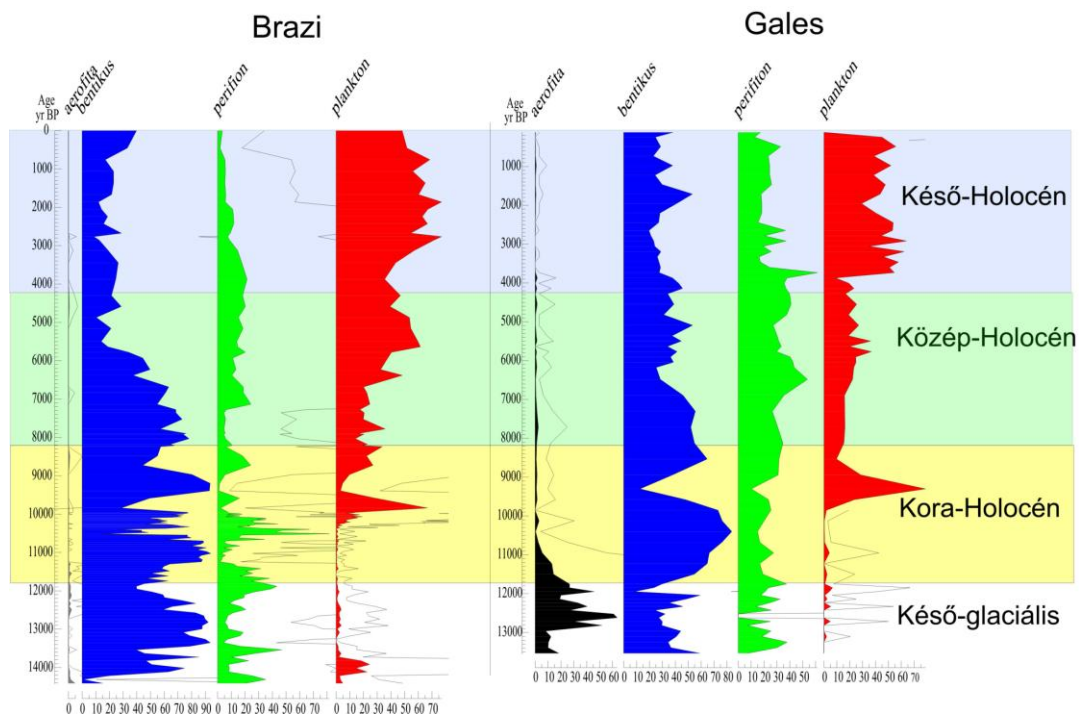
helyi kiugrása ~3500 kal. BP évnél. Ez az időszak nagyjából egybeesik a 4.2-es eseménnyel, ami a Holocén jelenlegi felosztása szerint (Walker *et al.* 2012) csapadékot és hűvösebb éghajlatot hozó markáns klimatikus változás volt a közép-késő Holocén határán, amelyet az északi-féltekén, Európa számos pontján számos proxy bizonyít (Walker *et al.* 2012).

*Karakterisztikus Aulacoseira dominancia ~3700 kal. BP évtől*

3700 kal. BP év után a korábban domináns fragilaroid taxonokat az emelkedő vízszintre utaló tychoplanktonikus *Aulacoseira* nemzetség képviselői váltják fel. Összehasonlítva a Brazi tóval, hasonló magas vízszintet 3000-1500 kal. BP év közé teszi Buczkó és munkatársai (2013a), valamint ~3300 kal. BP év körül a tó belső produkciójának növekedését támasztja alá egyrészt a LOI helyi maximum értéke valamint a *Genkalia digitulus* és *N. digituloides* magas relatív abundanciája. A *Genkalia* nemzetség elterjedését és ökológiáját vizsgálva Wojtal *et al.* (2014) megállapította, hogy a fenti két faj a környezeti változók közül a trofitáson túl a pH változására is érzékeny. Leggyakrabban a circumneutrális, enyhén savas tartományban található a fajok többsége (Catalan *et al.* 2009a,b, Buczkó *et al.* 2013a). Kivételt a *Genkalia subprocera* jelent csak, amely lúgosabb vizek lakója (Wojtal *et al.* 2014).

Magas C:D arány és főként oligotróf taxonok jelenléte jellemzi ezt az időszakot, az oligotróf vizekre jellemző *A. alpigena* gyakorisági maximumai ~1500 és ~1000 kal. BP évhez köthetők.

A DAZ-9-es zónában a trofitás emelkedésére utal ~2900 kal. BP évnél a C:D arány minimum értéke, amely egybeesik az alkalikus víztestet jelző *Encyonema gaemannii* maximumával. Ugyanakkor a kovaalga együttes diverzitásának jelentős csökkenése is a fokozódó produkcióhoz köthető, utóbbit a biogén szilikát tartalom ~2800 kal. BP évnél mutatott kiugrása is alátámaszt, bizonyítva azt, hogy a Gales tóban az erősen kovásodott, jelentős szilícium-dioxid vázzal jellemezhető *Aulacoseira* diatómacsúcs okozta intenzív belső produkció a késő-Holocénhez köthető.



**24. ábra** Két retvezési gleccser tó, a Brazi (Buczkó *et al.* 2013a) és Gales kovaalgáinak életforma szerinti megoszlása a késő-glaciálisban és a Holocénben az idő függvényében, a kora- közép- és késő-Holocén időszak feltüntetésével (Walker *et al.* 2012 alapján)

Ha összehasonlítjuk a két, nagyfelbontásban elemzett retyezáti tónak, a Brazi és a Gales életforma szerinti üledékprofilját (24. ábra), nagyfokú hasonlóságot tapasztalunk a kora-Holocén és a késő-Holocén időszak tekintetében. A kora-Holocén időszakban a ~9300 kal. BP évnél megjelenő dominanciával párosuló plankton csúcs - és csökkenő diverzitás, visszaszoruló bentonikus életmód - mindkét tóban azonoshítható, Míg a Brazi tóban a *Stauriforma exiguiformis* (Buczko *et al.* 2012), addig a Gales tóban a *Fragilaria gracilis* a kovaalga közösség meghatározó tagja. A másik közös jellegzetesség a késő-Holocén időszak egyöntetű, *Aulacoseira* nemzetség uralta flóráképe (pl. Buczko *et al.* 2012). A Gales tóban a planktonikus-perifitikus életmód megoszlása sokkal kiegyensúlyozottabb képet mutat, mint a Brazi tóban, a két tó morfológiájának különbségéből adódóan. A Gales tó átlagosan ~15 méter mély, kis vízgyűjtőterületű, átfolyó rendszerű, ebből adódóan a vízszintváltozások soha nem olyan erős amplitúdójúak, hogy a diatóma életmód váltásban nagy fluktuáció következne be, szemben a sekély (átlagmélység 1,1 m), zárt rendszerű, viszont nagy vízgyűjtőterülettel rendelkező Brazi tóval, ahol ~5500 kal. BP évtől a planktonikus taxonok határozták meg a diatóma flórát, ami bizonyítéka lehet a Holocén klíma optimum idejére jellemző fokozott nyári csapadékosságnak. A két tó közös jellemzője, hogy a bentonikus életforma, eltérő amplitúdóval, de fokozatosan háttérbe szorul a Holocén vége felé haladva.

A Gales-3 üledékszelvény késő-glaciális és Holocén kovaalga- és Chrysophyta ciszta flórája nagy hasonlóságot mutat a Balkán legmagasabb hegységében, a Rila-hegységben található Lake Sedmo Rilsko diatóma profiljával is (Lotter & Hofmann 2003).

#### 6.2.1 Indikátor és domináns kovaalga taxonok

A szárazodásra utaló, a meder faláról bemosódó aerofita fajok (*Hantzschia amphioxys*, *Humidophila* spp., *Luticola* spp., *Orthoseira roseana*, *Pinnularia borealis*) közül a teljes szelvényt vizsgálva a *Hantzschia amphioxys* tekinthető domináns indikátor fajnak: összesen 19 mintában (DAZ-3,-2,-1 zóna) jelenik meg, a késő-glaciális diatóma szelvény meghatározó eleme (3-as konstancia, 1. táblázat). A *Pinnularia borealis* a másik domináns aerofita taxon: hét mintában (DAZ-3,-2,-1) fordul elő, a késő-glaciális szelvény meghatározó taxonja (3-as konstancia, 1. táblázat). Az *Orthoseira roseana* (2-es konstancia), és a *Luticola* spp. nemzetség tagjainak előfordulása a késő-glaciális és kora-Holocénhez kötődik (13. ábra).

**4. táblázat** Az egyes főkomponensek által leírt változatosság aránya és annak összegződése a Gales-3 fűrés Holocén időszakában, a kovaalga életmód szerint csoportosított adatokon (52 minta 4 csoport)

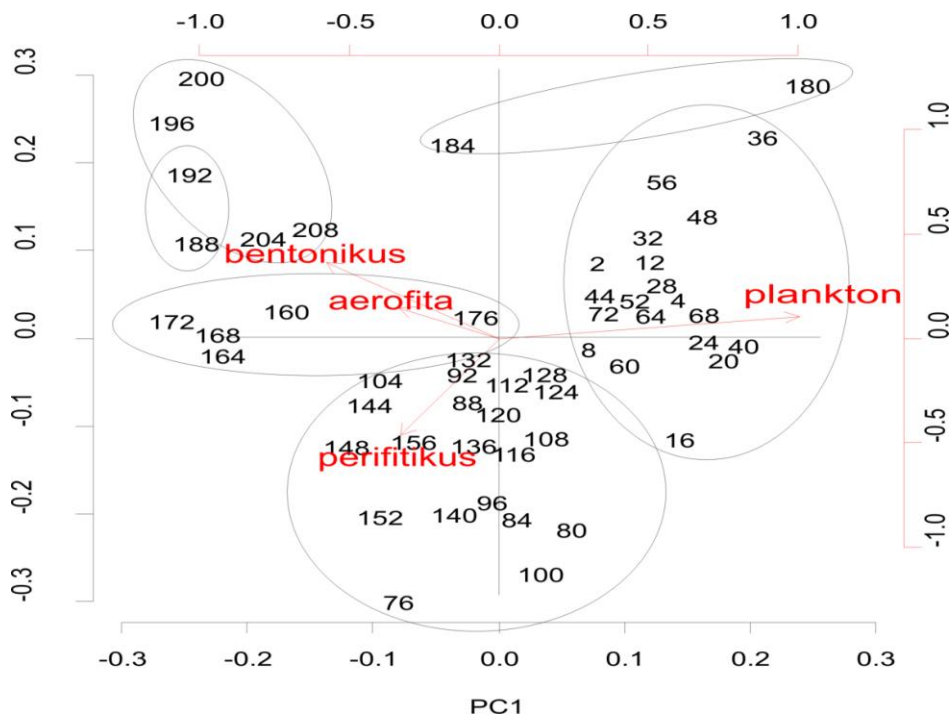
	PC1	PC2	PC3	PC4
Szórás (st. dev.)	3,52	0,14	0,10	0,05
Variancia (%)	99,73	0,16	0,09	0,02
Kumulatív variancia (%)	99,73	99,89	99,98	1

Az áramláskedvelő, illetve vízbefolyást jelző taxonok közül a *Meridion circulare* két alkalommal jelenik meg (DAZ-2,-1) a késő-glaciális időszak végén. Az összes mintára vetített előfordulása alapján nem tekinthető gyakori taxonnak (1-es konstancia), viszont a sekély tó kialakulását követően a közösség meghatározó tagja. A kora-Holocénben a *Meridion circulare* var. *constrictum* a teljes diatóma flóra gyakori tagjának számít (3-as konstancia). A *Hannaea arcus* ugyan egyetlen mintában sem volt gyakori, de a teljes mintakészletben megjelenő faj (Függelék I., 1. táblázat).

Bentonikus, perifitikus taxonok tekintetében (1. táblázat) a késő-glaciális/Holocén átmenetben megjelenő és a kora-Holocénre gyakorivá váló fragilaroid taxonok a következők:

*Fragilaria capucina*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *P. construens*, *Stauroforma exiguiformis*, *Staurosirella pinnata*, *Staurosirella* sp. Közülük a sekély víztest indikátora a bentonikus *Pseudostaurosira brevistriata* ~10 100 kal. BP évnél (4-es konstancia) a Fialat Driászt követő felmelegedési periódusban, a *Staurosirella pinnata* (2-es konstancia) a kora-Holocénben mutat maximális relatív gyakorisági értéket.

A planktonikus életmód megjelenése, dominanciája a tychoplanktonikus *Fragilaria gracilis* (Schmidt *et al.* 2004) ~9300 kal. BP évnél megjelenő csúcsával kezdődik, majd a közép-Holocéntól kezdve az *Aulacoseira* nemzetség válik uralkodóvá, és marad domináns (12-14. ábra) nemzetség a közép-, késő-Holocénben.



**25. ábra** A Gales-3 szelvényben a kovaalga életformák alapján képzett csoportok főkomponens analízis eredményének (kettős-szórás) biplot ábrája. A CONISS által képzett, statisztikailag értékelhető diatóma zónákat (DAZ10-4) körök jelzik

Az életformák alapján képzett csoportokon végzett főkomponens analízis (25. ábra, 4. táblázat) ismeretében látható, hogy az első tengely szinte teljesen magyarázza a minták elválását, a variancia több mint 99%-át magyarázza. A planktonikus életmódot folytató diatómák dominálta minták az első tengely mentén válnak el a többitől, egymás mellett található az *Aulacoseira* nemzetség fajtái, valamint a *Fragilaria gracilis* dominálta minták. Hasonlóan a jól elkülönülő bentonikus-aerofita, illetve az aerofita és a perifitikus közösségekből létrejövő csoportok között is megfigyelhető egy viszonylagos közelség. Az életmódok elválását bemutató csoportképzésben a közösségátalakulás jelenik meg, amely egyben a környezetváltozásra adott funkcionális válasznak feleltethető meg.

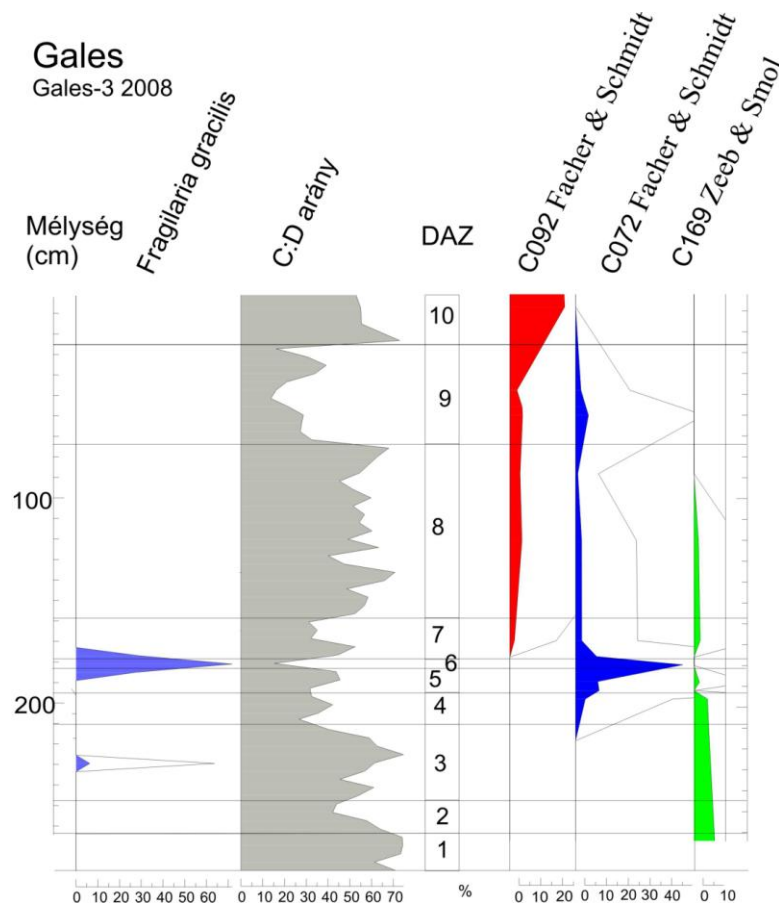
## 6.2.2 Chrysophyta ciszta szukcesszió

Ha a ciszta szukcessziós fejlődését vizsgáljuk, az első markáns pont a késő-glaciális/Holocén határán fedezhető fel, amikor a C169 morfortípus a ciszta flóra jellegzetes alkotójává válik. A kora-Holocéntól kezdve (208 cm, 11 090 kal. BP év) az egyre diverzebb cisztaközösséget változatos formájú és díszítettségű, erősen kovásodott ciszták alkotják.

A következő flóra sajátosság 9200 kal. BP évhez köthető, amikor az egyedi diatóma összetétellel párhuzamosan, a magashegységi vizekből leírt ovális, erősen díszített felszínű

forma, a C072 ciszta morfortípus abszolút dominanciája jellemzi a cisztaközösséget (26. ábra). Ez a jelenség a ciszták környezeti változékonyságra való érzékenységét bizonyíthatja: elsősorban a lehülésre (pl. de Jong & Kamenik 2011) és az abból fakadó elhúzódó jégborítás miatt kémhatás csökkenésre lehet következtetni. Hőmérséklet szempontjából egyfajta optimum állapotot igazol ez a dominancia, ami a téli és tavaszi hónapok fokozott csapadékossága és lehülése miatt következett be (Magyari *et al.* 2013). Az, hogy a C:D arány határozott visszaesést mutat, nem jelenti azt, hogy egyes Chrysophyta algák ne legyenek meghatározóak a 9.3 éghajlati esemény okozta környezeti körülmények között.

A kovaalga együttesek összetétele alapján leginkább elkülönülő felső két késő-Holocén zónából származó mintákat diverz ciszta közösség jellemzi. A harmadik legjellegzetesebb szukcessziós esemény a Holocén időszakban megjelenő C092 forma folyamatos jelenlétéhez köthető, amely a késő-Holocénben, az utolsó zónában a planktonikus diatóma taxonokkal párhuzamosan határozott dominanciával jelenik meg (26. ábra). ami egybeesik a C:D arány legfelső zónában megfigyelt fokozatos emelkedésével. A diverz, díszített felszínű formákban gazdag minták fokozódó belső produktivitásra utalnak.



**26. ábra** A 180 cm-nél egyedi kiugrást mutató *Fragilaria gracilis*, a Chrysophyta ciszta és kovaalga arány (C:D) és néhány jellegzetes kora-, közép- és késő-Holocénben jellemző ciszta morfortípus relatív gyakoriságának alakulása a Gales-3 szelvény késő-glaciális és Holocén üledékében

## 7 Kitekintés

A hegyi tavak a limnológiai vizsgálatokban kiemelt fontosságúak. Bár szerte a világon, Európában, a Kárpátokban, és végül a Retyezáton belül is számos tó található, ezek közül kevés képes jól megőrizni a környezeti szignálokra adott válaszreakciókat. A Gales tó egyike ezeknek. Jelen dolgozatban az elmúlt 7 év kutatás eredményei kerültek bemutatásra a következő kitekintésekkel:

(i) A munka legfőbb nehézségét a jórészt feltáratlan oligotróf diatómaközösség taxonómiai megismerése jelenti. Az előző vizsgálatok (Buczko *et al.* 2010, 2013a, Wojtal *et al.* 2014) megmutatták, hogy szinte minden csoportban (*Aulacosiera*, *Nupela*, *Genkalia*) vannak olyan fajok, amelyek taxonómiaileg nem kellően ismertek még. Számos olyan csoport van, amelyek taxonómiája még tisztázásra vár (fragilaroid fajok, *Neidium antarcticum*-hoz közel álló faj, achnanthoid fajok, az *Eunotia* nemzetség kisebb méretű fajai).

(ii) A Chrysophyta ciszták megismerésében is csak az első lépéseket tettük meg, valószínűsíthető, hogy magából a Gales tóból is további morfortípusok kerülnek elő/írhatóak le. A hegyi tavak taxonómiája, florisztikai feltárása még hosszú időre ad munkát a taxonómusoknak.

A jövőbeli regionális összehasonlítás elvégzéséhez ígéretes tény, hogy a Gales flóra leggyakoribb morfortípusai Európa más magashegységi területein is előfordulnak. Kamenik (2010) "Stom@ocysts" adatbázisa alapján a tátrai "Nižné Terianske Pleso" tó ciszta flórája nagy hasonlóságot mutat a Gales-rekorddal.

(iii) A paleolimnológiai kutatásokban a minták korolása nagy kihívást jelent. Magyarai Enikő 2009-es munkájában közölt koradatokat, kor-mélység modelleket vettük alapul. Azóta számos további mérés, finomítás, modellállítás történt (Magyarai Enikő személyes közlése), amelyek számos problémát vetnek még fel, és a jövőben kerülnek publikálásra. A publikációinkban, valamint a munkacsoport korábbi publikációiban is és jelen dolgozatban is a 2009-ben közölt koradatokat jelentek meg (Soróczki-Pintér *et al.* 2012, 2013, 2014).

A környezeti rekonstrukciók közül, eddig a vízszintre vonatkozó rekonstrukció készült el, az életformák változásai alapján. A foszfor és pH rekonstrukció a taxonómiai problémák miatt sok buktatót rejt. Ha ez európai adatokat vesszük alapul, akkor sok esetben azt látjuk, hogy a mi mintáinkban olykor tömeges fajok a training szettekben hiányoznak, azokból az adatbázisokból, ahol háttérváltozóval együtt elemezték a felszíni mintákat. Ha a magassági zónánként és lokálisan is eltérő éghajlattal rendelkező európai Alpokban végzett klímarekonstrukció (60-8 ezer év) sikerességére gondolunk, a megoldást a rekonstrukciók folyamatosságában, a regionális rekonstrukciók kiterjesztésében, a különböző proxim keresztvalidálásában kell keresni (Heiri *et al.* 2014). A Dél-Kárpátok esetében a megoldás regionális adatbázis (training set) felállítása lenne, lehetőleg minél több hegységből, minél több háttérváltozót mérve, minél nagyobb taxonómiai felbontással (Korponai János személyes közlés). Ez ugyancsak túlmutat a dolgozat keretein.

(iv) Ha európai vonatkozású vízszintváltozások összehasonlítására akarunk vállalkozni, számos hegyi tóban végzett rekonstrukció áll rendelkezésünkre. A lokális Brazi tóval (pl. Buczko *et al.* 2013a) való összehasonlításon túl, regionális szinten pl. a Balkán legmagasabb hegységében, a Rila-hegységben található Lake Sedmo Rilsko diatóma profiljával (Lotter & Hofmann 2003) összevetve is megfigyelhetők a késő-glaciális és Holocén időszakra vonatkozó egyezések. Azonban, ha a késő-negyedkori diatóma

viszonyokból levont - éghajlati körülményekre utaló - következtetéseket akarjuk regionálisan összevetni, körültekintően kell eljárunk. Európai klímamodellek (pl. Heiri *et al.* 2014) támasztják alá, hogy - különösen a Holocén időszakban - igen eltérő éghajlati viszonyok jellemezték a mediterrán, óceáni, illetve kontinentális éghajlatú magashegységi területeket. Ebből adódóan, elsősorban a csapadékviszonyok megítélésében és a kovaalga alapú szalinitást és vízszintváltozást rekonstruáló paleolimnológiai vizsgálatokban nagy eltérések, a melegebb éghajlati viszonyok vizsgálatában pedig túlbecslések mutatkoznak regionális szinten, pl. a Mediterráneum és Közép-Európa (pl. Alpok, Kárpátok) között (Marchetto *et al.* 2008, Schmidt *et al.* 2004, Bitušik *et al.* 2009). Leegyszerűsítve tehát ugyanabban az interglaciálisban (Holocén) a lehülési időszakok, míg fokozott csapadékmennyiséggel párosulnak az Alpokban, vagy Kárpátokban, addig a földközi-tengeri közelség (pl. Ibériai-félsziget, Balkán-félsziget) csapadékszegény lehülést eredményez (pl. Magny *et al.* 2013). Ebből adódik, hogy míg a Dél-Kárpátokban ~9300 kal. BP évnél a *Fragilaria gracilis* jelezte magas vízszint a lehülésnek és a fokozott csapadékosságnak a következménye, ugyanabban az időben nem mutatható ki magas vízszint a Földközi-tengerhez közeli tavakban csak jóval később. Pl. a kelet-mediterrán térségben a macedón Preszpa-tóban ~7900-6000 kal. év BP között (Cvetkoska 2014), a görög Ioannina tóban ~7500 kal. évnél (Jones *et al.* 2013), vagy a közép-mediterrán térségben, északról az Appenninek által védett Lago di Massaciuccoli tóban ~7000-6000 kal. év BP között (Marchetto *et al.* 2008) jelenik meg rekonstruált maximális vízszint. Összefoglalva, 9000-5000 kal. BP év között regionálisan (Kárpátok, Kárpát-medence, Balkán) kisebb-nagyobb ingásokkal magas vízszintet rekonstruáltak a kutatások (pl. Korponai *et al.* 2010, 2011), mivel a Holocén klíma optimumban az észak-atlanti térség éghajlatát meghatározó észak-atlanti oszcilláció (NAO+) regionálisan nedvesebb téli és szárazabb nyári éghajlatot, magashegységi körülmények között pedig a téli csapadék felhalmozódását eredményezhette (Korponai János személyes közlés).

## 8 Összefoglalás

Doktori munkámban - egy multi-proxi paleoökológiai kutatás keretében - a Retyezát-hegység (Dél-Kárpátok, Románia) egyik gleccsertavában, a Gales tóban megőrződött szilícium-dioxid vázas algamaradványokat vizsgáltam. Célom volt, hogy rekonstruálni tudjam a tó életében lezajlott produkciót és vízszintváltozást érintő változásokat a késő-glaciális és Holocén időszakban.

A kovaalgák vizsgálata mellett adatokat gyűjtöttem tavi üledékben található Chrysophyta sztomatocisztákról is, amelyek között tudományra nézve új morfortípusokat is sikerült elkülöníteni. Munkámhoz felhasználtam Magyarai Enikő publikálásában megjelent radiokarbon koradatokat, a szervesanyag változás (LOI) trendjét bemutató görbét, és Braun Mihály hozzájárulása mellett a biogén szilikát tartalom adatokat.

A mintegy 15 500 éves Gales tó (45°23'6"N, 22°54'33"E) 328 cm-es bolygatatlan üledékszelvényének (Gales-3) nagyfelbontású kovaalga és egy kislebontású Chrysophyta ciszta analizisét végeztem el. Megállapítottam, hogy ~14 160 kal. BP évtől kezdődően a Gales-gleccservölgyben a pleisztocén jégár visszahúzódása után a tavi élet kialakulása a bentonikus fajok megjelenésével indul. A kezdeti alacsony vázkoncentrációhoz képest a késő-glaciális Bølling/Allerød időszakában bekövetkező melegedés idején, a Gales tóban a kiszáradást nem toleráló taxonok aránya nő, az aerofiták visszaszorulnak, ami a gleccsertó vízszint állandóságára és kismértékű emelkedésre utal. 12 900 kal. BP év környékén, a Fialtal Driász kezdetén a folyamat visszafordul: időszakos szárazodásra, vagy kiszáradáshoz közeli állapotra következtem a kovavázak számának drasztikus csökkenéséből, valamint az aerofita taxonok relatív gyakoriságának emelkedéséből. A késő-glaciális geológiailag meghatározó záró eseménye, a rövid, de intenzív lehűlést és szárazodást hozó Fialtal Driász kezdete alapvetően átalakította a tó diatóma közösségének összetételét. A Fialtal Driász közepétől (~12 500 kal. BP év) sekély víztest meglétére utal a bentonikus és perifitikus taxonok dominanciája. A Holocén kezdetétől (~11 700 kal. BP év) nő a fajszám, a taxon összetételben megjelenő változás pedig egybeesik a Holocén kezdetén a LOI ugrásszerű növekedésével (2,5%-ról 37%-ra), ami nemcsak a tavi, hanem a szárazföldi vegetáció növekedésére is utal.

A tavat érintő kovaalga fajösszetételben megjelenő legmarkánsabb változást ~9500-9000 kal. BP év között mutattunk ki, amikor a túszerű, gyengén kovásodott planktonikus *Fragilaria gracilis* tömegesen jelent meg. A ~9210 kal. BP évnél (180 cm-es üledékmélység) a *F. gracilis* relatív gyakorisága meghaladta a 70 %-ot. Ugyanebben a mélységben a LOI is helyi minimumot (14%) adott valamint éles váltás következett be a Chrysophyta ciszta közösség összetételében is, amikor egy ovális, teljes felszínén tüskével díszített morfortípus (C072) vált dominánssá. Feltételezhető, hogy fokozott erózióval és a víztestben csökkenő produktivitással párosulva ekkor jelent meg a legmagasabb vízszint a tó története során, amik a Kelet-Közép európai térségben az éghajlat évszakosságának eltolódását: a téli és tavaszi hónapok hőmérsékletének csökkenését és csapadékosság növekedését jelenthették. Irodalmi adatok ismeretében feltételezem, hogy a gyorsan lezajló, de intenzív 9,2-ka általános éghajlati anomáliának a helyi lenyomata jelent meg a közösségek összetételének, és a tó produktivitásának jellegzetes változásában. A másik jelentős változás az, hogy 9150 kal. BP év-től a planktonikus *Aulacoseira* taxonok képviselői fokozatosan és a diatóma flóra összetételben egyre nagyobb arányt képviselve jelentek meg, majd ca. 3700 kal. BP év táján a korábban domináns fragilaroid taxonokat háttérbe is szorították. Ez a változás arra utal, hogy a késő-Holocénben a tó vízszintje fokozatosan növekedett.

A mély tavakra jellemző, hogy gazdag Chrysophyta sztomatociszta flórával rendelkeznek. Ennek felismerése után kezdtünk bele a ciszta flóra feltárásának. A kislebontású ciszta

vizsgálat alapján elmondható, hogy a Gales tó Chrysophyta flórája gazdag formavilágú: 83 azonosított és 7 a tudományra nézve új típus került elő a 328 cm üledékszervényből.

Összességében a Gales tó kifestésű sztomatociszta elemzéséből származó flórákép ugyan még nem fedi le a Retyezát hegység teljes ciszta flóráját, de előzetes taxonómiai tanulmányként egy jól használható, közepes morfológust tartalmazó adatbázis született a Dél-Kárpátok területéről, amely egyrészt alkalmassá válhat autoökológiai kutatásokhoz, másrészt a Dél-Kárpátok további tavaiban megőrződött fossziliákon keresztül az őskörnyezeti rekonstrukciók készítéséhez. Továbbá a dél-kárpáti flóra összehasonlíthatóvá válik Európa magashegységeiből leírt flórájával.

## 9 Köszönetnyilvánítás

Hálásan köszönöm témavezetőimnek lankadatlan segítségüket, amit az elmúlt években kaptam tőlük.

Köszönöm dr. Buczkó Krisztinának, a Magyar Természettudományi Múzeum (Növénytár) főmúzeológusának, egyben külső témavezetőmnek, hogy lehetőséget és elsősorban szakmai segítséget adott a MTM Növénytárában végzett munkámhoz, fejlődésemhez, átengedte számos, publikálatlan fotójának közlési jogát. Bízom benne, hogy kamatoztatni tudom azt a tudást, amit a kovaalga és sztomatociszta kutatásban mellette elsajátíthattam.

Hálával tartozom intézeti témavezetőmnek, Dr. Padisák Judit Professzorasszonynak a Pannon Egyetem Környezettudományi és Limnológia Intézet vezetőjének, akit immáron majdnem tizenöt éve ismerek, hogy 2010-ben ismételten bizalmat szavazott tanulmányaim folytatásának tekintetében. A szakmabeli segítségén túl számos emberi megtorpanásomnál segítően hatott, életpéldáján keresztül pedig számtalanszor ösztönzött. Iskolateremtő személyisége, széleslátókörű tudása mindig példaértékű lesz számomra. Azt a hitvallást - tekintettel pedagógusi végzettségemre -, hogy a „nemzet napszamosai” vagyunk, tőle kaptam (2001. június, Csopak), hordozom, és lehetőségemhez mérten igyekszem továbbadni.

Köszönöm dr. Magyarai Enikő tudományos főmunkatársnak az MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport paleoökológusának, hogy engedélyezte az általa irányított kutatásba való részvételemet. Köszönöm neki, hogy szakmai javaslataival emelte a publikációim, előadások kivonatának és doktori munkám színvonalát.

Dr. Sergi Pla-Rabes (CREAF, Centre for Ecological Research and Forestry Applications, Barcelona) a Chrysophyta ciszták határozásában nyújtott szakértelmével nyújtott nagy segítséget.

Azt, hogy a Magyar Természettudományi Múzeum Növénytárában dolgozhattam, a MTM Növénytár vezetőjének, Dr. Hably Lillának köszönöm.

Köszönöm dr. Stenger-Kovács Csilla egyetemi docensnek (Pannon Egyetem, Limnológia Intézeti Tanszék) az *ad hoc* és konstans problémáim megoldásában nyújtott segítőkészségét. Ambíciózus személyisége mindig példamutató lesz számomra.

A disszertáció német nyelvű összefoglalójának lektorálásáért dr. Czicza Dánielnek (Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Germanistik, Gießen) mondok köszönetet.

Köszönet illeti Lengyel Edina doktorjelöltet, tudományos segédmunkatársat (Pannon Egyetem, MTA-PE Limnoökológiai Kutatócsoport), aki számos alkalommal bizonyította megbízhatóságát, segítőkészségét. Siki Andrea tanszéki titkárnőnek köszönöm, hogy mindig azonnal megoldotta a tanulmányaimból fakadó adminisztratív feladatokat. Csipkés Gábornak a grafikai ábrázolásban nyújtott segítségét köszönöm.

Zirkuli Zsuzsa francia nyelvtanáromnak szeretnék köszönetet mondani, aki a sors keze nyomán, 2009 tavasza óta kíséri figyelemmel, ösztönzi munkámat. Hálás vagyok a kialakult barátságunk minden percéért.

Nem utolsósorban hálás köszönettel tartozom szüleimnek, testvéremnek a sok biztatásért. Hálás vagyok férjemnek, Dávidnak, hogy támogatott a munkám során. Mindenekelőtt a jószándékú, higgadt, megfontolt tanácsait köszönöm.

Végül legnagyobb hálával büszkeségeimnek - Zsombornak, Kincsőnek és Lórántnak - tartozom, akik dolgozatom megírásakor, olykor nagyfokú türelmet tanúsítottak. Bízom benne, hogy a jelen munka is azt az üzenetet hordozza számukra, hogy tanulni, tudást szerezni gyümölcsöző dolog és egyben alapvető kötelességünk.

A kutatás anyagi háttérét a következő projektek (1.,2.), míg a szerző személyi támogatását az Európai Unió által támogatott ösztöndíjak (3.,4.) biztosították:

1. OTKA 83999
2. NF 101362
3. TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0025 „Tudományos képzés műhelyeinek támogatása a Pannon Egyetemen” című projekt. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (2011. augusztus 1.- 2013. július 31.) - hallgatói ösztöndíj (2011. szeptember-2012. január)
4. TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Apáczai Csere János Doktorandusz Ösztöndíj - Nemzeti Kiválóság Program - Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (2013. március-2014. március)

## 10 Irodalomjegyzék

- Bălțeanu, D., Jurchescu, M., Surdeanu, V., Ionita, I., Goran, C., Urdea, P., Rădoane, M., Rădoane, N. and Sima, M. (2012) Recent Landform Evolution in the Romanian Carpathians and Pericarpethian Regions. *In: Loczy, D., Miloš, S. and Kotarba, A. (eds.): Recent Landform Evolution. The Carpatho-Balkan-Dinaric Region.* Springer Geography, XXI pp. 460., ISBN 978-94-007-2448-8.. pp. 249-286. DOI 10.1007/978-94-007-2448-8\_10
- Battarbee, R.W. (1986) Diatom analysis. *In: Berglund, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology.* John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore. pp. 527-570.
- Battarbee, R.W. (2000) Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews* 19:107-124.
- Baumann, E., de Jong, R., & Kamenik, C. (2010) A description of sedimentary chrysophyte stomatocysts from high-Alpine Lake Silvaplana (Switzerland). *Nova Hedwigia* 136: 71-86.
- Bennett KD (2005) Psimpoll manual. <http://www.kv.geo.uu.se/psimpoll.html>. Accessed 12 Feb 2008
- Berger, A. & Loutre, M.F. (1991) Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews* 10: 297-317.
- Betts-Piper, A.M., Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (2004) Distribution and Autecology of Chrysophyte Cysts from High Arctic Svalbard Lakes: Preliminary Evidence of Recent Environmental Change. *Journal of Paleolimnology* 31: 467-481.
- Birks, H.J.B. & Willis, K.J. (2008) Alpines, trees, and refugia in Europe. *Plant Ecology and Diversity* 1: 147-160.
- Bitušík, P Kubovčík, V., Štefková, E., Appleby, P.G., Svitok, M. (2009) Subfossil diatoms and chironomids along an altitudinal gradient in the High Tatra Mountain lakes: a multi-proxy record of past environmental trends. *Hydrobiologia* 631: 65-85.
- Björck, S., Noe-Nygaard, N., Wolin, J., *et al.* (2000) Eemian lake development, hydrology and climate - a multi-stratigraphic study of the Hollerup site in Denmark. *Quaternary Science Reviews* 19: 509-536.
- Björck, S., M.J.C. Walker, L.C. Cwynar, S. Johnsen, K.L. Knudsen, J.J. Lowe, B. Wohlfarth, INTIMATE members (1998) An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record: a proposal by the INTIMATE group. *Journal of Quaternary Science* 13: 283-292.
- Bodor E. (1987) Formation of the Lake Balaton palynological aspects. *In: Pécsi, M., Kordos, L. (eds): Holocene environment in Hungary.* Budapest, Geographical Research Institute Ins. Hungarian Academy of Sciences, Budapest. pp. 77-80.
- Bos, J.A.A., van Geel, B., van der Plicht, J., Bohncke, S.J.P. (2007) Preboreal climate oscillations in Europe: Wiggle-match dating and synthesis of Dutch high-resolution multi-proxy records. *Quaternary Science Reviews* 26: 1927-1950. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.09.012>
- Bourelly, P. (1957) Recherches sur les Chrysophycées. Morphologie, Phylogénie, Systematique. *Rev. Algol. Mém. Hors-Série* 1. pp. 1-412.
- Bradbury, J. P., Cumming, B., & Laird, K. (2002) A 1500-year record of climatic and environmental change in Minnesota III: measures of past primary productivity. *Journal of Paleolimnology* 27: 321-40.
- Braun, M., Hubay, K., Magyari, E.K., Veres, D., Papp, I., Bálint, M. (2013) Using linear discriminant analysis (LDA) of bulk sediment geochemistry data to reconstruct lateglacial climate changes in the South Carpathian Mountains. *Quaternary International*

- 293: 114-122. doi:10.1016/j.quaint.2012.03.025
- Buck, C.E., Christen, J.A., James, G.N. (1999) BCal: an on-line Bayesian radiocarbon calibration tool. *Internet Archaeology* 7 (<http://intarch.ac.uk/journal/issue7/buck/>)
- Buczko, K. (2001) In Memoriam Hajos Márta (1916-2000). *Botanikai Közlemény* 88: 15-32.
- Buczko, K. (2004) Szent Anna cisztái. [Stomatocysts of Lake Saint Anna]. *Élet és Tudomány* 59: 748-750.
- Buczko, K. (2005) Pantocsek J. - <http://www.isdr.org/biography-e.html> on-line publikáció
- Buczko K., Vörös, L. & Cserny, T. (2005) The diatom flora and vegetation of Lake Balaton from sediment cores according to Márta Hajos's legacy. *Acta Botanica Hungarica* 47: 75-115.
- Buczko, K. & Magyari, E. (2006) A Szent Anna-tó a palaeolimnológus szemével. [The Lake Saint Anna in the palaeolimnologists eyes]. *Természet Világa* 137: 570-571.
- Buczko, K. & E. Magyari (2007) The Holocene diatom flora of Lake Saint Anna (Eastern Carpathians, Europe). *Archiv für Hydrobiologie, Algological Studies* 124: 1-28.
- Buczko, K., Magyari, E.K., Bitušik, P. & Wacnik, A. (2009a) Review of dated Late Quaternary palaeolimnological records in the Carpathian Region, east-central Europe *In*: Buczko, K., Korponai, J., Padisák, J. & Starratt, S.W. (eds.): *Palaeolimnological proxies as tools of environmental reconstruction in freshwater, Review of dated Late Quaternary palaeolimnological records in the Carpathian Region, east-central Europe. Hydrobiologia* 631: 3-28. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-009-9800-2>
- Buczko, K., Magyari, E., Soróczki-Pintér, É., Hubay, K., Braun, M. & Bálint, M. (2009b) Diatom-based evidence for abrupt climate changes during the Lateglacial in the South Carpathian Mountains. *Central European Geology* 52: 249-268.
- Buczko K., Magyari E, Stenger-Kovács Cs, Korponai, J. (2009c) The Holocene diatom flora of Zalavári pond (Lake Balaton system, Hungary). *Algological Studies* 132: 35-73.
- Buczko, K., Ognjanova-Rumenova, N. & Magyari, E. (2010) Taxonomy, morphology and distribution of some *Aulacoseira* taxa in glacial lakes in the South Carpathian Region. *Polish Botanical Journal* 55: 149-163.
- Buczko, K., Magyari, E.K., Hübener, T., Braun, M., Bálint, M., Tóth, M. & Lotter, A.F. (2012) Responses of diatoms to the Younger Dryas climatic reversal in a South Carpathian mountain lake (Romania). *Journal of Paleolimnology* 48: 417-431. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-012-9618-1>
- Buczko, K., Magyari, E.K., Braun, M. & Bálint, M. (2013a) Diatom-inferred lateglacial and Holocene climatic variability in the South Carpathian Mountains (Romania). *Quaternary International* 293: 123-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.042>
- Buczko, K., Wojtal, A.Z., Magyari, E.K. (2013b) Late quaternary *Nupela* taxa of Retezat Mts. (S. Carpathians), with description of *Nupela pocsii* sp. nov. (Bacillariophyceae). *Polish Botanical Journal* 58: 427-436. doi: 10.2478/pbj-2013-0059
- Cabała, J. (2005) Chrysophycean stomatocysts from Morskie Oko and Żabie Oko lakes in the Tatra National Park, Poland. *Acta Soc. Bot. Polon.* 74: 305-314.
- Cabała, J. & Piątek, M. (2004) Chrysophycean stomatocysts from the Staw Toporowy Nizni lake (Tatra National Park, Poland). *Annales de Limnologie* 40: 149-165.
- Cărăuș, I. (2012) Algae of Romania - a distributional checklist of acutal algae. *In*: Studii și Cercetări Științifice, Seria Biologie, Universitatea din Bacău, Facultatea de Științe, Catedra de Biologie. Version 2.3 - third revision. 809 pp.
- Catalan, J., Pla, S., García, J. & Camarero, L. (2009a) Climate and CO<sub>2</sub> saturation in an alpine lake throughout the Holocene. *Limnology & Oceanography* 54: 2542-2552.
- Catalan, J., Barbieri, M.G., Bartumeus, F., Bitušik, P., Botev, I., Brancelj, A., Cogălniceanu, D., Manca, M., Marchetto, A., Ognjanova-Rumenova, N., Pla, S., Rieradevall, M.,

- Sorvari, S., Štefková, E., Stuchlík, E., Ventura, M (2009b) Ecological thresholds in European alpine lakes. *Freshwater Biology* 54: 2494-2517. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02286.x
- Catalan, J, Pla-Rabés, S, Wolfe, SP, Smol, JP, Rühland, KM, Anderson, NJ, Kopáček, J, Stuchlík, E, Schmidt, R, Koinig, KA, Camarero, L, Flower, RJ, Heiri, O, Kamenik, C, Korhola, A, Leavitt, PR, Psenner, R, & Renberg, I. (2013) Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology* 49: 513-535.
- Charles, D., Smol, J.P. & Engstrom, D.R. (1994) Paleolimnological approaches to biological monitoring. In: Loeb, S.L. & Spacie, A. (eds.): *Biological monitoring of aquatic systems*. CRC Press, Boca Raton. pp. 233-293.
- Cronberg, G. & Sandgren, C.D. (1986) A proposal for the development of standardized nomenclature and terminology for chrysophycean statospores. In: Kristiansen, J. & Anderson, R. A. (eds.): *Chrysophytes aspects and problems*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 317-328.
- Crutzen, P. J. (2002) Geology of mankind. *Nature* 415: 23.
- Cserny, T. (1987) Results of recent investigations of the Lake Balaton deposits. In: Pécsi, M. & Kordos, L. (eds.): *Holocene environment in Hungary*. Geographical Research Institute Hungarian Academy of Sciences, Budapest. pp. 67-76.
- Cserny, T. (1994) Lake Balaton (Hungary). In: E. Gierlowski-Kordesch & K. Kelts (eds.): *Global Geologic Record of Lake Basins*. Vol. 1. Cambridge University Press. pp. 395-399.
- Cserny, T. & Corrada, R. (1989) Complex geologic investigations of Lake Balaton (Hungary) and its results. *Acta Geologica Hungarica* 32: 117-130.
- Cserny, T., Ikrényi, K., Nagyné-Bodor, E., Hajós, M., Szurominé Korecz, A., Wojnárovits, L-né (1991a) Geological investigations of the lacustrine sediments of Lake Balaton based on the borehole Tó 24. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése*. pp. 177-239.
- Cserny, T., Nagy-Bodor, E. and Hajós, M. (1991b) Contributions to the sedimentology and evolution history of Lake Balaton. In: Pécsi, M. & Schweitzer, F. (eds.): *Quaternary environment in Hungary*. Studies in Geography in Hungary, 26. Akadémiai Kiadó. pp. 75-84.
- Cserny, T., Hertelendi, E. & Tarján, S. (1995) Results of isotope-geochemical studies in the sedimentological and environmental geologic investigations of Lake Balaton. *Acta Geologica Hungarica* 38: 355-376.
- Cserny, T. & E. Nagy-Bodor (2000) Limnogeology of Lake Balaton (Hungary). In Gierlowski-Kordesch, E. H. & K. R. Kelts (eds.). *Lake Basins Through Space and Time: AAPG Studies in Geology* 46: 605-618.
- Cvetkoska, A. (2014) The diatoms as indicators of the palaeolimnological changes in lake Prespa. PhD Thesis, University "Ss Cyril and Methodius" Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Institute of Biology, Skopje
- Davidson, T.A. & Jeppesen, E. (2013) The role of palaeolimnology in assessing eutrophication and its impact on lakes. *Journal of Paleolimnology* 49: 391-410. doi: 10.1007/s10933-012-9651-0
- Dearing, J.A. (1997) Sedimentary indicators of lake-level changes in the humid temperate zone: a critical review. *Journal of Paleolimnology* 18: 1-14.
- de Jong, K., Kamenik, C. (2011) Validation of chrysophyte stomatocysts-based cold-season climate reconstruction from high-Alpine Lake Silvaplana, Switzerland. *Journal of Quaternary Science* 26: 268-275. doi:10.1002/jqs.1451
- de Jong, K., Kamenik, C., Westover, K. & Grosjean, M. (2013) A chrysophyte stomatocyst-based reconstruction of cold-season air temperature from Alpine Lake Silvaplana (AD

- 1500-2003); methods and concepts for quantitative inferences. *Journal of Paleolimnology* 50: 519-533. DOI 10.1007/s10933-013-9743-5
- Dearing, J.A. (1997) Sedimentary indicators of lake-level changes in the humid temperate zone: a critical review. *Journal of Paleolimnology* 18: 1-14.
- Deflandre, G. (1936) Les Flagellés fossiles. Aperçu biologique et paléontologique. Rôle géologique. *Actual. Sc. And Indust. Expos. Geol.*: 355: 8-97.
- Dixit, S. S., Dixit, A. S. & Smol, J. P. (1989) Relationship between chrysophyte assemblages and environmental variables in seventy-two Sudbury lakes as examined by canonical correspondence analysis (CCA). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 1167-1176.
- Dobiński, W. (2005) Permafrost of the Carpathians and Balkan Mountains, eastern and southeastern Europe. *Permafrost and Periglacial Processes* 16: 395-398. DOI:10.1002/ppp.524
- Douglas, M.S.V. & Smol, J.P. (1999) Freshwater diatoms as indicators of environmental change in the High Arctic. In: Stoermer, E.F. and Smol, J.P. (eds): *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 227-244.
- Dreßler, M., Schwarz, A., Hübener, T., Adler, S. & W. Scharf B. (2011) Use of sedimentary diatoms from multiple lakes to distinguish between past changes in trophic state and climate: evidence for climate change in northern Germany during the past 5,000 years. *Journal of Paleolimnology* 45: 223-241.
- Duff, K.E. & Smol, J.P. (1994) Chrysophycean cyst flora from British Columbia (Canada) lakes. *Nova Hedwigia* 58: 353-389.
- Duff, K.E. & Smol, J.P. (1995) Chrysophycean cyst assemblages and their relationship to water chemistry in 71 Adirondack Park (New York, USA) lakes. *Archiv für Hydrobiologie* 134: 307-336.
- Duff, K.E., Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (1995) *Atlas of Chrysophycean Cysts*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Netherlands, 189 pp.
- Emery, G.R. & Broussard, D.E. (1954) A modified Kullenberg piston corer. *Journal of Sedimentary Petrology* 24: 207-211.
- Facher, E. & Schmidt, R. (1996) A siliceous chrysophycean cyst-based pH transfer function for Central European lakes. *Journal of Paleolimnology* 16: 275-321.
- Feurdean, A., Mosbrugger, V., Onac, P. B., Polyak, V., Veres, D. (2007a): Younger Dryas to mid-Holocene environmental history of the lowlands of NW Transylvania, Romania. *Quaternary Research* 68: 364-378.
- Feurdean A., B., Wohlfarth, L., Björkman, I., Tantau, O., Bennike, K.J., Willis, S., Farcas, A.M., Robertsson (2007b) The influence of refugial population on Lateglacial and early Holocene vegetational changes in Romania. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145: 305-320.
- Firsova, A.D., Vorobyova, S.S. & Likhoshway, Y.V. (2012) Chrysophycean Stomatocysts in the Upper Pleistocene and Holocene Sediments from Lake Hovsgol, Northern Mongolia. *International Journal of Geosciences* 3: 664-674. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.34067>
- Fleitmann, D., Mudelsee, M., Burns, St. J., Bradley, R. S., Kramers, J., Matter, A. (2008) Evidence for a widespread climatic anomaly at around 9.2 ka before present. *Paleocoenography* 23:1-6.
- Fritz, S.C., Cumming, B.F., Gaisse, F. & Laird, K.R. (2010) Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline lakes. In: Smol, J.P. & Stoermer, E.F. (eds.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Second Edition. Cambridge University Press. 687 Cambridge. pp. 186-228.

- Gaiser EE, Brooks MJ, Kenney W, Schelske CL, Taylor BE (2004) Interpreting the hydrologic history of a temporary pond using siliceous microfossils. *Journal of Paleolimnology* 31: 63-76.
- Gavin D.G., Andrew C.G. Henderson, A. C.G., Westover, K.S., Fritz, S.C., Walker, I.R., Leng, M.J., Hu F.S. (2011) Abrupt Holocene climate change and potential response to solar forcing in western Canada. *Quaternary Science Reviews* 30: 1243-1255.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2015) *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on Jan 5th 2015
- Hajós, M. (1986) A magyarországi miocén diatómás képződmények rétegtana. (Stratigraphy of Hungary's Miocene diatomaceous earth deposits). *Geologica Hungarica, Series Palaeontologica* 49: 1-339.
- Hamilton, P.B., de Haan, M., Kopalová, K., Zidarova, R., de Vijver B. (2013) An evaluation of selected *Neidium* species from the Antarctic region. *Diatom Research* 29: 27-40. DOI: 10.1080/0269249X.2013.822020
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25: 101-110.
- Heiri, O., Koinig, K. A., Spötl, C., Barrett, S., Brauer, A., Drescher-Schneider, R., Gaar, D., Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Luetscher, M., Moran, A., Nicolussi, K., Preusser, F., Schmidt, R., Schoeneich, P., Schwörer, C., Sprafke, T., Terhorst, B., Tinner, W. (2014) Palaeoclimate records 60-8 ka in the Austrian and Swiss Alps and their forelands. *Quaternary Science Reviews* 106: 186-205. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.05.021>
- Huber, K., Kamenik, C., Weckström, K. & Schmidt, R. (2009) Taxonomy, stratigraphy, and palaeoecology of chrysophyte cysts from a Late Glacial sediment core section of Längsee, Austria. *Nova Hedwigia* 89: 245-261.
- IPCC (2001) Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) Third Assessment Report. The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>)
- Jancsik, P. (2009) *A Retyezát-hegység (The Retezat Mountains)*. Pallas-Akadémia Könyvkiadó, Csíkszereda. 140 pp.
- Jeppesen, E., Jensen, J. P., Sondergaard, M., Lauridsen, T., & Landkildehus, F. (2000) Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45: 201-218.
- Jones, T.D., Lawson, I. T., Reed, J.M., Wilson, G. P., Leng, M. J., Gierga, M., Bernasconi, S. M., Smittenberg, R. H., Hajdas, I., Bryant, C.L., Tzedakis, P. C. (2013) Diatom-inferred late Pleistocene and Holocene palaeolimnological changes in the Ionnina basin, northwest Greece. *Journal of Paleolimnology* 49: 185-204.
- Juggins, S. (2001) The European Diatom Database. User Guide. [craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp](http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp).
- Juhász, I. (2007) The pollen sequence from Szigliget. In: Zatykó Cs., Juhász I., Sümegei P. (eds.): *Environmental Archaeology in Transdanubia (Hungary)*. Budapest: MTA Régészeti Intézete. pp. 69-77.
- Julius, M.L. & Theriot, E.C. (2010) The diatoms: a primer. In: Smol, J.P. & Stoermer, E.F. (eds.): *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 8-22.
- Kamenik, C. & Schmidt, R. (2005) Chrysophyte resting stages: A tool for reconstructing winter/spring climate from Alpine lake sediments. *Boreas* 34: 477-489.

- Kamenik, C., Schmidt, R., Koinig, K.A., Agusti-Panareda, A., Thompson, R. & Psenner, R. (2001) The chrysophyte stomatocyst composition in high alpine lake (Gossenköllesee, Tyrol) in relation to seasonality, temperature and land-use. *Nova Hedwigia* 122: 1-22.
- Kamenik, C. (2010) Stom@ocysts & Co - web applications to bring the research community together via the Internet. *Nova Hedwigia* 136: 311-323.
- Kern, Z., Balogh, D., Nagy, B. (2004) Investigations for the actual elevation of the mountain permafrost zone on postglacial landforms in the head of Lăpunicu Mare Valley, and the history of deglaciation of Ana Lake - Judele Peak region, Retezat Mountains, Romania. *Analele Universităţii de Vest din Timişoara. Geografie* 14: 119-132.
- Kiss, K.T. (1998) Bevezetés az algológiába. Egyetemi tankönyv. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. pp. 57-67.
- Köning, E., Epping, E., van Raaphorst, W. (2002) Determining biogenic silica in marine samples by tracking silicate and aluminium concentrations in alkaline leachingsolutions. *Aquatic Geochemistry* 8: 37-67.
- Korponai, J., Paulovits, G., Matyas, K., Tatrai, I. (2003) Long-term changes of cladoceran community in a shallow hypertrophic reservoir in Hungary. *Hydrobiologia* 504: 193-201.
- Korponai, J., Braun, M., Buczkó, K., Gyulai, I., Forró, L., Nédli, J., Papp, I. (2010) Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavári Pond, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia* 641: 225-244.
- Korponai, J., Varga, K., Lengré, T., Papp, I., Tóth, A., Braun, M. (2011) Paleolimnological reconstruction of the trophic state in Lake Balaton (Hungary) using Cladocera remains. *Hydrobiologia* 676: 237-248.
- Korponai, J., Magyari, E.K., Buczkó, K., Iepure, S., Namiotko, T., Czakó, D., Kövér, Cs., Braun, M. (2011) Cladocera response to Late Glacial to Early Holocene climate change in a South Carpathian mountain lake. *Hydrobiologia* 676: 223-235. doi: 10.1007/s10750-011-0881-3
- Krabbenhoft, D. P. & Webster, K. E. (1995) Transient hydrological controls on the chemistry of a seepage lake. *Water Resources Research* 31: 2295-2305.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986-1991) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1-4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena.
- Kräutner, Th. (1930) Observaţiuni geologice în Munţii Bistriţei şi Bârgăului. *D. S. Inst. Geol., XIV* (1925-1926), Bucureşti.
- Kristiansen, J. (2005) Golden algae. A biology of Chrysophytes. A.R.G: Gantner Verlag K.G. 167 pp.
- Kristiansen, J. & Andersen, R. A. (1986) Chrysophytes: aspects and problems. Cambridge University Press, Cambridge. 337 pp.
- Lange-Bertalot, H. & Krammer, K. (1989) Achnanthes. Eine Monographie der Gattung. *Bibliotheca Diatomologica*, 18. Cramer. Berlin, Stuttgart. 393 pp.
- Lange-Bertalot, H. & Metzeltin, D. (1996) Indicators of oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types. *In: Lange-Bertalot, H. (ed.): Iconographia Diatomologica, Annotated Diatom Micrographs 2.* Koeltz Scientific Books, Königstein. 390 pp.
- Lange-Bertalot, H. (2001) *Navicula sensu stricto*. 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*. *Frustulia. Diatoms of Europe 2*, A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell. 526 pp.
- Lehmann, P.W. (1885) Die Südkarpaten zwischen Retezat und Königstein. *Zeitschrift der Gesellschaft Für Erdkunde Berlin XX*: 325-336, 346-364.
- Leps, J. & Šmilauer, P. (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO* - Cambridge University Press. 283 pp.
- Lóczy, L. (1904) A Retezat tavairól. *Földrajzi Közlemények XXXII*: 224-233.

- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W., Marchetto, A. (1997) Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology* 18: 395-420.
- Lotter, A. F., Bigler, C. (2000) Do diatoms in the Swiss Alps reflect the length of ice-cover? *Aquatic Sciences* 62: 125-141.
- Lotter, A.F., Appleby, P.G., Bindler, R., Dearing, J.A., Grytnes, J-A., Hofmann, W., Kamenik, C., Lami, A., Livingstone, D.M., Ohlendorf, C., Rose, N. & Sturm, M. (2002) The sediment record of the past 200 years in a Swiss high-alpine lake: Hagelseewli (2339 m a.s.l.). *Journal of Paleolimnology* 28: 111-127. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1020328119961>
- Lotter, A.F. & Hofmann, G. (2003) The development of the late-glacial and Holocene diatom flora in Lake Sedmo Rilsko Rila Mountains, Bulgaria). *In: Tonkov, S. (ed.): Aspects of Palaeoecology*. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow. pp. 171-183.
- Lotter, A.F. & Birks H. J. B. (2003) The Holocene palaeolimnology of Sägistalsee and its environmental history - a synthesis. *Journal of Paleolimnology* 30: 333-342.
- Lotter, A.F., Pienitz, R. & Schmidt, R. (2010) Diatoms as indicators of environmental change in subarctic and alpine regions. Smol, J.P. & Stoermer, E.F. (eds.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Second Edition. Cambridge University Press. 687 Cambridge. pp. 231-248.
- Lowe, R.L., Kociolek, P., Johansen, J.R., Van de Vijver, B., Lange-Bertalot, H. & Kopalová, K. (2014) *Humidophila* gen.nov., a new genus for a group of diatoms (Bacillariophyta) formerly within the genus *Diademsis*: species from Hawai'i, including one new species. *Diatom Research* 29: 351-360.
- Mackay, A.W., Jones, V.J., Battarbee, R.W. (2003) Approaches to Holocene climate reconstruction using diatoms. *In: Mackay, A.W., Battarbee, R.W., Birks, H.J.B., Oldfield, F. (eds.): Global Change in the Holocene*. Published by Arnold. pp. 294-309.
- Magny et al. (2013) North-south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene: tentative synthesis and working hypotheses. *Climate of the Past* 9: 2043-2071. [www.clim-past.net/9/2043/2013/](http://www.clim-past.net/9/2043/2013/) doi:10.5194/cp-9-2043-2013
- Magyari, E.K., Buczkó, K., Jakab, G., Braun, M., Pál, Z., Karátson, D. & Papp, I. (2009a) Palaeolimnology of the last crater lake in the Eastern Carpathian Mountains: a multiproxy study of Holocene hydrological changes. *Hydrobiologia* 631: 29-63. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-009-9801-1>
- Magyari, E.K., Braun, M., Buczkó, K., Hubay, K. & Bálint, M. (2009b) Radiocarbon chronology of glacial lake sediments in the Retezat Mts (S Carpathians, Romania): a window to Lateglacial and Holocene climatic and palaeoenvironmental changes. *Central European Geology* 52: 225-248.
- Magyari, E.K., Jakab, G., Bálint, M., Kern, Z., Buczkó, K. & Braun, M. (2012) Rapid vegetation response to lateglacial and early Holocene climatic fluctuation in the South Carpathian Mountains (Romania). *Quaternary Science Reviews* 35: 116-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.006>
- Magyari, E.K., Demény, A., Buczkó, K., Kern, Z., Vennemann, T., Fórizs, I., Vincze, I., Braun, M., Kovács, J.I., Udvardi, B. & Veres, D. (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. doi:10.1016/j.quaint.2012.05.042
- Marchetto, A., Colombaroli, D. & Tinner, W. (2008) Diatom response to mid-Holocene climate change in Lago di Massaciuccoli (Tuscany, Italy). *Journal of Paleolimnology* 40: 235-245.

- de Martonne, Emm. (1907) Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie (Karpates méridionales). *Révue de Géographie Annuelle* I. 286 pp.
- Miháltz-Faragó, M. (1983) Palynological Examination of Bottom Samples from Lake Balaton. *Földtani Intézet Évi Jelentése* 1981-ről. pp. 439-448.
- North Greenland Ice Core Project members (2004) High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431: 147-151. doi:10.1038/nature02805. Supplementary Data
- Niculescu, Gh. (1971) Munții Țarcu. Caracterizare geomorfologică. *Lucrările Științifice Insitutul Pedagogic Oradea. Geografie*: 45-54.
- Niculescu, Gh., Nedelcu, E., Iancu, S. (1983) Glaciația și relieful glaciatic. In: *Geografia României I-Geografia fizică*, Edit. Academiei, București. pp. 136-141.
- Nygaard, G. (1956) Ancient and recent flora of diatoms and Chrysophyceae in Lake Gribso. *Folia Limnologica Scandinavica* 8: 32-262.
- Ognjanova-Rumenova, N., Botev, I., Kernan, M. (2009) Benthic diatom flora in relation to chemical and physical factors in high mountain lakes in the Rila Mountains (Southwestern Bulgaria). *Archive für Hydrobiologie, Advances in Limnology* 62: 153-166.
- Padisák, J. Soróczki-Pintér, É. & Reznér, Zs. (2003) Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton - an experimental study *Hydrobiologia* 500: 243-257.
- Pantocsek, J. (1901) Die Kieselalgen oder Bacillarien des Balaton. Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees. II. Budapest, Pls. 1-17 (Figs. 1-377). 112 pp.
- Pantocsek, J. (1912) A Fertő-tó kovamoszat viránya (Bacillariae lacus Peisonis.) - Pozsonyi Orvos-Természettud. Egyesület közlem. Neue Folge, Buchdruckerei C.F. Wigand., Pozsony. *Verhandlungen des Vereins für Natur-und Heilkunde* 22: 3-48.
- Pantocsek, J. (1913) A Balaton fenékalatti mederfúrások sorozatai mélységi próbáiban talált Bacilláriák táblázatos kimutatása./Tabular presentation of the diatoms found in the samples of the serial deep borings under the bottom of the Lake Balaton. *A Balaton Tudományos Tanulmányozásának Eredményei*. Magyar Földrajzi Társaság Balaton Bizottsága, Budapest, Vol.1.Part 2. Section 1, Supplement, 4. 563 pp.
- Péterfi, L.Št. (1967) Studies on the Rumanian Chrysophyceae. I. *Nova Hedwigia* 13: 117-137.
- Péterfi, L.Št. (1974) Preliminary notes on the subfossil and recent diatom flora of the Zănoaga peat bog from the Retezat Mountains. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Cluj. Series Biologia* 19: 5-17.
- Pla, S. (1999) The Chrysophycean cysts from the Pyrenees and their applicability as paleoenvironmental indicators. Ph.D. thesis, Univ. Barcelona, Dep. D'Ecologia. 277 pp.
- Pla, S. (2001) Chrysophycean cysts from the Pyrenees. *Bibliotheca Phycologica*, Band 109. Cramer, Berlin, Germany. 179 pp.
- Pla, S. & Anderson, N.J. (2005) Environmental factors correlated with chrysophyte cyst assemblages in low arctic lakes of south-west Greenland. *Journal of Phycology* 41: 957-974.
- Pla, S. & Catalan, J. (2005) Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics* 24: 263-278.
- Pla-Rabes, S. & Catalan, J. (2011) Deciphering chrysophyte responses to climate seasonality. *Journal of Paleolimnology* 46: 139-150. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-011-9529-6>
- Podani, J. (1997) Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe. Scientia Kiadó, Budapest. 227 pp.

- Preisig, H. R. (1995) A modern concept of chrysophyte classification. In Sandgren, C. D. et al. (eds.) *Chrysophyte Algae: Ecology, Phylogeny and Development*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 46-74.
- Quillen, A.K. A. K., Gaiser E.E & Grimm E. C. (2011) Diatom-based paleolimnological reconstruction of regional climate and local land-use change from a protected sinkhole lake in southern Florida, USA. *Journal Paleolimnology* 49: 15-30. DOI 10.1007/s10933-011-9558-1
- R Development Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Ragueneau, O., Savoye, N., Del Amo, Y., Cotten, Y., Tardiveau, B., Leynaert, A. (2005) A new method for the measurement of biogenic silica in suspended matter of coastal waters: using Si:Al ratios to correct for the mineral interference. *Continental Shelf Research* 25: 697-710.
- Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Burr GS, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hajdas I, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, McCormac FG, Manning SW, Reimer RW, Richards DA, Southon JR, Talamo S, Turney C, van der Plicht J, Weyhenmeyer CE (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51: 1111-1150.
- Reuther, A., Urdea, P., Geiger, C., Niller, H. P. & Heine, K. (2004). Determining the glacial equilibrium line altitude (ELA) for the northern Retezat Mountains, Southern Carpathians and resulting paleoclimatic implications for the last glacial cycle. *Analele Universității de Vest din Timișoara, Timișoara. Geografie* 14: 11-34.
- Reuther, A., Urdea, P., Geiger, C., Ivy-Ochs, S., Niller, H. P., Kubik, P. W., Heine, K. (2007) Late Pleistocene glacial chronology of the Pietrele Valley, Retezat Mountains, Southern Carpathians constrained by <sup>10</sup>Be exposure ages and pedological investigations. *Quaternary International* 164-165: 151-169.
- Rott, E. (1988) Some aspects of the seasonal distribution of flagellates in mountain lakes. *Hydrobiologia* 161: 159-170.
- Sandgren, C. D. (1988) Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. 442 pp.
- Sandgren, C.D. (1991) Chrysophyte reproduction and resting cysts: a paleolimnologist's primer\*. *Journal of Paleolimnology* 5: 1-9.
- Schmidt, R., Kamenik, C., Lange-Bertalot, H., Klee, R. (2004) *Fragilaria* and *Staurosira* (*Bacillariophyceae*) from sediment surfaces of 40 lakes in the Austrian Alps in relation to environmental variables, and their potential for palaeoclimatology. *Journal of Limnology* 63: 171-189.
- Schmidt, R., Kamenik, C., Tessadri, R. & Koinig, K.A. (2006) Climatic changes from 12,000 to 4,000 years ago in the Austrian Central Alps tracked by sedimentological and biological proxies of a lake sediment core. *Journal of Paleolimnology* 35: 491-505.
- Schmidt, R., Kamenik, C., Roth, M. (2007) Siliceous algae-based seasonal temperature inferences and indicator pollen tracking 4,000 years of climate/land-use interactions in the southern Austrian Alps. *Journal of Paleolimnology* 38: 541-554. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-007-9089-y>
- Schwander, J., Eicher, U. & Ammann, B. (2000) Oxygen isotopes of lake marl at Gerzensee and Leysin (Switzerland), covering the Younger Dryas and two minor oscillations, and their correlation to the GRIP ice core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 159: 203-214.

- Sherer, R.P. (1988) Freshwater diatom assemblages and ecology/palaeoecology of the Okefenokee swamp/marsh complex, southern Georgia, USA. *Diatom Research* 3: 129-157.
- Smol, J. P. (1985) The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: A useful paleolimnological index. *Hydrobiologia* 123: 199-208.
- Smol, J.P. (1990) Diatoms and chrysophytes - a useful combination in paleolimnological studies. In: Simola, H. (ed.): *Proceedings of the 10th International Diatom Symposium*. Koeltz Scientific Books, Koenigstein. pp. 585-592.
- Soróczki-Pintér, É., Buczkó, K., Braun, M. & Magyari, E.K. (2012) Késő-glaciális és Holocén vízszintváltozások a Retyezátban egy gleccsertó kovaalga összetétele alapján. *Hidrológiai Közlöny* 92: 64-67.
- Soróczki-Pintér, É., Magyari, E.K. & Buczkó, K. (2013) Preuve fondée sur les algues siliceuses de l'augmentation du niveau d'eau et du refroidissement à court terme autour de 9.2-ka dans les Carpates du Sud, Roumanie. (Siliceous algae based evidence for short-term lake level increase and cooling around 9.2-ka BP in the South Carpathian Mountains, Romania). In.: Rimet, F., Bouchez, A., Ector, L. & Montuelle, B. (eds.) INRA Science and Impact, 7th Central European Diatom Meeting (CE-Diatom) - 32nd meeting of the French-Speaking Diatomists Association (ADLaF), Thonon-les-Bains, France, 16-20 sept. 2013. ISSN 978-2-7466-6166-0 pp. 77-80.
- Soróczki-Pintér, É., Pla-Rabes, S., Magyari, E.K., Stenger-Kovács, Cs. & Buczkó, K. (2014) Late Quaternary Chrysophycean stomatocysts in a Southern Carpathian mountain lake, including the description of new forms (Romania). *Phytotaxa* 170: 169-186. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.170.3.3>
- Spaulding, S. A., Lubinski, D. J. & Potapova, M. (2010) Diatoms of the United States. 1., <http://westerndiatoms.colorado.edu>
- Stewart, K., Gregory-Eaves, I., Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (2000) Covariation among Alaskan chrysophyte stomatocyst assemblages and environmental gradients: A comparison with diatom assemblages. *Nordic Journal of Botany* 20: 357-368.
- Szemes, G. (1957) Die Diatomeen des Balatonsees. (A Balaton kovamoszatai.). *Annales Biol. Tihany* 24: 193-270.
- Szurominé Korecz, A. & Nagyné Bodor, E. (1999) A Szemesi-medence fejlődéstörténete a Tó-25. számú mederfúrás ostracoda és sporomorpha vizsgálata alapján. *Hidrológiai Közlöny* 79: 383-385.
- Taylor, F., Whitehead, J. & Domack E. (2001) Holocene paleoclimate change in the Antarctic Peninsula: evidence from the diatom, sedimentary and geochemical record. *Marine Micropaleontology* 41: 25-43.
- Theurillat, J.-P., Felber, F., Geissler, P., Gobat, J.-M., Fierz, M., Fischlin, A. et al. (1998) Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change. In: Cebon, P., Dahinden, P., Davies, H.C., Imboden D., Jaeger, C.C. (eds.): *Views from the Alps*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. pp. 225-308.
- Tinner W & Kaltenrieder P (2005) Rapid responses of high-mountain vegetation to early Holocene environmental changes in the Swiss Alps. *Journal of Ecology* 93: 936-947.
- Tóth, M., Magyari, E., Brooks, S., Braun, M., Buczkó, K., Bálint, M. & Heiri, O. (2012) A chironomid-based reconstruction of late glacial summer temperatures in the southern Carpathians (Romania). *Quaternary Research* 77: 122-131. doi: 10.1016/j.yqres.2011.09.005
- Tullner, T. & T. Cserny (2003) New aspects of lake-level changes: Lake Balaton, Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 46: 215-238.
- Urdea, P. (1993) Consideratii asupra manifestarii glaciatiei cuaternare in Muntii Retezat. - *Studii si cercetari de geografie* 60: 65-72.

- Urdea, P. (2000) Muntii Retezat. Studiu geomorfologic. - Editura Academiei, Bucuresti. 272 pp.
- Urdea, P. (2004) The Pleistocene glaciation of the Romanian Carpathians. In: Ehlers, J., P.L. Gibbard (eds.): *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam. pp. 301-308.
- Urdea, P. & Reuther, A. U. (2009) Some new data concerning the Quaternary glaciation in the Romanian Carpathians. *Geographica Pannonica* 13: 41-52.
- Vadeboncoeur, Y., Peterson, G., Vander Zanden, M. J., and Kalff, J. (2008) Benthic algal production across lake size gradients: interactions among morphometry, nutrients, and light. *Ecology* 89 2542-2552.
- Van Dam, H., Mertens, A. & Sinkeldam, J. (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133.
- Van de Vijver, B. & Beyens, L. (1997a) The Chrysophyte Stomatocyst Flora of the Moss Vegetation from Strømness Bay Area, South Georgia. *Archiv für Protistenkunde* 148: 505-520.
- Van de Vijver, B. & Beyens, L. (1997b) The Subfossil Chrysophyte Cyst Flora of Some Peat Samples from Kerguelen Islands. *Archiv für Protistenkunde* 148: 491-503.
- Vespremeanu-Stroe, A., Urdea, P., Popescu, R., Vasile, M. (2012) Rock glacier activity in the Retezat Mountains, Southern Carpathians, Romania. *Permafrost and Periglacial Processes* 23: 127-137. DOI: 10.1002/ppp.1736
- Víz KeretIrányelv (2000) Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpólitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. [http://www.euvki.hu/02\\_eu\\_vki.html](http://www.euvki.hu/02_eu_vki.html)
- Walker, M.J.C., M. Berkelhammer, S. Björck, L.C. Cwynar, D.A. Fisher, A.J. Long, J.J. Lowe, R.M. Newnham, S.O. Rasmussen, & H. Weiss (2012) Formal subdivision of the Holocene Series/ Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science* 27: 649-659.
- Wilkinson, A.N., Zeeb, B.A., Smol, J.P., & Douglas, M.S.V. (1997) Chrysophyte stomatocyst assemblages associated with periphytic, high Arctic pond environments. *Nordic Journal of Botany* 17: 95-112.
- Wilkinson, A.N. & Smol, J.P. (1998) Chrysophycean stomatocyst flora from south-central Ontario lakes. *Canadian Journal of Botany* 76: 836-862.
- Wilkinson, A.N., Zeeb, B. & Smol, J.P. (2001) *Atlas of Chrysophycean Cysts, Volume II*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 180 pp.
- Wojtal, A. Z., Ognjanova-Rumenova, N., Wetzell, C. E., Hinz, F., Piątek, J., Kapetanovic, T., Ector, L. & Buczkó, K. (2014) Diversity of the genus *Genkalia* (Bacillariophyta) in boreal and montane lakes - taxonomy, distribution and ecology. *Fottea* 14: 225-239.
- Wolfe AP (2002) Climate modulates the acidity of Arctic lakes on millennial time scales. *Geology* 30: 215-218.
- Wolin, J. A. (1996) Late Holocene lake-level fluctuations in Lower Herring Lake, Michigan, U.S.A. *Journal of Paleolimnology* 15: 19-45.
- Wolin, J. A. & Stone, J.R. (2010) Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. In: Smol, J.P. & Stoermer, E.F. (eds.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 174-185.

- Zeeb, B.A., Duff, K.E. & Smol, J.P. (1990) Morphological descriptions and stratigraphic profiles of chrysophycean stomatocysts from the recent sediments of Little Round Lake, Ontario. *Nova Hedwigia* 51: 361-380.
- Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (1995) A weighted-averaging regression and calibration model for inferring lakewater salinity using chrysophycean stomatocysts from lakes in western Canada. *International Journal of Salt Lake Research* 4: 1-23. DOI: [10.1007/BF01992411](https://doi.org/10.1007/BF01992411)
- Zeeb, B.A., Duff, K.E., & Smol, J.P. (1996) Recent advances in the use of chrysophycean stomatocysts in paleoecological studies. *Nova Hedwigia* 114: 247-253.
- Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (2001) Chrysophyte scales and cysts. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M. (eds.): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 203-223.

## 11 Tudományos tevékenység adatai

<p><i>Publikációk</i></p>	<p><u>Az értekezés témájához kapcsolódó magyar nyelvű közlemény:</u></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>, Buczkó K., Braun M., Magyar E. (2012) Késő-glaciális és Holocén vízszintváltozások a Retyezátban egy gleccsertő kovaalga összetétele alapján. <i>Hidrológiai Közlöny</i> 92: 64-67.</p> <p><u>Az értekezés témájához kapcsolódó idegen nyelvű közlemények jegyzéke:</u></p> <p>Padisák, J., <b>É. Soróczki-Pintér</b> &amp; Zs. Rezner (2003) Sinking properties of some phytoplankton shapes and relation of form resistance to morphological diversity of plankton - an experimental study. <i>Hydrobiologia</i> 500: 243-257. <b>IF: 0.72</b></p> <p>K. Buczkó, E. Magyar, <b>É. Soróczki-Pintér</b>, K. Hubay, M. Braun M. Bálint (2009) Diatom-based evidence for abrupt climate changes during the Lateglacial in the Southern-Carpathian Mountains. <i>Central European Geology</i> 52: 249-268. DOI: 10.1556</p> <p><b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Magyar, E.K. &amp; Buczkó, K. (2013) Preuve fondée sur les algues siliceuses de l'augmentation du niveau d'eau et du refroidissement à court terme autour de 9.2-ka dans les Carpates du Sud, Roumanie. (Siliceous algae based evidence for short-term lake level increase and cooling around 9.2-ka BP in the South Carpathian Mountains, Romania). <i>In.</i>: Rimet, F., Bouchez, A., Ector, L. &amp; Montuelle, B. (eds.): INRA Science and Impact, 7th Central European Diatom Meeting (CE-Diatom) - 32nd meeting of the French-Speaking Diatomists Association (ADLaF), Thonon-les-Bains, France, 16-20 sept. 2013. ISSN 978-2-7466-6166-0. pp. 77 -80.</p> <p><b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Pla-Rabes, S., Magyar, E.K., Stenger-Kovács, Cs. &amp; Buczkó, K. (2014) Late Quaternary Chrysophycean stomatocysts in a Southern Carpathian mountain lake, including the description of new forms (Romania). <i>Phytotaxa</i> 170: 169-186. <a href="http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.170.3.3">http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.170.3.3</a> <b>IF: 1,797</b></p> <p><u>A szerző egyéb magyar nyelvű közleményeinek jegyzéke:</u></p> <p>Padisák, J., <b>Soróczki Pintér, É.</b> &amp; Zámbóné Doma, Zs. (2003) A fitoplankton diverzitása, tér- és időbeli mintázata a Balatonban 2002-ben. <i>In:</i> Mahunka, S. &amp; Banczerowski, J. (szerk.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Budapest: MTA. ISSN 1419-1075. pp. 35-42.</p> <p>Padisák, J., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Hajnal, É. &amp; Zámbóné-Doma, Zs. (2004) A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata 2003-ban. <i>In:</i> Mahunka, S. &amp; Banczerowski, J. (szerk.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. Budapest: MTA-Amulett'98. pp. 16-26.</p> <p>Padisák, J., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Hajnal, É. &amp; Zámbóné-Doma, Zs. (2005) A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata 2004-ben. <i>In:</i> Mahunka, S. &amp; Banczerowski, J. (szerk.) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. Budapest: MTA-Amulett'98. pp. 16-26.</p> <p>Kovács, Zs., Kovács, Cs., Királykúti, I., <b>Soróczki-Pintér, É.</b> &amp; Padisák, J. (2005) A magyarországi folyóvizek csoportosítása az EU Víz Keretirányelv tipológiai követelményei szerint. <i>Hidrológiai Közlöny</i> 85: 78-80.</p> <p><b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Királykúti, I., Kovács, Zs., Padisák, J. &amp; Varanka, I. (2006) Balatoni befolyók vízkémiai jellegének vizsgálata. <i>Hidrológiai Közlöny</i> 86: 113-115.</p> <p>Padisák, J., É. Ács, G. Borics, K. Buczkó, I. Grigorszky, Cs. Kovács, J. Mádl-Szőnyi &amp; <b>É. Soróczki-Pintér</b> (2006) A Víz Keretirányelv és a vízi habitatdiverzitás konzervációbiológiai vonatkozásai. <i>Magyar Tudomány</i> 167: 663-669.</p> <p>Stenger-Kovács Cs., Bíró P., <b>Soróczki-Pintér É.</b>, Padisák J. (2008) A Balaton</p>
---------------------------	--

	<p>befolyóinak ökológiai állapota a bevonatlakó kovaalgák alapján. <i>Hidrológiai Közöny</i> 88: 192-195.</p> <p>Padisák J.; Hajnal É.; <b>Soróczki-Pintér É.</b>; Kiss G.; Zábóné Doma Zs. (2009) A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata. <i>In: Biró P; Banczerowski J (szerk.) A Balaton-kutatások fontosabb eredményei 1999-2009.</i> 194 p. Budapest: MTA. ISBN:9789635085842 pp. 61-69.</p> <p><u>A szerző egyéb idegen nyelvű közleményeinek jegyzéke:</u></p> <p>Borics, G., Balogh, Cs., <b>Soróczki-Pintér, E.</b>, Grigorszky, I.: Impact of the changes in suspended solid content on the trophic status of some rivers in east Hungary. <i>Water and Protection of Aquatic Environment in the central basin of the Danube. Konferencia kötet In: Proc. of IV<sup>th</sup> Hydro Conference Subotica.</i> pp. 227-238.</p> <p>Padisák, J., I. Grigorszky, G. Borics &amp; <b>É. Soróczki-Pintér</b> (2006) Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. <i>Hydrobiologia</i> 553: 1-14. <b>IF: 1.049</b></p> <p>Padisák, J., Molnár, G., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Hajnal, É. &amp; D. G. George (2006) Four consecutive dry years in Lake Balaton (Hungary): consequences for phytoplankton biomass and composition. <i>Verh. Internat. Verein. Limnol.</i> 29: 1153-1159.</p> <p>Stenger-Kovács, C., Padisák, J., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Ács, É., Borics, G., Buczkó, K. &amp; van Dam, H. (2006) The effect of hydro-morphological modifications of streamflow on compositional features of attached diatom assemblages in Hungarian streams. <i>In: Ács, É., K. T. Kiss, J. Padisák &amp; K. É. Szabó (eds) 6th International Symposium on Use of Algae for monitoring Rivers.</i> Hungarian Algological Society, Göd, ISBN: 963 06 0497 3. pp. 139-145.</p> <p>van Dam H; Stenger-Kovács, C.; Ács É.; Borics, G.; Buczkó, K.; Hajnal, É.; <b>Soróczki-Pintér, É.</b>; Várbíró, G.; Tóthmérész, B.; Padisák, J. (2007) Implementation of the European Water Framework Directive: Development of a system for water quality assessment of Hungarian running waters with diatoms. <i>Archiv für Hydrobiologie Suppl.</i> 161, Large Rivers 17:339-383. <b>IF: 1.324</b></p>
<p><i>Prezentációk</i></p>	<p><u>Az értekezés témájához kapcsolódó magyar nyelvű előadások jegyzéke:</u></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>: Kovaalgák jelentősége a paleolimnológiai állapotrekonstrukciókban. „Aktuális eredmények a kriptogám növények kutatásában” konferencia. Eger, 2010. május 21. <b>Előadás</b></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>, Buczkó K., Magyar E.: Késő-glaciális és Holocén vízsztintváltozások a Retyezátban egy gleccsertő kovaalga összetétele alapján. LIII. Hidrobiológus Napok. Tihany, 2011. október 5-7. <b>Előadás</b></p> <p>Buczkó, K., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Braun, M., Hubay, K., Magyar, E.K.: Az elmúlt 15 ezer év környezeti változásainak lenyomata két retyezáti gleccsertő kovaalgáin. <i>In: Bosnakoff M., Dulai, F. &amp; Pálfy J. (eds): Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető 14. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés.</i> Magyarhoni Földtani Társulat. Szeged, 2011. június 2-4. pp. 11-13. <b>Előadás</b></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>: Fosszilis Chrysophyta sztomatociszták vizsgálata hegyvidéki tavak (Dél-Kárpátok, Románia) üledékszelveiben. Pannon Tudományos Nap. Nagykanizsa, 2013. október 17. <b>Előadás</b></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>, Magyar E.K., Buczkó K. : 9200 évvel ezelőtti lehülés: Hogyan befolyásolta a gyors éghajlatváltozás a fosszilis kovaalga összetételt a Gales tóban (Dél-Kárpátok)? IV. Algológiai Találkozó és Továbbképzés. Budapest, 2013. november 27. <b>Előadás</b></p> <p><u>Az értekezés témájához kapcsolódó idegen nyelvű előadások jegyzéke:</u></p> <p><b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Magyar, E. &amp; Buczkó, K.: Assessment of diatoms as indicators of late-glacial and Holocene climatic change in glacial lakes in the</p>

	<p>Southern-Carpathian Mountains. „5th CeDiatom Meeting. Szczecin, Poland, 24-27 March 2011. 52. pp. <b>Előadás</b></p> <p>Buczko, K., Magyari, E.K., <b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Braun, M., Hubay, K., Tóth, M., Korponai, J.: Response to cooling: Late Glacial and Holocene changes of diatom assemblages and lake acidity in mountain and lowland lakes in the Carpatian Basin. <i>In: Mindrescu, M., Veres, D. &amp; Onac B.P. (eds) Climate change in the Carpathian-Balkan region during late Pleistocene and Holocene. Suseava, Romania, 9-12 June 2011. pp: 39-40. <b>Előadás</b></i></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.</b>, Buczko K., Magyari E.: Preuve fondée sur les algues siliceuses de l'augmentation du niveau d'eau et du refroidissement à court terme autour de 9.2-ka dans les Carpates du Sud, Roumanie. <i>In: Edited by: Frédéric Rimet, Agnès Bouchez, Luc Ector &amp; Bernard Montuelle (eds.) ISSN 978-2-7466-6166-0. 32<sup>e</sup> Colloque de l'ADLaF, and 7<sup>th</sup> CeDiatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 Sept. 2013. pp. 77-80. <b>Előadás</b></i></p> <p><u>Egyéb előadások jegyzéke:</u></p> <p><b>Soróczki Pintér É.</b>, Borics G., Padisák J.: A lebegőanyag és a klorofill-a tartalom összehasonlítása a Tiszában és néhány Kelet-magyarországi vízfolyásban és ennek potenciális ökotoxikológiai jelentősége. VEAB Élettani és Toxikológiai Munkabizottsága előadóiülése. Tihany, 2002. április 24.</p> <p><b>Soróczki Pintér É.</b>, Borics G., Padisák J.: Chlorophyll-seston relationship in East Hungarian rivers (Klorofill-szeszton összefüggés Kelet-Magyarországi folyóvizekben). 13<sup>th</sup> Hungarian Algological Meeting, Noszvaj, 14-17. May, 2002 (XIII. Magyar Algológiai Szeminárium. Noszvaj, 2002. május 14-17.) <b>Poszter</b></p> <p>Királykúti I., <b>Soróczki-Pintér É.</b>, Padisák J., Varanka I.: A Balaton befolyóinak vízkémiai jellegének vizsgálata. XLVII. Hidrobiológus Napok. Tihany, 2005. október 5-7. <b>Poszter</b></p> <p><b>Soróczki-Pintér, É.</b>, Padisák, J., Stenger-Kovács, Cs., Királykúti, I., Kovács, Zs.: Ecological status of inflows of Lake Balaton (Hungary) based on analyses of epilithic diatoms. <i>In: Ács, É., Kiss, K. T., Padisák, J. and Szabó K. É. (eds) ISBN 963 06 0497 3. 6<sup>th</sup> International Symposium Use of Algae for Monitoring Rivers. Balatonfüred, Hungary 12-16 September 2006. pp. 132. <b>Poszter</b></i></p> <p><b>Soróczki-Pintér É.:</b> Kisgyermek környezeti nevelése, tudatformálása a családban és a közösségekben. Mentorforum, Veszprém, Pannon Egyetem, MFTK <b>Előadás</b></p>
--	---

## 12 Eredmények tézisszerű összefoglalása

### 12.1 A Gales tó kovaalga flórája

12.1.1 A Gales tó (Lacul Galeş, 45°23'6"N, 22°54'33"E) 328 cm hosszú, 4 cm-ként mintázott, üledékszervényében 178 kovaalga taxont mutattam ki.

12.1.2 Két diatóma faj, a *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot és a *Navicula detenta* Hustedt új adat Románia flórájára nézve.

### 12.2 A Gales tó fejlődéstörténete a vízszintváltozás tükrében

12.2.1 Az utolsó eljegesedést követően a stabil, sekély tó kialakulását a késő-glaciális Bølling/Allerød meleg és csapadékos éghajlattal jellemzett interstadiálisához kötöttem, amikor a kiszáradást nem toleráló taxonok aránya kismértékben növekedni kezdett, de a C:D aránnyal együtt alacsony maradt.

12.2.2 A markáns lehülést hozó Fialat Driász kezdetén (kb. 12,900 kal. BP év) időszakos szárazodásra, vagy kiszáradáshoz közeli állapotra utalt a kovavázak számának drasztikus csökkenése és az aerofita fajok dominanciája.

12.2.3 12,500-11,500 kal. BP év között a Fialat Driász második felében kismértékű vízszint emelkedést mutatott a bentonikus és perifitikus életformák dominanciája, amely a hideg időszak második felében sekély víztest meglétét feltételezte.

12.2.4 Megállapítottam, hogy a Holocén kezdetétől (~ 11,700 kal. BP évtől) a diverz algaközösség fejlődése a tó produktivitásának gyors növekedését indította el; a kedvező feltételeket a vegetáció produktivitását jelző szervesanyag tartalom nagymértékű növekedése is bizonyította.

12.2.5 ~9500-9000 kal. év között markáns változást állapítottam meg a diatóma profilban: ~9200 kal. BP évnél tömeges, gyengén kovásodott vázú, túszerű planktonikus *Fragilaria gracilis* Østrup magas vízszintre utal. A növekvő eróziós tevékenységre és a tó belső produktivitásának visszaszorulására következtettem a trofitásmutató C:D arány és a szerves anyag tartalom jelentős visszaeséséből. A víztest produktivitásában bekövetkező változás összefüggésben állhat az északi féltekén zajló 9300 év körüli, viszonylag rövid ideig tartó éghajlati anomáliával, amikor az Atlanti-óceánba jutó nagy mennyiségű édesvíz csökkentette/leállította a termohalin cirkulációt, ezáltal hűvös és csapadékos időszakot eredményezve a Föld északi felén.

12.2.6 Megállapítottam, hogy a kora-Holocéntól (~9150 kal. BP év) kezdve egy flórabeli átrendeződés vette kezdetét, a planktonikus *Aulacoseira* taxonok arányának fokozatos emelkedésével, ami fokozatosan emelkedő vízszintre utalt.

12.2.7 Megállapítottam, hogy a késő-Holocén időszakban, ~3700 kal. BP évtől egyértelműen a planktonikus *Aulacoseira* nemzetség határozta meg a diatóma flórát, a korábban domináns bentonikus fragilaroid taxonokat háttérbe szorítva. Magas vízszintet és a belső produkció fokozódását feltételezem az életforma dominancia mellett a C:D arány és a belső produkciót jelző szervesanyag és biogén szilikát tartalom fokozódásából.

### 12.3 A Gales tó Chrysophyta sztomatociszta flórája

12.3.1 A Gales tó üledékszervényében 83 morfológiailag különböző ciszta típust azonosítottam. A késő-glaciális időszakot nagyméretű, díszítetlen formák, a kora-Holocént diverz, a késő-Holocénben több erősen díszített felszínű típus fordult elő, bár minden mintában az egyszerű, sima díszítetlen ciszták a dominánsak a ~9200 kal. BP évhez tartozó minta kivételével.

12.3.2 ~9200 kal. BP évhez kapcsolom a cisztaközösség legmeghatározóbb változását, amikor a C072 Facher & Schmidt morfortípus dominanciáját mutattam ki.

12.3.3 A nemzetközi kritériumrendszert (Cronberg & Sandgren 1986) követve a Gales tóból hét új Chryophyta sztomatociszta típust írtam le és dokumentáltam: C500, C501, C502, C503, C504, C505, C506, ahol a „C” előtag a Kárpátok („Carpathians”) angol nevének kezdőbetűjére utal.

## 13 Results of the studies

### 13.1 Diatom assemblages in Lake Gales

13.1.1 A high resolution diatom analysis was carried out on the 328 cm long lacustrine sediment core in Lake Gales (45°23'6"N, 22°54'33"E). I distinguished 178 diatom taxa in whole sediment core.

13.1.2 Two diatom species, *Pinnularia julma* Krammer & Lange-Bertalot and *Navicula detenta* Hustedt proved to be new data for algal flora of Romania.

### 13.2 Diatom succession in the sediment of Lake Gales, window to lake level changes

13.2.1 Diatom-based lake level reconstruction at the first phase of lake ontogeny (Bølling/Allerød) referred to a shallow but permanent lake with increasing lake level.

13.2.2 At the onset of cold and dry Younger Dryas (~12,900 cal. yr BP) I detected a sharp change in siliceous algae record, the siliceous remains were scarce and aerophytic taxa became dominant inferring seasonal aridity or dessication of the lake due to the sudden climatic deterioration.

13.2.3 Between 12,500-11,700 cal yr BP, in the second part of YD benthic and periphytic diatoms were dominant suggesting a minor lake level increase and shallow lake conditions.

13.2.4 From 11,700 cal yr BP likely coinciding with the onset of Holocene I detected a rapid diversified siliceous algae assemblages. Aquatic and terrestrial vegetation productivity (organic material content) sharply increased inferring, warm climatic conditions.

13.2.5 The most remarkable changes in diatom record have been detected between 9500-9000 cal yr BP, when a spine like, lightly silicified diatom, *Fragilaria gracilis* Østrup became dominant having 70% relative abundance at 9210 cal yr BP. *Fragilaria gracilis*-peak was a unique, peculiar and well-dated event in diatom record inferring high lake level during the ontogeny of Lake Gales. The special diatom composition, minimum of LOI inferred organic content and decrease of C:D ratio suggested increasing erosion activity and decreasing in-lake productivity. The decrease of in-lake-productivity can be linked to the 9.2-ka widespread and significant climatic anomaly triggered by a meltwater pulse (MWP) into the North Atlantic resulted in the slowdown or shutdown of the thermohaline circulation (THC) at high - and midlatitudes on the Northern Hemisphere.

13.2.6 After 9150 cal yr BP a shift started, the relative frequencies of *Aulacoseira* species increased gradually replaced the fragilaroid diatoms meaning high lake level but from ~5500 kal. yr BP periphytic, benthic taxa were prominent elements in diverse diatom profil.

13.2.7 After ~3,700 cal. yr BP a sharp and determinative change was detected in diatom record: (tycho)planktonic *Aulacoseira* taxa became dominant elements in record replaced previously dominant fragilaroid taxa indicating high lake level and in-lake productivity.

### 13.3 Chrysophycean stomatocysts in Lake Gales (Southern Carpathian, Romania)

13.3.1 Lake Gales was characterized by 83 cyst morphotypes knowing as cold tolerant, generally in slightly acidic and oligotrophic habitat-prefering types. I determined that the cyst record with various morphology in Lake Gales was very abundant. The flora showed some difference between Late Glacial and Holocene record. In the Lateglacial section the unornamented and larger cyst forms were typical forms, the flora was diverse in early Holocene, while in the younger part of core ornamented forms became more abundant, but the

small, simple forms were dominant in every samples of the core with the exception of the sample ~ at 9200 cal yr BP.

13.3.2 I determined an abrupt shift in cyst record ~ at 9200 cal yr BP, when the density of C072 form showed a sharp peak.

13.3.3 Following the International Statospore Working Group (ISWG) guidelines (Cronberg & Sandgren 1986) I described and documented seven new cyst morphotypes such as C500, C501, C502, C503, C504, C505, C506. The new cysts are enumerated from "500" and "C" prefix referring to the "Carpathians".

## 14 Függelék I.

**1. táblázat** A Gales-3 fűrés kovaalga fajlistája a késő-glaciális és Holocén időszakban, ahol „ÉF”: kovaalga életforma [A=aerofita; B=bentonikus; P=perifitikus; PL=planktonikus; R=rheofil], „Csoport”: a szűkített elemzésben faji, nemzetség illetve csoport szintű kategóriába sorolás, „kód”: akroním kód van Dam *et al.* (1994) alapján, „rel.ab.LG”: az adott taxon késő-glaciális időszakra vonatkozó relatív gyakorisága [%], „konst.LG”: adott taxon késő-glaciális konstanciája [1: 1-20, 2: 21-40, 3: 41-60, 4: 61-80, 5: 81-100 %-ban van jelen az adott taxon az összes mintára vonatkozólag], „rel.ab.Hol”: az adott taxon Holocén időszakra vonatkozó relatív gyakorisága [%], „konst.H”: adott taxon Holocén időszakra vonatkozó konstanciája

Fajnév	ÉF	Csoport	kód	rel. ab.LG	konst. LG	rel. ab. Hol	konst. H
<i>Achnanthes altaica</i> (Poretzky) Cleve-Euler	P	achnanthoid fajok	ACHNALTA			0,02	1
<i>Achnanthes saccula</i> J.R.Carter	P	achnanthoid fajok		0,07	1	0,80	3
<i>Achnanthes ventralis</i> (Krasske) Lange-Bertalot	P	achnanthoid fajok	ACHNVENT			0,62	3
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	P	achnanthoid fajok	ACHNROSE	3,71	1	3,48	4
<i>Adlafia bryophila</i> (J.B.Petersen) Gerd Moser, Lange-Bertalot & D.Metzeltin	P	Adlafia				0,06	1
<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot	P	Adlafia		0,07	1	1,23	5
<i>Adlafia</i> sp. Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin	P	Adlafia				0,01	1
<i>Amphora aequalis</i> Krammer	B	Amphora				0,01	1
<i>Amphora affinis</i> Kützing	B	Amphora				0,03	1
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E.M.Archibald	B	Amphora	AMRACOPU	0,59	2	0,10	2
<i>Amphora inariensis</i> Krammer	B	Amphora	AMRAINAR			0,01	1
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	B	Amphora	AMRAOVAL			0,03	1
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow ex A.Schmidt	B	Amphora	AMRAPEDI	0,74	1	0,12	1
<i>Amphora</i> sp.	B	Amphora		0,30	1	0,01	1
<i>Aulacoseira alpigena</i> (Grunow) Krammer	PI	Aulacoseira	AUSEALPI	0,30	1	4,48	4
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	PI	Aulacoseira	AUSEAMBI			2,63	4
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	PI	Aulacoseira	AUSEGRAN			0,03	1
<i>Aulacoseira nivalis</i> (W.Smith) English et Potapova	PI	Aulacoseira				4,12	4
<i>Aulacoseira nivaloides</i> (K.E.Camburn) J.English & M.Potapova	PI	Aulacoseira				1,36	2
<i>Aulacoseira pfaiana</i> (Reinsch) Krammer	PI	Aulacoseira	AUSEPFAF			5,05	4
<i>Aulacoseira</i> sp.	PI	Aulacoseira		1,41	2	0,44	2
<i>Aulacoseira valida</i> (Grunow) Krammer	PI	Aulacoseira		0,30	1	10,07	5
<i>Boreozonacola hustedtii</i> Lange-Bertalot, Kulikovskiy & Witkowski	P	Egyéb				0,09	1
<i>Brachysira brebissonii</i> R.Ross	P	Egyéb				0,02	1
<i>Caloneis</i> Cleve sp.	P	Egyéb	CANESPEC	0,07	1	0,01	1
<i>Cavinula pseudoscutiformis</i> (Hustedt) D.G.Mann & A.J.Stickle	P	<i>Cavinula pseudoscutiformis</i>		0,07	1	0,39	3
<i>Centrales</i> sp.	PI	Centrales		0,07	1		
<i>Chamaepinnularia</i> sp.	P	Egyéb				0,05	1
<i>Cocconies</i> sp.	P	Egyéb		0,15	1		
<i>Craticula</i> cf <i>molesta</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Willmann	P	Egyéb				0,01	1
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	PI	Centrales				0,01	1
<i>Cyclotella</i> sp.	PI	Centrales		0,07	1		
<i>Cymbella</i> sl sp.p	P	cymbelloid fajok		0,30	1	0,09	1
<i>Cymbopleura amphicephala</i> (Nägeli) Krammer	P	cymbelloid fajok		0,30	1	0,02	1
<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Auerswald ex Heiberg) Krammer	P	cymbelloid fajok				0,05	1
<i>Cymbopleura stauroneiformis</i> (Lagerstedt) K. Krammer	P	cymbelloid fajok				0,01	1
<i>Cymbopleura subaequalis</i> (Grunow) Krammer	P	cymbelloid fajok				0,01	1
<i>Diatoma hyemalis</i> (Roth) Heiberg	P	Diatoma	DIATHYEM			0,31	3
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	P	Diatoma	DIATMESO	1,48	1	8,08	5

Fajnév	ÉF	Csoport	kód	rel. ab.LG	konst. LG	rel. ab. Hol	konst. H
<i>Encyonema caespitosum</i> Kützing	P	cymbelloid fajok	CYLACAES			0,01	1
<i>Encyonema elginense</i> (Krammer) D.G.Mann	P	cymbelloid fajok				0,05	1
<i>Encyonema gaeumannii</i> (Meister) Krammer	P	cymbelloid fajok	CYLAGAEU	0,15	1	3,32	5
<i>Encyonema gracile</i> Rabenhorst	P	cymbelloid fajok	CYLAGRAC	1,41	2	0,25	2
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann in Round, Crawford & Mann	P	cymbelloid fajok	CYLAMINU	7,34	3	0,72	4
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G.Mann	P	cymbelloid fajok	CYLASILE	0,37	1	0,30	3
<i>Eolimna elorantana</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot & Kulikovskiy	P	Eolimna elorantana		0,07	1	0,14	1
<i>Epithemia</i> sp.	P	Egyéb		0,37	1		
<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg	P	Eunotia	EUTIARCU	0,07	1	0,13	1
<i>Eunotia arcus</i> var. <i>minor</i> Grunow	P	Eunotia				0,58	4
<i>Eunotia bidens</i> Ehrenberg	P	Eunotia		0,07	1	0,02	1
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	P	Eunotia	EUTIBILU	0,07	1	0,14	2
<i>Eunotia boreoalpina</i> Lange-Bertalot & Nörpel-Schempp	P	Eunotia				0,04	1
<i>Eunotia curtagrunowii</i> Nörpel-Schempp & Lange-Bertalot	P	Eunotia		0,30	1	0,08	1
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	P	Eunotia	EUTIEXIG			0,08	1
<i>Eunotia fallax</i> A.Cleve	P	Eunotia	EUTIFALL			0,04	1
<i>Eunotia glacialis</i> Meister	P	Eunotia	EUTIGLAC			0,01	1
<i>Eunotia implicata</i> Nörpel, Lange-Bertalot & Alles	P	Eunotia	EUTIIMPL			0,01	1
<i>Eunotia incisa</i> W.Smith ex W.Gregory	P	Eunotia	EUTIINCI	0,07	1	0,71	4
<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske) Nörpel & Lange-Bertalot	P	Eunotia	EUTIINTE			0,02	1
<i>Eunotia jemtlandica</i> (Font.) A. Berg.	P	Eunotia		1,04	1		
<i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörpel & Lange-Bertalot in Lange-Bertalot	P	Eunotia				0,04	1
<i>Eunotia paludosa</i> Grunow	P	Eunotia				0,07	1
<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg	P	Eunotia	EUTIPRAE	0,22	1	0,04	1
<i>Eunotia serra</i> var. <i>diadema</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	P	Eunotia	EUTISEdi	0,15	1	0,08	1
<i>Eunotia</i> spp.	P	Eunotia		0,59	2	0,15	2
<i>Eunotia steineckeii</i> Petersen	P	Eunotia	EUTISTEI			0,02	1
<i>Eunotia subarcuatooides</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot	P	Eunotia	EUTISUAR			0,18	2
<i>Eunotia tenella</i> (Grunow) Hustedt	P	Eunotia	EUTITENE			0,09	1
<i>Eunotia tetraodon</i> Ehrenberg	P	Eunotia				0,02	1
<i>Fragilaria</i> cf <i>acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	B	fragilaroid fajok		0,07	1		
<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup	PL	fragilaroid fajok	FRAGCAgr	1,48	1	2,50	1
<i>Fragilaria</i> sp. 1 hosszú	P	fragilaroid fajok		0,52	1	0,05	1
<i>Fragilaria</i> sp. 2 (cf <i>capucina</i> )	PL	<i>Fragilaria gracilis</i>		2,82	1	1,71	4
<i>Fragilaria</i> sp. 3 ( <i>Staurosirella</i> n sp)	B	fragilaroid fajok				0,23	1
<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M.Williams & Round	B	Fragilariforma virescens	FRAGVIRE	0,37	1	2,05	5
<i>Geissleria acceptata</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Metzeltin	PL	fragilaroid fajok				0,01	1
<i>Geissleria</i> sp.	B	egyéb				0,01	1
<i>Genkalia digituloides</i> (H.Lange-Bertalot) H.Lange-Bertalot & M.S.Kulikovskiy	P	Genkalia		0,52	1	1,32	5
<i>Genkalia digitulus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Kulikovskiy	P	Genkalia				0,15	1
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	P	Gomphonema	GONECLAV	0,96	2	0,07	1
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	P	Gomphonema	GONEPARV	0,22	1	0,28	3
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot	P	Gomphonema	GONEPUMI	2,74	2	0,08	1
<i>Gomphonema</i> sp. 1	P	Gomphonema		0,74	1	0,05	1
<i>Gomphonema</i> sp. 2	P	Gomphonema		0,22	1	0,05	1
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	R	Hannaea arcus		0,22	1	0,14	1
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	P	Hantzschia amphioxys	HANTAMPH	13,20	3	0,18	1
<i>Hippodonta hungarica</i> (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	P	Hippodonta hungarica		0,07	1	0,01	1

Fajnév	ÉF	Csoport	kód	rel. ab.LG	konst. LG	rel. ab. Hol	konst. H
<i>Humidophila perpusilla</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová	A	Humidophila		3,56	2	0,68	4
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová	P	Humidophila				0,01	1
<i>Humidophila</i> sp.	A	Humidophila		0,15	1	0,02	1
<i>Karayevia carissima</i> (Lange-Bertalot) Bukhtiyarova	A	Karayevia				1,80	5
<i>Karayevia oblongella</i> (Østrup) M.Aboal	A	Karayevia				3,39	4
<i>Kobayasiella</i> sp.	P	egyéb				0,01	1
<i>Luticola</i> sp.	P	Luticola		0,82	1	0,01	1
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D.G.Mann	P	Luticola	NAVIGOEP	0,67	1	0,07	1
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G.Mann	A	Luticola	NAVIMUTI			0,01	1
<i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) D.G.Mann in Round, Crawford & Mann	A	Luticola		0,07	1		
<i>Luticola ventricosa</i> (Kützing) D.G.Mann in Round, Crawford & Mann	A	Luticola		0,37	1		
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	R	Meridion	MEDICIRC	0,67	1	0,08	1
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck	R	Meridion	MEDICico	0,82	1	0,50	3
<i>Muelleria</i> sp.	A	egyéb		0,15	1	0,01	1
<i>Nacicula cari</i> Ehrenberg	P	Navicula	NAVICARI	0,07	1		
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	P	Navicula	NAVICRCE	0,15	1	0,34	3
<i>Navicula detenta</i> Hustedt	P	Navicula				0,01	1
<i>Navicula difficillima</i> Hustedt	P	Navicula	NAVIDIFF			0,02	1
<i>Navicula notha</i> Wallace	P	Navicula				0,21	2
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	P	Navicula	NAVIRHCE			0,07	1
<i>Navicula schmassmannii</i> Hustedt	P	Navicula		0,37	1	0,77	2
<i>Navicula semen</i> Ehrenberg emend Donkin	P	Navicula	NAVISEME	0,15	1	0,01	1
<i>Neidiopsis levanderi</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Metzeltin	O	Neidium		0,15	1	0,02	1
<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfizer	P	Neidium	NEIDAFFI			0,04	1
<i>Neidium affine</i> var. <i>longiceps</i> (W.Gregory) Cleve	P	Neidium	NEIDAFlo			0,04	1
<i>Neidium ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer	P	Neidium	NEIDAMPL			0,09	1
<i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerstedt) Cleve	P	Neidium	NEIDBISU	0,22	1	0,50	3
<i>Neidium iridis</i> var. <i>amphigomphus</i> (Ehrenberg) A.Mayer	P	Neidium	NEIDIRID			0,07	1
<i>Neidium perminutum</i> Cleve-Euler	P	Neidium				0,10	1
<i>Neidium septentrionale</i> Cleve-Euler	P	Neidium				0,01	1
<i>Neidium</i> sp.	P	Neidium		1,26	2	0,01	1
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot	P	Nitzschia	NITZACID			0,02	1
<i>Nitzschia alpina</i> Hustedt	P	Nitzschia		0,30	1	0,03	1
<i>Nitzschia garrensis</i> Hustedt	P	Nitzschia		0,30	1	0,84	5
<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow) M.Peragallo	P	Nitzschia	NITZPERM			0,11	1
<i>Nitzschia</i> sp. (small)	P	Nitzschia				0,06	1
<i>Nupela impexiformis</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	P	Nupela				0,04	1
<i>Nupela lapidosa</i> (Krasske) Lange-Bertalot	P	Nupela	ACHNLAPI	1,19	1	0,20	1
<i>Nupela</i> sp.	P	Nupela				0,12	1
<i>Nupela vitiosa</i> (Schimanski) P.Siver & P.B.Hamilton	P	Nupela		0,15	1	0,15	1
<i>Orthoseira dendroteres</i> (Ehrenberg) F.E.Round, R.M.Crawford & D.G.Mann	A	Orthoseira				0,02	1
<i>Orthoseira roseana</i> (Rabenhorst) O'Meara	A	Orthoseira		2,15	2	0,05	1
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	A	Pinnularia	PINNBORE	5,71	3	0,34	2
<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve	P	Pinnularia				0,01	1
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	P	Pinnularia		9,87	3	0,25	2
<i>Pinnularia julma</i> Krammer & Metzeltin	P	Pinnularia				0,02	1
<i>Pinnularia mesolepta</i> var. <i>gibberula</i> (Hustedt) K.Krammer	P	Pinnularia				0,13	1
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	P	Pinnularia		0,74	1	0,12	1
<i>Pinnularia nodosa</i> (Ehrenberg) W.Smith	P	Pinnularia	PINNNODO			0,01	1

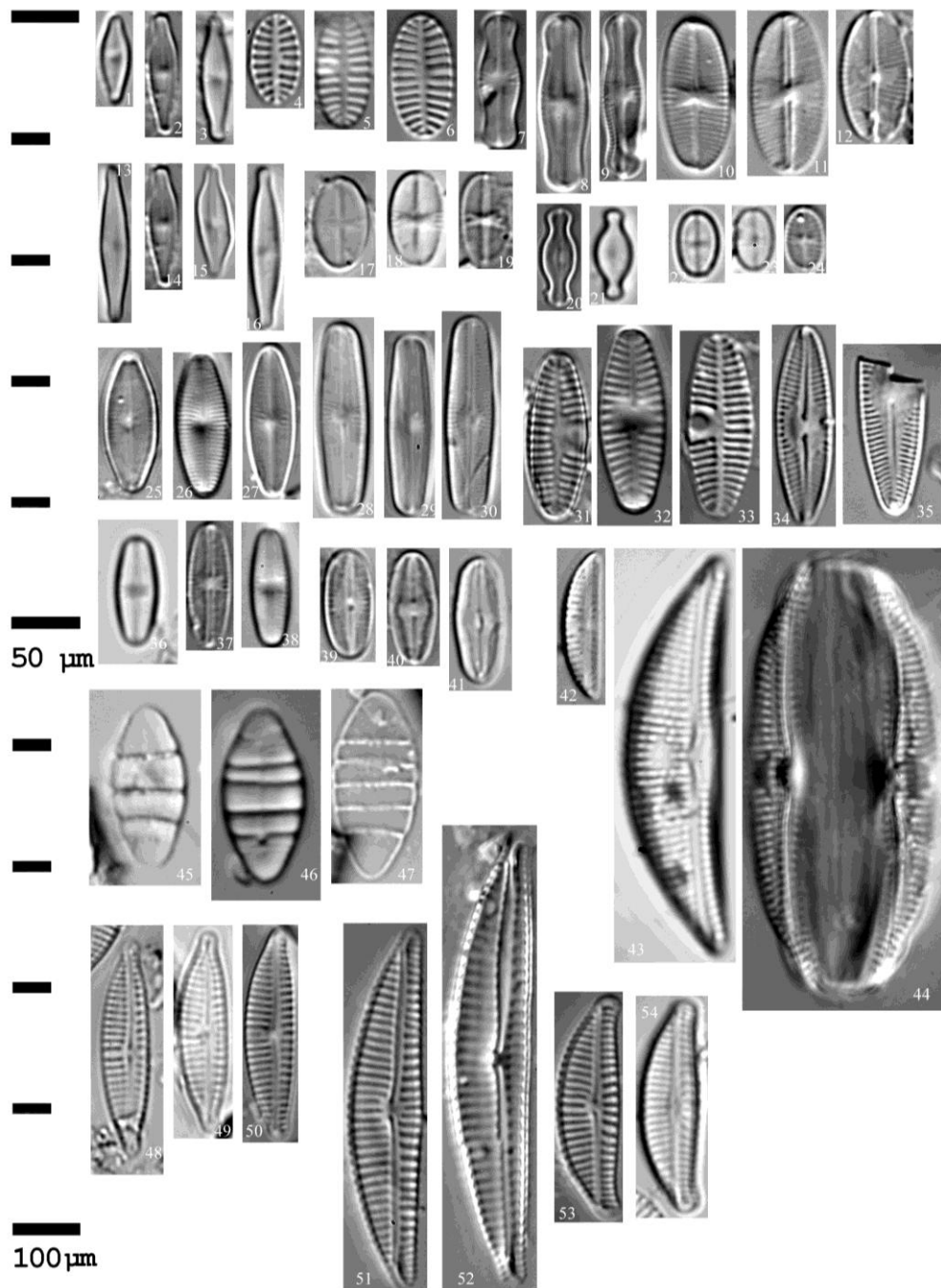
Fajnév	ÉF	Csoport	kód	rel. ab.LG	konst. LG	rel. ab. Hol	konst. H
<i>Pinnularia obscura</i> Krasske	P	Pinnularia	PINNOBSC			0,11	1
<i>Pinnularia pulchra</i> Østrup	P	Pinnularia		0,07	1		
<i>Pinnularia schoenfelderi</i> Krammer	P	Pinnularia		2,08	1	0,27	2
<i>Pinnularia sinistra</i> Krammer	P	Pinnularia				1,14	5
<i>Pinnularia</i> spp.	P	Pinnularia		0,96	1	0,08	1
<i>Pinnularia subanglica</i> Krammer	P	Pinnularia		0,30	1	0,84	4
<i>Pinnularia subcapitata</i> W. Gregory	P	Pinnularia				0,02	1
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	P	Pinnularia	PINNVIRI			0,16	2
<i>Placoneis clementis</i> (Grunow) J.E. Cox	P	egyéb				0,01	1
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	P	achnanthoid fajok	ACHNLANC	0,82	1	1,42	5
<i>Psammothidium bioretii</i> (Germain) L.N.Bukhtiyarova & Round	P	achnanthoid fajok		0,07	1	0,82	4
<i>Psammothidium chlidanos</i> (Hohn and Hellerman) Lange-Bertalot	P	achnanthoid fajok				0,25	2
<i>Psammothidium curtissimum</i> (J.R.Carter) M.Aboal	P	achnanthoid fajok		0,22	1	3,04	5
<i>Psammothidium didymum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova & Round	P	achnanthoid fajok				0,04	1
<i>Psammothidium grischunum</i> (Wuthrich) Bukhtiyarova & Round	P	achnanthoid fajok				0,01	1
<i>Psammothidium helveticum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova and Round	P	achnanthoid fajok	ACHNHELV	0,15	1	0,79	4
<i>Psammothidium marginulatum</i> (Grunow) L.Bukhtiyarova & Round	P	achnanthoid fajok	ACHNMARG			0,01	1
<i>Psammothidium scoticum</i> (Flower & Jones) L.Bukhtiyarova & Round	P	achnanthoid fajok				1,33	4
<i>Psammothidium subatomoides</i> (Hustedt) Bukhtiyarova and Round	P	achnanthoid fajok	ACHNSUAT	0,15	1	2,51	5
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) D.M.Williams & Round	P	fragilaroid fajok	FRAGBREV	3,86	1	2,67	4
<i>Pseudostaurosira pseudoconstruens</i> (Marciniak) D.M. Williams & Round	P	fragilaroid fajok				0,04	1
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	P	Reimeria sinuata	CYLASINU	0,22	1	0,01	1
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	P	egyéb	RHOPGIBA			0,01	1
<i>Rossithidium petersenii</i> (Hustedt) Round & Bukhtiyarova	P	achnanthoid fajok	ACHNPETE			0,01	1
<i>Sellaphora disjuncta</i> (Hustedt) D.G.Mann	B	Sellaphora	NAVIDISJ			0,07	1
<i>Sellaphora</i> n sp. ( <i>rosentockiformis</i> ) Mereschkowsky	B	Sellaphora	NAVIPUPU	0,67	1	0,20	2
<i>Sellaphora pupula</i> var. <i>pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky	B	Sellaphora	NAVIPUPU	0,15	1	0,62	4
<i>Sellaphora rectangularis</i> (Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin	B	Sellaphora	NAVIPUre	0,22	1	0,31	3
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann	B	Sellaphora	NAVISELU	0,22	1	1,26	4
<i>Stauroforma exiguiiformis</i> (Lange-Bertalot) R.J.Flower, V.J.Jones & F.E.Round	B	fragilaroid fajok	FRAGEXIG	0,22	1	1,75	4
<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>hyalina</i> Peragallo & Brun	P	Stauroneis	STNEANhy			0,02	1
<i>Stauroneis kriegei</i> R.M.Patrick	P	Stauroneis	STNEKRIE	0,52	1	0,02	1
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	P	Stauroneis	STNEPHOE			0,03	1
<i>Stauroneis</i> sp.	P	Stauroneis				0,03	1
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) H.Kobayasi	B	Staurosira venter	FRAGCOve	2,60	1	6,43	5
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round	B	Staurosirella pinnata	FRAGPINN	1,19	1	1,28	2
<i>Stenopterobia delicatissima</i> (F.W.Lewis) Brébisson ex van Heurck	P	Stenotretobtia delicatissima	STBIDELI			0,13	2
<i>Stephanodiscus</i> sp.	PL	Centrales		0,07	1	0,01	1
<i>Surirella linearis</i> W.Smith	B	Surirella linearis	SURILINE	1,34	2	0,31	3
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	P	Tabellaria flocculosa	TABEFLOC			0,49	4
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P.Compère	B	fragilaroid fajok	FRAGULNA	0,45	1		
Sternum	P	indet		0,45	1		
Indet	P	indet		6,45	2	0,04	1

**2.táblázat** A Gales-3 fúrásban azonosított Chrysophyta sztomatociszta típusok, feltüntetve a leírókat. A „C” előjel a kárpáti (=„Carpathians”) előfordulásra utal. A táblázat tartalmazza az egyes morfortípusok különböző módszerrel adott sorszámait is Duff *et al.* (1995), Facher & Schmidt (1996), Wilkinson *et al.* (2001), Pla (2001) és Kamenik (2010) alapján

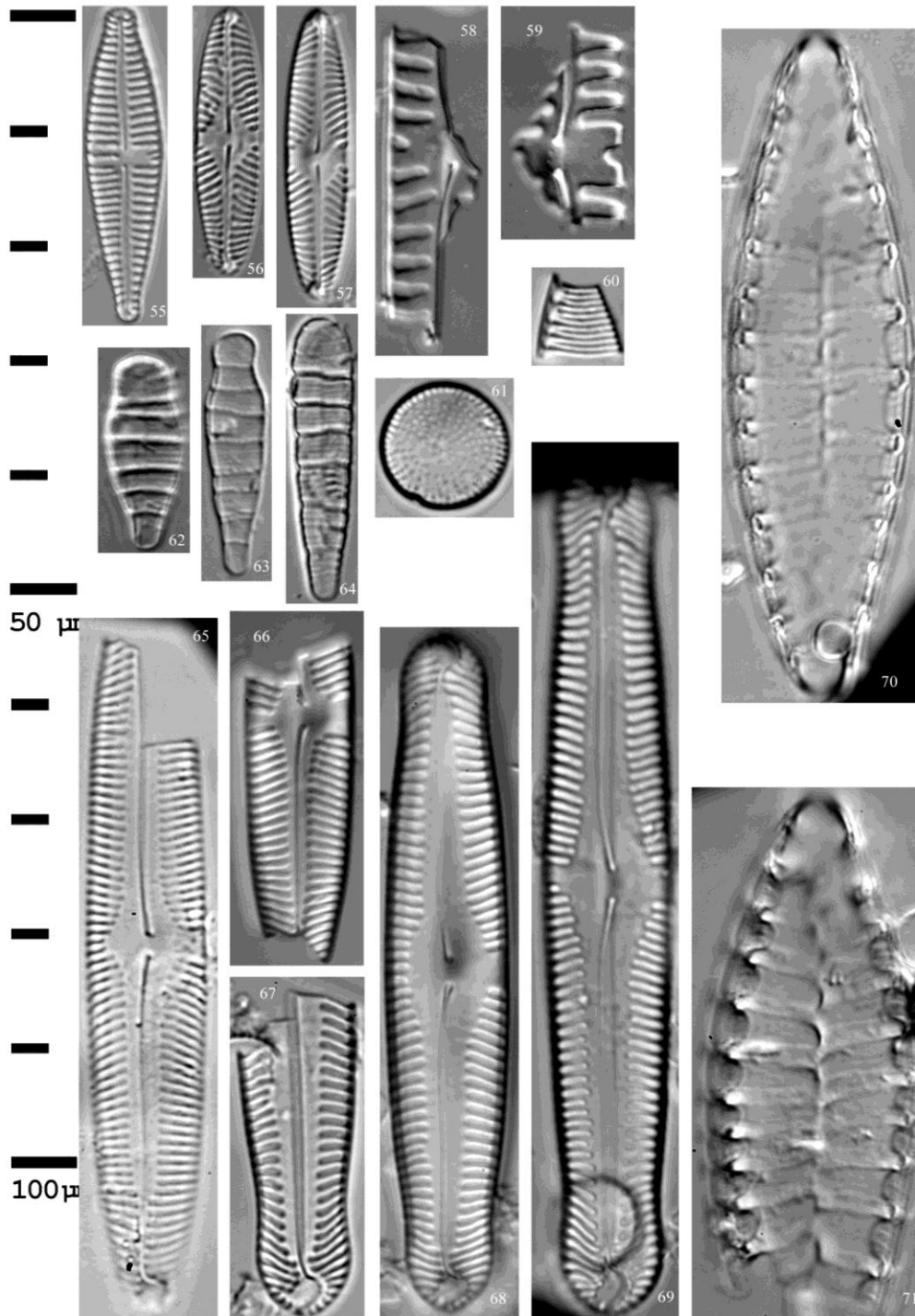
Sztomatociszta	Leíró	PEARL	Pla	Facher & Schmidt	Kamenik	Megjegyzés
C001	Duff & Smol, 1988 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993a	#1	S001			
C004	Duff & Smol 1988	#4	S004	n° 60	ST 149	
C009	Duff & Smol, 1988 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993a	#9	S009			
C015	Duff & Smol, 1988 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993a	#15	S015			
C029	Duff & Smol, 1988 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993a	#29	S029			
C033	Duff & Smol 1989					
C035	Duff & Smol 1989	#35	S035			
C049	Duff & Smol, 1988 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993a	#49	S049			
C050	Duff & Smol 1991	# 50	S050			
C052	Duff & Smol 1991 <i>emend.</i> Duff <i>et al.</i> 1995		S052		ST 17	egyezés S052 Pla, 2001 formával
C053	Duff & Smol 1991	# 53				
C056	Pla 2001	#56	S056			egyezés S056 f. B Pla, 2001
C057	Duff & Smol 1991	#057	S057	n° 84	ST 84	
C064	Duff & Smol 1991	#64	S064 cf.			
C072	Facher & Schmidt 1996			n° 72		
C079	Duff & Smol 1991	#079	S079			csak LM dokumentáció
C084	Duff & Smol 1991			n° 62	ST 150	cf.
C092	Facher & Schmidt 1996	#310		n° 92	ST 92	eltér S310 Pla, 2001 formától
C103	Duff & Smol 1991	#103				
C112Z	Zeeb <i>et al.</i> , 1990 <i>emend.</i> Duff <i>et Smol</i> 1994	#112				
C112P	Pla 2001		S112			azonos S112 Pla, 2001 formával
C113	Zeeb <i>et al.</i> , 1990	#113	S113	n° 81	ST 152, ST 154	
C115	Zeeb <i>et al.</i> , 1990	#115				
C116	Zeeb <i>et al.</i> , 1990	#116			ST 143	
C120	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992 <i>emend.</i> Zeeb & Smol 1993	#120	S120			
C121	Pla 2001		S121			
C125	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992	#125	S125			
C130	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992 <i>emend.</i> Duff & Smol 1994	#130	S130	n° 82	ST 151	
C133	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992 <i>emend.</i> Zeeb <i>et al.</i> , <i>subm. emend.</i> Duff & Smol 1994	#133				
C135	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992	#135	S135			
C136	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992	#136				
C137	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1992	#137	S137			csak LM dokumentáció

Sztomatociszta	Leíró	PEARL	Pla	Facher & Schmidt	Kamenik	Megjegyzés
C148*	Kamenik	#43, #47, #59, #73				Kamenik adatbázis
C149	Zeeb & Smol 1993a		S149			
C160*	Kamenik					Kamenik adatbázis
C166	Zeeb & Smol 1993a	#166	S166	n° 58	ST 58	
C169	Zeeb & Smol 1993a	#169	S169		ST 162	
C178	Zeeb & Smol 1993a	#178	S178			
C180	Zeeb & Smol 1993a	#180	S180		ST 124	
C189	Zeeb & Smol in Zeeb <i>et al.</i> , subm.	#189	S189			
C198	Pla 2001	#198	S198			S198 f. A Pla, 2001
C202	Duff & Smol 1994	#202	S202			
C207	Duff & Smol 1994	#207	S207			
C210	Duff & Smol 1994	#210	S210			
C214	Duff & Smol 1994	#214				
C220	Duff & Smol 1994	#220				
C223	Duff & Smol 1994	#223	S223			
C231	Duff & Smol 1994	#231	S231			cf.
C232	Duff & Smol 1994	#232	S232			
C239	Duff <i>et al.</i> , 1995	#239	S239	n° 79	ST 79	
C243	Duff & Smol in Duff <i>et al.</i> , 1995	#243	S243			
C272	Gillbert & Smol in Gilbert <i>et al.</i> , 1997	#272				
C286	Gilbert & Smol in Gilbert <i>et al.</i> , 1997	#286				
C298	Gilbert & Smol in Gilbert <i>et al.</i> , 1997	#298				csak LM dokumentáció
C300	Pla 2001			n° 101		azonos S300 f. B Pla,2001 formával
C318	Brown & Smol in Brown <i>et al.</i>	#318				
C319	Pla 2001		S319			
C320	Brown & Smol in Brown <i>et al.</i> 1997	#142	S320			
C324	Pla 2001		S324			
C331	Wilkinson & Smol 1998	#331				
C336	Pla 2001		S336			azonos S336 f. A, f. B Pla, 2001 formával
C336	Pla 2001		S336			azonos S336 f. B Pla, 2001 formával
C337	Wilkinson & Smol 1998	#337				
C340	Pla 2001		S340			
C345	Pla 2001		S345			
C357	Pla 2001		S357	n° 93		
C360	Pla 2001		S360			cf.
C392	Pla 2001		S392	n° 91		
C404	Pla 2001		S404			
C"17"	<i>Chrysococcus furcatus</i> (Dolgoff) Nicholls 1981					csak LM dokumentáció
Unid. 14	Wilkinson & Smol in Wilkinson <i>et al.</i> 1996					"Azonosítatlan 14"

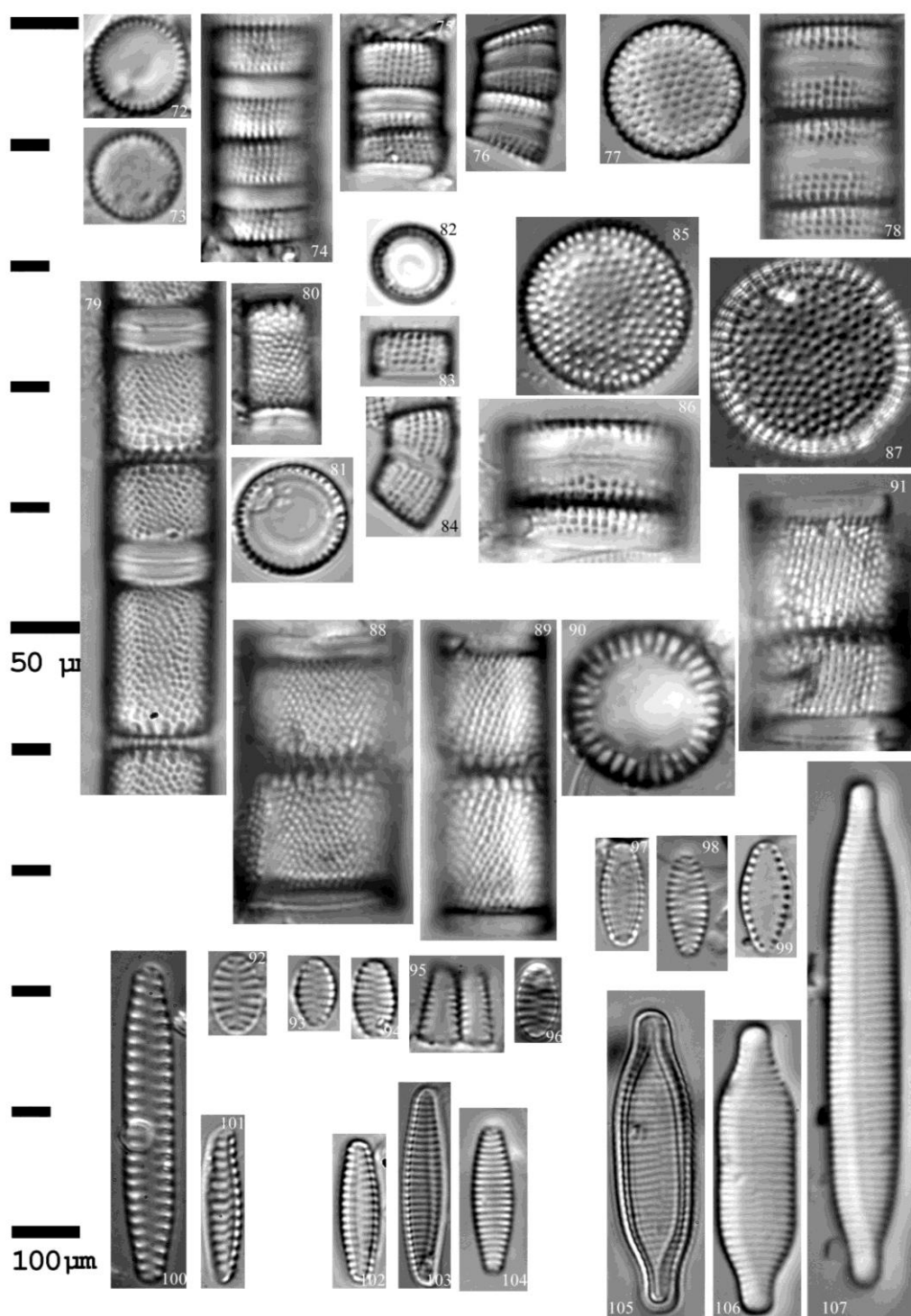
## Függelék II.



**1-54. ábra** A Gales tó (Gales-3 szelvény) domináns kovaalga flórájának fénymikroszkópos táblaképe. **1-3:** *Karayevia carissima* – 32-, 64 cm; **4-6:** *Karayevia oblongella* – 60-, 64-, 104 cm; **7-9:** *Achnanthes ventralis* – 72-, 76-, 104 cm; **10-12:** *Psammothidium helveticum* – 64-, 96-, 112 cm; **13-16:** *Achnantheidium minutissimum* – 64-, 100-, 104 cm; **17-19:** *Psammothidium subatomoides* – 52-, 60-cm; **20-21:** *Navicula schmassmannii* – 2-, 56 cm; **22-24:** *Psammothidium curtissimum* – 44-, 48-, 68 cm; **25-27:** *Adlafia minuscula* – 56-, 76-, 108 cm; **28-30:** *Genkalia digituloides* – 56-, 60-, 132 cm; **31-33:** *Planothidium lanceolatum* – 12-, 80-, 84 cm; **34-35:** *Nupela lapidosa* – 120-, 152 cm; **36-38:** *Sellaphora seminulum* – 48-, 60- 72 cm; **39-41:** *Humidophila perpusilla* – 48-, 60-, 68 cm; **42:** *Amphora pediculus* – 28 cm; **43-44:** *Amphora copulata* – 48-, 96 cm; **45-47:** *Diatoma mesodon* – 2-, 60 cm; **48-50:** *Encyonema gaumannii* – 44-, 52-, 60 cm; **51-52:** *Encyonema gracilis* – 60-, 64 cm; **53-54:** *Encyonema minutum* – 60-, 152 cm;

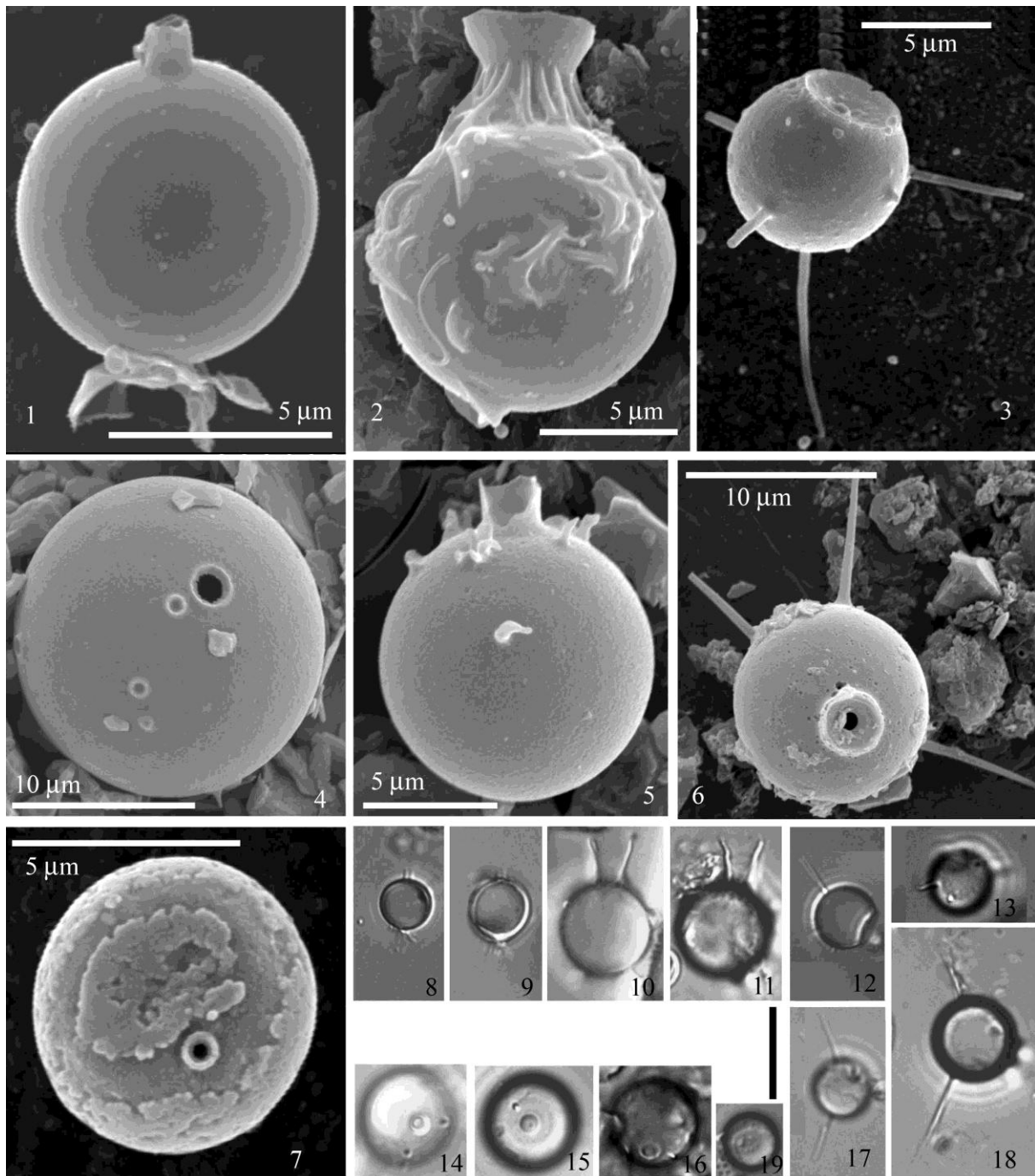


**55-71. ábra** A Gales tó (Gales-3 szelvény) domináns kovaalga flórájának fénymikroszkópos táblaképe. **55:** *Gomphonema clavatum* - 152 cm; **56-57:** *Pinnularia schönfelderii* - 60-, 100 cm; **58-59:** *Pinnularia borealis* - 88-, 116 cm; **60:** *Hantzschia amphyois* - 148 cm; **61:** Centrales sp. - 124 cm, **62-64:** *Meridion circulare* - 88-, 92-, 136 cm; **65-66:** *Pinnularia microstauron* - 64-, 80 cm; **67-69:** *Pinnularia gibba* - 56-, 96-, 128 cm; **70-71:** *Surirella linearis* - 60-, 92 cm.



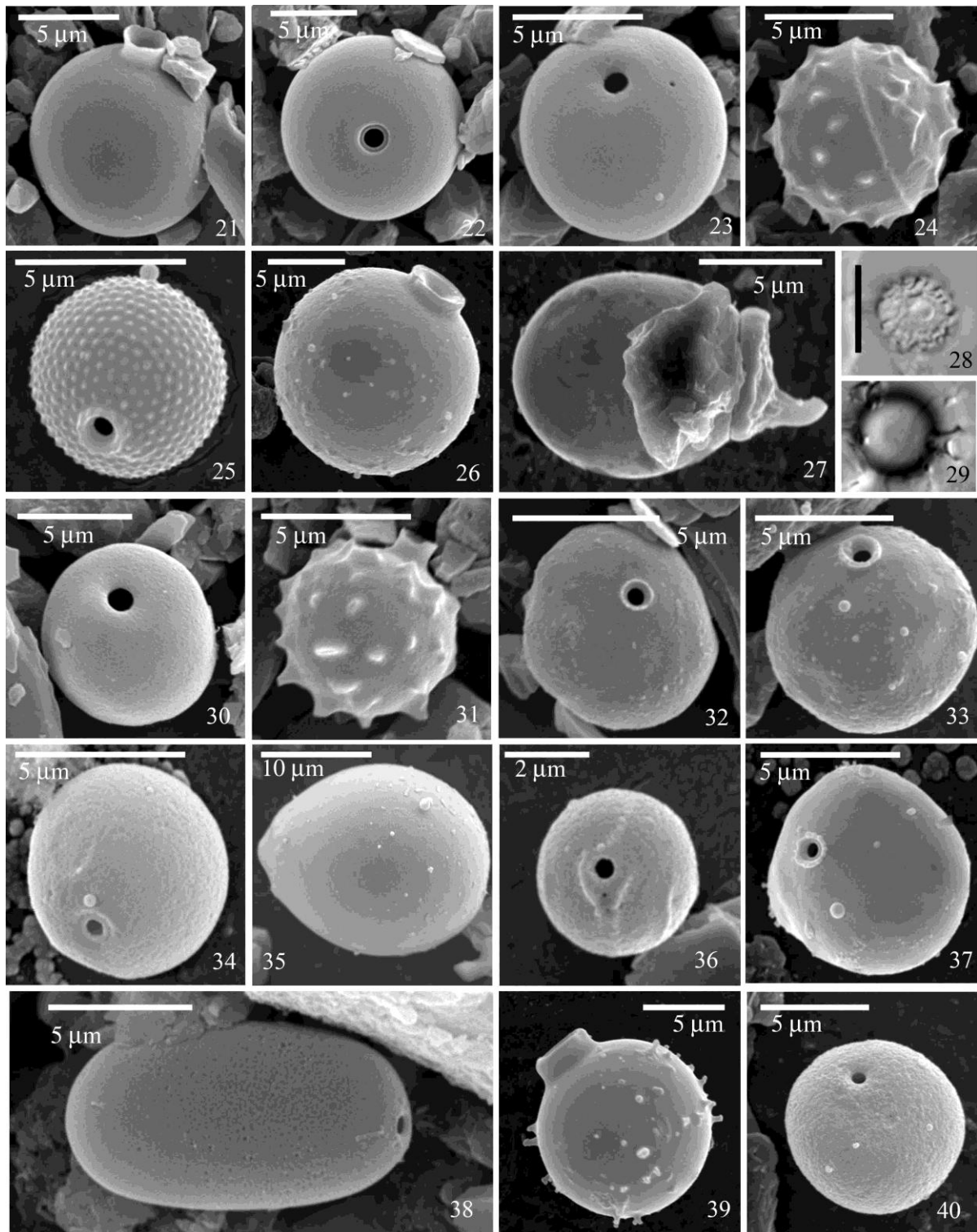
**72-107. ábra** A Gales tó (Gales-3 szelvény) domináns kovaalga flórájának fénymikroszkópos táblaképe. **72-76:** *Aulacoseira alpigena* – 64-, 68-, 72 cm; **77-78:** *Aulacoseira nivalis* – 56-, 60 cm; **79-81:** *Aulacoseira ambigua* – 56-, 64 cm; **82-84:** *Aulacoseira nivaloides* – 36-, 52-, 56 cm; **85-87:** *Aulacoseira pfaffiana* – 52-, 72-, 92 cm; **88-91:** *Aulacoseira valida* – 44-, 56-, 72 cm; **92:** *Saurosirella pinnata* s.l. – 112 cm; **93-96:** *Staurosira venter* s.l. – 44-, 84-, 104 cm; **97-99:** *Pseudostaurosira brevistriata* – 56-, 64-, 140 cm; **100-101:** indet fragilariod (*Staurosirella* n.sp.) – 28-, 80 cm; **102-104:** *S. exiguiformis* – 52-, 60-, 64 cm; **105-107:** *Fragilaroforma virescens* – 52-, 96-, 100 cm.

### Függelék III.

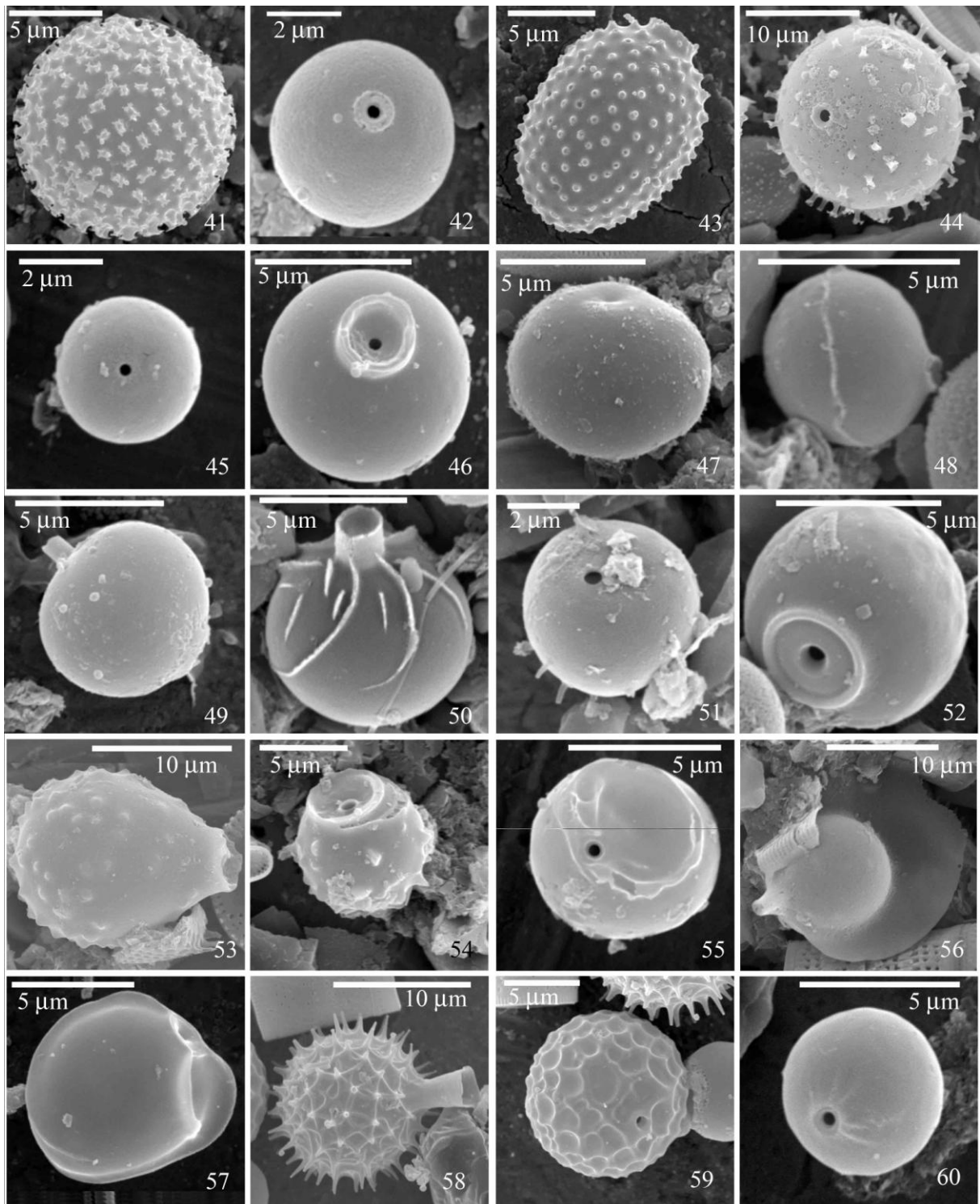


**1-19. ábra** A Gales tó üledékéből (Gales-3 szelvény) leírt új Chrysophyta sztomatociszta morfortípusok elektron- (**1-7. ábra**) és fénymikroszkópos (**8-19. ábra**) képei.

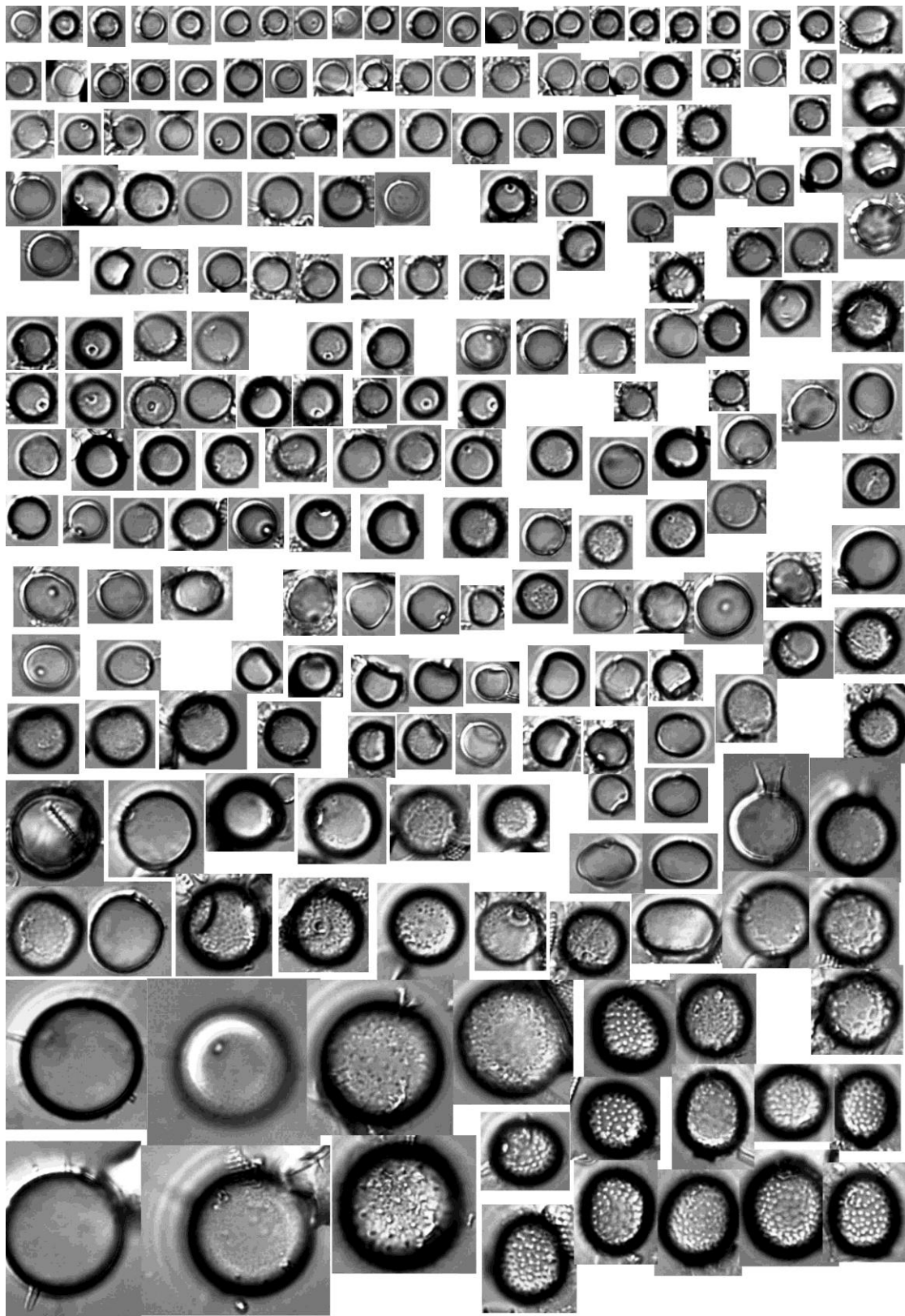
**1, 8-9. ábra:** C500; **2, 10-11. ábra:** C501; **3, 12-13. ábra:** C502; **4, 14-15. ábra:** C503; **5, 16. ábra:** C504; **6, 17-18. ábra:** C505; **7, 19. ábra:** C506. (A fénymikroszkópos képekhez tartozó mérce = 10  $\mu$ m)



**21-40. ábra** A Gales tó (Gales-3 szelvény) késő-glaciális és kora-Holocén diatóma zónáinak (DAZ-1, DAZ-3-5 zónák) legjellegzetesebb Chrysophyta sztomatociszta morfortípusai. **21-29. ábra: DAZ-1**; 21. ábra: C116 -264 cm; 22. ábra: C049 – 264 cm, 23. ábra: C189 – 264 cm, 24. ábra: C300B – 264 cm, 25. ábra: C210 – 260 cm, 26. ábra: C169 – 260 cm, 27. ábra: C135 – 260 cm, 28. ábra: „sztomatociszta 14” – 260 cm, 29. ábra: C079 – 260 cm, **30-33. ábra: DAZ-3**, 30. ábra: C189 – 236 cm, 31. ábra: C318 – 236 cm, 32-33. ábra: C360 – 236 cm, **34-37. ábra: DAZ-4**, 34. ábra: C120 – 196 cm, 35. ábra: C202 – 196 cm, 36. ábra: C239 – 196 cm, 37. ábra: C148 - 196 cm, **38-40. ábra: DAZ-5**, 38. ábra: C121 – 188 cm, 39. ábra: C169 – 188 cm, 40. ábra: C009 – 188 cm.



**21-40. ábra** A Gales tó (Gales-3 szelvény) közép- és késő-Holocén diatóma zónáinak (DAZ-6, DAZ-8-10 zónák) legjellegzetesebb Chrysophyta sztomatociszta morfortípusai. **41-44. ábra: DAZ-6;** 41. ábra: C072 – 180 cm, 42. ábra: C050 – 180 cm, 43. ábra: C072 – 180 cm, 44. ábra: C166 – 180 cm, 45. ábra: C001 – 168 cm, 46. ábra: C198 – 168 cm, 47. ábra: C148 – 168 cm, 48. ábra: C337 – 176 cm, **49-52. ábra: DAZ-8;** 49. ábra: C057 – 104 cm, 50. ábra: C324 – 168 cm, 51. ábra: C004 – 88 cm, 52. ábra: C180 – 104 cm, **53-56. ábra: DAZ-9;** 53. ábra: C133 – 48 cm, 54. ábra: C220 – 56 cm, 55. ábra: C092 – 16 cm, 56. ábra: C357 – 48 cm; **57-60. ábra: DAZ-10;** 57. ábra: C336 – 2 cm, 58. ábra: C035 – 2cm, 59. ábra: C243 – 2 cm; 60. ábra: C345 – 2 cm



**61. ábra:** A Gales-3 szelvény 60 cm-es minta (DAZ-9) változatos ciszta morfortípusainak fénymikroszkópos képei