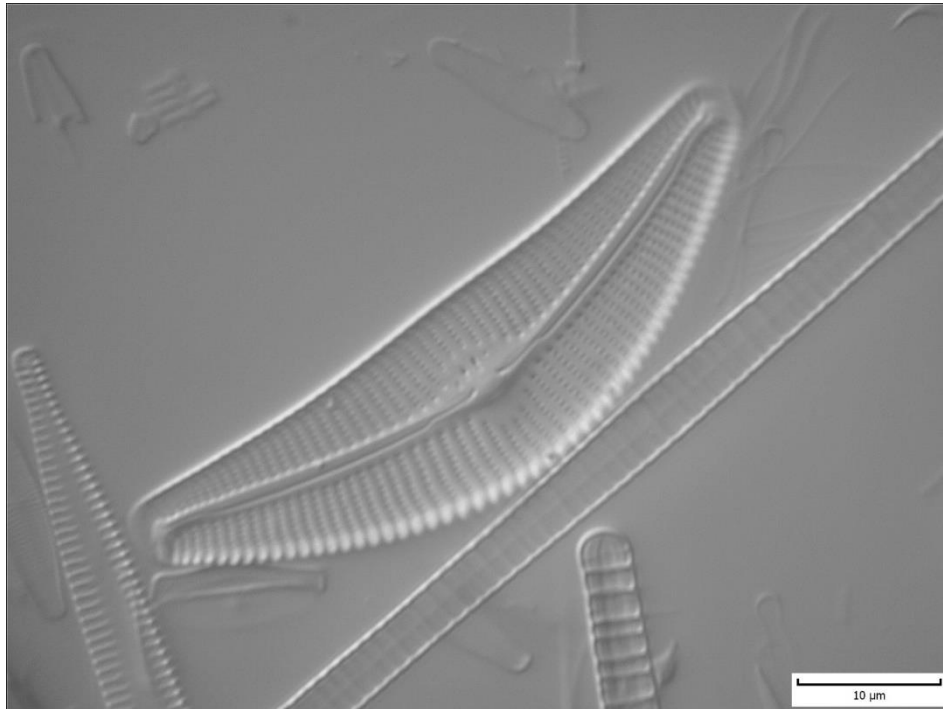


PALEOLIMNOLÓGIAI ADATOK ÁTTEKINTÉSE A REFERENCIA-FELTÉTELEK KIALAKÍTÁSÁHOZ



Szerkesztette:

Zagyva Tünde Andrea

Írták:

Dr. Ács Éva, Dr. Buczkó Krisztina, Dr. Kiss Keve Tihamér

Ökológiai Kutatóközpont

2022.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Irodalmi áttekintés.....	4
2.1. Fitoplankton.....	4
2.1. Fitobentosz	5
2.1.1. A paleolimológia lehetőségei és eszközei	6
3. Anyag és módszer	7
3.1. Fitoplankton.....	7
3.2. Fitobentosz	9
3.2.1. Proxik - multi-proxi vizsgálatok.....	9
3.2.2. A multi-proxi analízis jelentősége	10
3.3. Eredmények, értékelés.....	11
3.4. Fitoplankton.....	11
3.4.1. Bátorliget.....	12
3.4.2. Sarlólhát	13
3.4.3. Jándi-meder	13
3.4.4. Örvényszeg.....	13
3.4.5. Tákosi holtmeder.....	14
3.5. Fitobentosz és egyéb élőlénycsoportok	14
3.5.1. A paleolimológiában leggyakrabban alkalmazott módszerek és indikátorok	14
3.5.2. Multi-proxi vizsgálatok	24
3.2.3. A neo- és paleolimológia találkozása	34
4. Összefoglalás	40
5. Felhasznált irodalom	42
6. Melléklet	54
6.1. A vizsgált medrek fűrásmagjainak összsporoforma diagramjai.....	54
6.1.1. Bátorligeti lúp összsporoforma diagramja (Willis et al., 1995).....	54
6.1.2. A Jándi holtmeder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja (Félegyházi E., in Vass 2014) 55	
6.1.3. A tákosi paleo-meder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja (Félegyházi E., in Vass 2014) 55	
6.1.4. Az Örvényszeg paleo-meder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja (Félegyházi E., in Vass 2014).....	56
6.1.5. A Sarlólhát összsporoforma diagramja (Magyari et al., 2005).....	57

1. BEVEZETÉS

A Víz Keretirányelv (továbbiakban: VKI) megjelenése alapvetően megváltoztatta a vízminőség kérdéskörének megközelítését. A korábbi értékelő rendszerek, többnyire abszolút skála mentén értékelve a vízminőséget, egyfajta vízjóságot igyekeztek megjeleníteni. A VKI egyértelműen rögzíti az ökológiai állapotértékelő módszerek alapvető ismérveit, melyek közül a legfontosabb az, hogy az ökológiai állapot relatív skálán értendő, azaz egy víztér ökológiai állapotát az ugyanabba a típusba tartozó, de érintetlen víztér állapotával összevetve kell értékelni. Ennek a megközelítésnek feltétele, hogy *részletes információval rendelkezünk a referenciálisnak tekinthető vizek kémiai, biológiai és hidrológiai állapotáról*, valamennyi víztípus esetén. Ez különösen nagy kihívást jelent a mérsékelt öv alföldi területeinek állóvizei esetén, mivel e csoportban érintetlennek tekinthető vizeket alig találunk (Revenga et al., 2000). Ezek hiányában a VKI úgy rendelkezik, hogy *paleoökológiai, ill. modell-eredményekre*, vagy végső megoldásként, *szakértői becslésekre támaszkodva* kell a referenciális állapotot rekonstruálni (Moss et al., 2003). A *paleoökológiai vizsgálati eredmények* világszerte elfogadottak, és olyan területeken is alkalmazzák őket, mint a *klíma rekonstrukciók, a korabeli hidrológiai folyamatok leírása, ill. a trofitás szintjének időbeli változásainak feltárása*. Ez utóbbi lehetőség miatt döntöttek úgy a VKI megfogalmazói, hogy a paleoökológia eredményei segíthetik azt a folyamatot, ami a referenciális állapot (trofitási szint, referenciális élőlény együttesek) megadására irányul.

A tanulmány célja, hogy a „*A Víz Keretirányelv előírásai szerinti monitoring vizsgálatok és az ahhoz szükséges fejlesztések végrehajtása, továbbá a Víz Keretirányelv végrehajtásához kapcsolódó monitoring állomások kiépítése, fejlesztése*” tárgyú projekt (KEHOP-1.1.0-15-2016-00002, a továbbiakban: projekt) 10. projektetem, biológiai alprogram keretében elkészült jelenleg meglévő paleolimnológiai adatok figyelembevételével válaszoljon a vizeink kezelése szempontjából két fontos kérdésre:

- mennyiben tekinthetők a kisméretű, sekély, meszes állóvizeink természetesen eutrófnak, s ha igen,
- tekinthetők-e a legjobb állapotú tavaink referenciális víztesteknek?

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. FITOPLANKTON

A hazai állóvizeink döntő része kisméretű sekély mészből gazdag állóvíz (buckaközi-tó, tározó, ill. holtmeder). E vizek döntő része eu- ill. hipertrof állapotú (*Borics et al., 2015*). Fölmerül azonban az a kérdés, hogy ezen emelkedett trófikus állapot mennyiben köszönhető az antropogén terhelésnek, és mennyiben természetes eredetű. Az antropogén terhelés (mind a pontszerű, mind a diffúz) nyilvánvaló jelenléte és mértéke lehetetlenné teszi, hogy bármely állóvizünk, mint referenciális víztér kerüljön figyelembevételre. Vitathatatlan azonban, hogy kis állóvizeink olyan hidrológiai és hidromorfológiai sajátosságokkal rendelkeznek, amelyek fölgyorsítják a természetes eutrofizációt. Holtmedreink nagy terület- térfogat aránya jelentősen növeli a part felől érkező allochton terhelés mértékét.

A magyarországi ariditási tényező magas volta miatt (a párolgási veszteség magasabb, mint a felületre érkező csapadék mennyisége) a vizek jelentős része gyakorlatilag *endorheikusnak* azaz lefolyástalannak tekinthető, ami nem teszi lehetővé, hogy a vízben feldúsuló tápanyagok az elfolyó vízzel együtt távozzanak. A tavak jelentős részének medre nagy tápanyagtartalmú alluviális üledékbe van ágyazva (holtmedrek), ami szintén növelheti a tápanyagok beáramlásának mértékét. Mindezek miatt jogosnak tűnhet az a felvetés, hogy bár állóvizeinket jelentős tápanyag (és szerves anyag) terhelés éri, ezek azonban csak hipertrof állapotba juttatják az amúgy is természetes módon eutróf rendszert. *Moss és munkatársai (1994)* közép-angliai tavak esetén vélték úgy, hogy a tavakban mérhető magas összes-foszfor koncentráció ($50-1500 \mu\text{g L}^{-1}$) természetes geológiai folyamatok eredménye. Van azonban olyan vélemény is (*Anderson, 1995*), mely szerint a természetes eutróf tavak nem léteznek, vagy csak kivételes esetekben, s azok, amiket természetes eutróf állapotúnak gondolunk több száz, vagy akár több ezer évvel ezelőtti kulturális hatás eredményeként kerültek magasabb trófikus szintre. *Goslar és mtsai (1999)* egy lengyelországi tó üledékének vizsgálatával igazolták, hogy cianobaktérium virágzások a 15. században jelentek meg antropogén hatás eredményeként. A tó ettől kezdve eutróf állapotú volt. A cianobaktériumok egyre növekvő mennyisége azonban már a 10. századtól kimutatható. A közép-angliai tavak esetén is ismertek a középkorból származó olyan feljegyzések, amelyek a tavak eutróf

állapotára utalnak, de itt is megfigyelhető, hogy az eutrofizáció a középkor derekán indult be igazán, a mezőgazdaság föllendülését követően. A nyugat-angliai Crose Mere üledékének vizsgálata alapján megállapítható, hogy az eutrofizáció már a vaskorban megindult, a kenderáztatást, fakitermelést, majd szántóföldi művelést követően (Beales, 1980). Moss feltételezte, hogy a tavak természetes eutrofizációja az alapkőzet magas foszfortartalmának köszönhető, amit azonban nagymértékben árnyal az a tény, hogy a területen évezredek óta jelen vannak az emberi tevékenység nyomai, és akár csak a vizek esetén, úgy a talajnál is felmerül a kérdés, hogy tápanyagkészletét milyen mértékben befolyásolták az antropogén hatások.

A fenti rövid áttekintésből is kitűnik, hogy a természetesen eutróf tavak léte és trofitási állapotuk egykori szintje vitáktól nem mentes területe a limnológiának, ezért minden olyan esetben, amikor felmerül annak lehetősége, hogy egy tó akár természetesen is eutróf lehet, körültekintő vizsgálatokra van szükség. A paleolimnológia eszköztárában több olyan mérhető változó szerepel, ami alapján **a trofitás mértéke becsülhető**.

A tavak üledékében számos olyan mikro- és makro-fosszília található, amelyek hűen tükrözik azokat a változásokat, amelyeken az adott tó és annak élővilága átment.

A paleolimnológusok az elmúlt évtizedekben számos olyan ún. transzferfüggvényt dolgoztak ki, amelyekkel a fúrásból kapott mikro- és makro-fossziliák alapján becsülhető egy adott kor klímája, hidrológiai viszonyai vagy magának a tónak a trofitása. A *magyarországi paleoökológiai vizsgálatok* főként a klíma változás kérdéskörét (Vass, 2014), ill. az emberi tevékenységek egyes periódusait igyekeznek feltárni (Magyari et al., 2012). Azokra a víztípusokra (sekély kisméretű meszes állóvizek), amelyek a VKI szempontjából hazánkban relevánsak, nem történtek trofitás-rekonstrukciós célú vizsgálatok. Lehetőség van azonban arra, hogy a meglévő, más céllal készült vizsgálati anyagokat áttekintve megvilágítsuk azt a dilemmát, ami a hazai állóvizeink esetleges természetes eutróf állapota, annak mértéke, ill. az antropogén terhelések mértéke tekintetében valóban fennáll.

2.1. FITOBENTOSZ

Magyarország területén kevés olyan üledékgyűjtő van, amely alkalmas hosszú, nagyfelbontású, multi-proxi vizsgálatokra, ennek ellenére, **a paleoökológia gyorsan fejlődő tudománya számos lehetőséget biztosít a vízminősítésben**. A tanulmányban összefoglaljuk a paleolimnológia nyújtotta lehetőségeket, milyen (elsősorban biotikus)

proxikat vizsgál és bemutatjuk a multi-proxi vizsgálatok előnyeit. Táblázatban bemutatjuk a Magyarországon dolgozó különböző biotikus proxik szakembereit, kik a fő adatközlők. Hazánkban a tavak trofitásának hosszútávú rekonstrukciójára eddig három proxik alapján készültek tanulmányok (pigment, cladocera és kovaalga), bemutatjuk ezek főbb eredményeit.

A Balaton paleolimnológiai és neotektonikai vizsgálatának összefoglalóját adjuk, azért is, mert ez az a víztér, ahol eddig a legtöbb vizsgálat folyt és folyik jelenleg is. Végül szólnunk más, paleolimnológiai mintavételi helyekről, ahol kovaalgavizsgálatok folynak a Kárpáti régióban.

2.1.1. A paleolimológia lehetőségei és eszközei

A paleolimológia a paleoökológia része, amely gyorsan fejlődő eszköztárával lehetőséget biztosít arra, hogy ismeretek szerezzünk azokról az időkről, amikor még nem rendelkezünk műszeresen mérhető adatokkal.

A paleolimológia az elmúlt évtizedek egyik leggyorsabban fejlődő tudományterülete (Cohen 2003), amely főleg a tavi üledékben megőrződött maradványok/bizonyítékok/fossziliák elemzésével foglalkozik, ezek alapján rekonstruálja a múltbéli változások idejét, amplitúdóját. A levonható következtetések felhasználásával predikciók felállítására is vállalkozhat. A paleolimnológusok által használt eszköztár fejlődését jól nyomon tudjuk követni pl. az 1988-ban indult *Journal of Paleolimnology* folyóirat cikkei alapján, amelyben egyre több szempont alapján elemzik az üledékeket, egyre több indikátor használhatóságát ismerik fel a kutatók.

A paleoökológiai vizsgálatok tág fogalmán belül célszerű *elkülöníteni a klímára, a klimatikus változásokra vonatkozó kutatásokat* azoktól, amelyek *az antropogén, azaz az emberi hatásra létrejött változásokat* vizsgálja. Ugyancsak célszerű megkülönböztetni azokat a kutatásokat, amelyek a tavi üledékeket arra használják, hogy szűkebb vagy tágabb *környezeti rekonstrukciókat* végezzenek, ezek alapvetően *a teresztris ökoszisztémák megismerésére koncentrálnak*, azoktól amelyeknek célja az adott víztér és annak történetének megismerése. *Az előbbinél a tavi üledék vizsgálata az eszköz, míg az utóbbinél a cél.*

Magyarországon az ötvenes évektől kezdődően indult fejlődésnek a paleolimológia, elsősorban Zólyomi Bálint munkásságához köthetően, de a gyökerek sokkal korábban

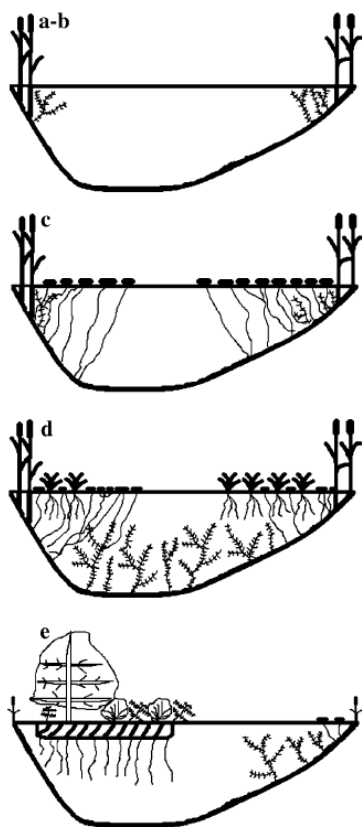
nyúlnak vissza, *a 19. században a Balaton kutatás során már számos vizsgálatot végeztek.*

A Balatonban *az első multi-proxi jellegű kvantitatív őskörnyezeti rekonstrukció a Kis-Balaton Zalavári-vízének állapotértékelésére* irányult. A Holocén kovaalga flóra feltérképezése (Buczko et al. 2009) mellett, a *Cladocera maradványok vizsgálata* (Kopronai et al. 2010), és a Balaton vízszintváltozásának leírása (Buczko et al. 2009) történt meg. Különösen fontos ez a vizsgálat annak tükrében, hogy – a Balaton korolásának problematikájával szemben – a kis-balatoni üledék korolása megbízhatóbb.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. FITOPLANKTON

A vizsgálatok alapját képező paleolimnológiai adatok alatt a főként alföldi területen végzett fúrások *összsporoforma diagramjait* értjük, ill. azokat az egyéb *mikro-, esetleg makro-fosziliákat*, melyekből *a tavak limnológiai állapotára* következtethetünk. A vizsgálatok alapkonceptiója az, hogy amennyiben egy állóvíz esetén a szerves hordalék bemosódás mértéke csekély, *a tó feltöltő szukcessziójának irányát és sebességét* a mederben akkumulálódó *növényi biomassza mennyisége* határozza meg. Arra, hogy antropogén hatás esetén milyen dinamikával számolhatunk, jól példázzák azon mentett-oldali holtmedrek, amelyek a Tisza szabályozását követően jöttek létre, így koruk pontosan megadható, és közvetlen partvonaluk mentén az intenzív mezőgazdasági művelésből adódóan jelentős diffúz terhelés valószínűsíthető.



1. ábra Tisza menti holtmedrek organogén feltöltő szukcessziójának jellemző stádiumai (Krasznai és mtsai 2010)

Tisza-menti holtmedrek fitoplankton-vizsgálata során Krasznai és munkatársai (2010) vázolták a makrovegetáció fejlődésének főbb stációit (1. ábra) és azokat az algaegyütteseket, amelyek ezeket az állapotokat leginkább jellemzik. A vizsgált holtmedrek között található még jelentős nyíltvízi felülettel rendelkező tavak és makrovegetációval csaknem 100%-ban borított vízterek is. Ez alapján megállapítható, hogy *antropogén terhelés mellett* egy holtmeder esetén a *nyíltvízi állapot eltűnése akár bő száz év alatt* lezajlik. Ha ez a folyamat a múltban is hasonló ütemben zajlott, amikor a terhelések mértéke minimális volt, akkor joggal feltételezhetjük, hogy bár az emberi behatások jelen vannak a tavaink vízgyűjtőjén, ezek azonban alapvetően nem befolyásolják a feltöltő szukcesszió menetét. Ellenkező esetben azonban joggal feltételezhető, hogy az eutróf állapot kialakulása hosszú időt vesz

igénybe, és a frissen lefűződő sekély holtmedrek vagy a buckaközi tavaink egykor, természetes viszonyok között oligotróf, oligo-mezotróf állapottal voltak jellemezhetőek.

Krasznai és mtsai (2010) vizsgálatai alapján az is megállapítható, hogy még 80%-os makrofiton borítás mellett is változatos összetételű fitoplanktonnal találkozhatunk. Diverzitás csökkenés csak a nyíltvízi állapot nagyon jelentős (90%-os) visszaszorulása esetén volt megfigyelhető. Ezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy a fitoplankton elemeinek jelenléte a fúrásmagokban nem egyértelmű bizonyítéka annak, hogy a tó az adott időszakban nyíltvízi dominanciával jellemezhető rendszerként működött. Ugyanakkor az utolsó nyíltvízes foltok megszűntével a planktonikus fajok eltűnnek ezekből a rendszerekből, ezért teljes hiányuk a tavi állapot megszűntét jelzi.

A folyamat megértése szempontjából különösen informatív a *hínárnövényzet és az emergens mocsári növényzet hosszú-távú dinamikájának* nyomon követése.

Amennyiben tehát lehetőségünk van sekélytavi fűrásmagok paleoökológiai célú vizsgálati eredményeinek áttekintésére a tavak feltöltődése kapcsán, akkor azokat abból a szemszögből kell vizsgálnunk, hogy a planktonalga és hínárnövény fossziliák alapján valószínűsíthető-e a nyíltvízi tavi állapot, és mikor jelentkeznek az emergens mocsári növény dominancia, ami már egyértelműen nagyobb tápanyagtartalomra és mocsári, ill. lápi dinamikára utal.

A hazai paleoökológiai irodalom áttekintése során azokra a tanulmányokra helyeztük a hangsúlyt, melyek alföldi lápok, feltöltött morotvák fűrásmagjainak részletes elemzésén alapulnak.

Munkánk során két kérdésre kerestünk választ:

1. A pollen, makro- és mikro-fosszilia adatok alapján elkülöníthetők-e a vélhetően nyílt, tavi állapottal és a zárt lápi, mocsári állapottal jellemezhető időszakok?
2. Milyen hosszú az a periódus, ami nyíltvízi tavi állapottal jellemezhető?

3.2. FITOBENTOSZ

3.2.1. Proxik - multi-proxi vizsgálatok

A fizikai-kémiai jellemzők mellett az elmúlt néhány évtizedben számos *biológiai indikátort* is leírtak és *alkalmazznak paleolimnológiai kutatásokban*. Ahhoz, hogy egy szervezet hasznos paleolimnológiai indikátor lehessen, *két fontos feltételnek* kell megfelelnie: egyrészt, *egyértelműen azonosítható legyen* az üledékből, másrészt a szervezet *ökológiai jellemzői jól ismertek legyenek*. Ugyanis anélkül, hogy ismernénk egy szervezet ökológiai igényeit, nem tudunk következtetéseket levonni a múltbeli környezetére sem.

Az élőlények jelentős része hagy megbízhatóan azonosítható nyomot vagy maradványt elpusztulása után. Előfordulhatnak azonban olyan kémiai fizikai folyamatok a fosszilizáció során, amelyek degradálhatják ezeket a maradványokat. Gyakran az indikátor szervezet maradványának állapotából (az anyag megtartásából) is lehet paleokörnyezeti információt nyerni.

Ideális esetben, a rekonstrukciókhoz felhasznált szervezetek vagy más néven *paleoindikátorok* nagy számban fordulnak elő az üledékben, és könnyen leszámolhatóak (*Smol, 2008*), másként fogalmazva, könnyen kvantifikálhatóak.

Az üledékből nyerhető fizikai, kémiai és biológiai adatok gyakran nagyon összetettek, olykor akár ellentmondásosak. Ha az üledékmag vételéhez megfelelő mintavevő technikát alkalmaznak, és a mélység-idő profil is megfelelő, a következő lépés az üledékrétegekben megkeresni a paleokörnyezeti információ hordozóját (*Smol, 2008*).

Egyetlen élőlénycsoport sem képes átfogó képet adni a tavi ökoszisztémáról vagy a bekövetkező környezetváltozásról, ezért fontos egy paleoökológiai tanulmánynál, hogy minél több paleoökológiai eredményt gyűjtsünk össze többféle csoportból és élőhelyről (*Cohen 2003*), ezt nevezzük multi-proxi közelítésnek.

A tavi és tengeri üledékek képződése során autochton (a vízben magában) és allochton (a vízbe kívülről bekerülő) elemek is megőrződnek. Az ülepedést is számos tényező befolyásolja, többek között az évszakosság, a kívülről bemosódó, beszállított anyag mennyisége, szedimentációs folyamatok, másodlagos folyamatok, átrendeződés, reszuszpenzió, bioturbáció. Az üledékben megőrződött maradványok egy részének tanulmányozásához kisebb anyagmennyiség is elég (diatóma, pollen, foraminifera) míg azok a proxik, melyek tanulmányozásához nagyobb anyagmennyiségre van szükség (puhatestűek, rovarok) csak kisebb felbontást tesznek lehetővé.

A geokémiai proxik a leggyakrabban használatosak. Az oxigén, szén és hidrogén izotóparányait több tényező befolyásolja, többek között a hőmérséklet és a párolgás. A nehezebb izotóp nehezebben távozik a vízből, feldúsul abban. Az izotóp arányok változásából számszerűen lehet következtetéseket levonni a hideg/meleg, nedves/ száraz időszakokra.

3.2.2. A multi-proxi analízis jelentősége

A proxy az üledék olyan kvantifikálható tulajdonsága, amiből következtethetünk a környezeti változásokra. Másként fogalmazva a környezeti paraméterek kvantitatív becslésére dolgozták ki a **proxikat**. A név az angol „proxy variable” kifejezésből ered, amely becsüli, megközelíti a valós értéket. (*Fischer & Wefer 1999*), vagyis a proxy egy utasítás, vagy algoritmus, amely leírja, hogy lehet a fosszilis anyagon mért, vagy megfigyelt eredményből a múltbéli környezetet leíró környezeti változót képezni.

A fosszilis anyagba zárt információ lehet a fosszília kémiai tulajdonsága (pl. oxigén izotóp foraminiferában mérve) vagy fizikai tulajdonsága (pl. mekkora, milyen és hány fosszília). Ezen belül felmérhetjük a biometriai változókat (méretek), prezervációs vagy töredezettséget leíró indexeket számolhatunk, végül “census data” (számlási adat) is

rögzíthetünk. Ez a legegyszerűbb esetben prezencia/abszencia (megvan egy adott szervezet az adott rétegben, vagy nincs), félkvantitatív, abszolút gyakoriság, vagy relatív gyakorisági (pl. százalékos eloszlás fajonként) adat sor.

Egy proxy alapján nem lehet teljes környezeti rekonstrukciót végezni, így a multi-proxi közelítés egyre inkább kívánalom a paleoökológiai kutatásokban (Birks és Birks 2006). Az üledék számos fizikai kémiai és biológiai információt hordoz, amelyek segítségével az egykori limnológiai feltételek rekonstruálhatóvá válnak.

3.3. EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS

3.4. FITOPLANKTON

A hazai irodalmak áttekintése során öt olyan fűrészmag összsporoforma diagramja került elő, melyek értékelésével az anyag és módszer fejezetben feltett kérdéseinkre választ kaphattunk. Az első kérdés tekintetében egyértelműen megállapítható, hogy **a fűrészmagokban** a tavi állapotra jellemzőnek mondható **hínár dominancia**, és a záródó medreket jellemző nagyobb **emergens vegetáció dominancia** valamennyi esetben **elkülöníthető**. A nyíltvízi tavi állapot meglétét két esetben (Örvényszeg, Sarlóhát) planktonikus algák maradványai is jelezték.

Második kérdésünk az volt, hogy milyen hosszú az a periódus, melyben a tavak még nyílt vízi rendszerként vannak jelen a tájban. Erre a kérdésre a válasz már jóval nehezebb, hiszen olyan növényfajok, mint a *Myriophyllum spicatum*, vagy bizonyos *Potamogeton* fajok egyaránt jelen lehetnek oligotróf tavak litorális régiójában és eutróf tavak csaknem zárt, mocsarasodó részein is. Ennek ellenére a fűrészmagok pollenanalízise alapján egyértelműen megállapítható, hogy a jégkorszak kései szakaszában lefűződő holtmedrek, vagy az eolikus úton létrejött buckaközi tavak évezredekken keresztül tavi állapotot tükröztek. A nyíltvízi állapot megszűntét jelző emergens mocsári növények előretörése mind a vizsgált öt víztest esetén megfigyelhető, de az, hogy ez az olykor relatíve gyorsan végbemenő folyamat –pusztán azért mert „régén volt”– egyértelműen természetesnek tekinthető, nem állítható nagy biztonsággal. A neolitikumi embernek is volt bizonyos ökológiai lábnyoma (Tóth and Szigeti, 2016), ami a vizekre való hatásukban is megnyilvánult. A kis vízterek mellett végzett beavatkozások a tájban gyakran rendkívül gyors változásokkal járnak. Braun és mtsai. (1993) a Kállósemlényi Nagy Mohos-láp fejlődéstörténetét vizsgálva jutottak arra a megállapításra, hogy a Nagy Mohos esetén használt ősláp terminus nem hogy erősen

túlzó, hanem teljesen téves. A tó a boreális végén alakult ki és lassú tavi feltöltődés jellemezte egészen a 18. századig, amikor is a tó környéki tölgyes tarra vágásával olyan mértékű erózió és ezzel tápanyagterhelés érte a medret, hogy az rövid időn belül eutróf síkláppá alakult. Az eutróf síkláp megjelenésének és gyors terjedésének számos recens példája ismert ma is, gondolva itt a Kis-Balaton, a Velencei-tó, a Ráckevei-Soroksári Dunaág, vagy a Tiszadobi Malom-Tisza úszólápjaira.

A hazai paleoökológiai kutatások számos értékes eredményt szolgáltattak a Holocén klíma változásainak megértéséhez, de ezek egy jelentős része határon kívüli, hegyvidéki tavak paleoökológiai vizsgálatán alapul. Ezek a kutatási eredmények és a mögöttük levő fúrásanyagok feldolgozott adatai jelen céljainkra nem használhatók. Vizsgálataink során az *alföldi lápokra, ill. vízterekre vonatkozó közlemények* adatsorait tekintettük át:

- *Bátorligeti láp (Willis et al., 1995),*
- *Sarlóhát (Holtmeder Tiszagyulaháza) (Magyari et al., 2005),*
- *Örvényszeg (Beregi sík egykori holtmeder) (Vass, 2014),*
- *Jándi-meder (Jánd) (Vass, 2014),*
- *Tákosi Holt meder (Vass, 2014).*

3.4.1. Bátorliget

A Bátorligeti ősláp kialakulását a Würm időszak végére datálják, amikor is egy eolikus eredetű (szél által kialakított) oligotróf tó jött létre (Sümegei és mtsai., 2003). E tó feltöltődése során keletkezett a láp és kapta jelenlegi arculatát. A Willis és mtsai (1995) egy 170 cm-es fúrásanyag feldolgozását és korolását végezték el. A felső 100 cm kora mintegy 9500 éves, míg a mélyebb részekben bizonytalan becslési eredmények adódtak, ezért a szerzők azok korának publikálásától eltekintettek. A felső 100 cm-es rétegben a pollanalízisek eredményei már egyértelműen emergens makrofíton dominanciát jeleznek. Az alsó hetven cm-es rétegben azonban *Myriophyllum* dominancia figyelhető meg. Jóllehet ennek a rétegnek a kora nem ismert, de az igen, hogy a boreális időszakban a mederfeltöltődések üteme nagyon lassú volt (Lóczy és Kiss, 2008), tehát a nyíltvízi állapot időtartama is több ezer évet ölel fel.

3.4.2. Sarlólhát

A Sarlólhát egy több mint 10 ezer éves természetes módon lefűződött tiszai holtmeder. *Magyari és mtsai (2005)* a Sarlólhátot végzett vizsgálataikkal a neolitikumi ember észak-alföldi tájra gyakorolt hatásait igyekeztek föltárni. E munka során két fúrásmagot vizsgálva nemcsak a számukra kiemelten fontos mikro-fossziliákat elemezték, hanem pontos adatokat közöltek a vízi makro- és mikrovegetáció összetételére vonatkozóan is. A fúrásmagból a következő algataxonok kerültek elő, *Pediastrum boryanum*, *P. simplex*, *Spirogyra*, *Gloeotrichia*. és *Botryococcus* fajok. A nyíltvízi taxonok közül a *Pediastrum* fajok a tó kialakulásától az atlanti fázisig (7500 év BP) dominánsan volt jelen az üledékben.

A hínárnövények közül *Potamogeton* fajok jelenléte a tó teljes fejlődési folyamata során kimutatható volt, míg az eutróf vizekre jellemző *Nymphaea*, *Nuphar* és *Salvinia* fajoké az utóbbi 5500-6000 évben vált meghatározóvá. Az emergens növények közül Cyperaceae a tó teljes élettartama során jelen voltak, míg a szintén eutróf állapotú tavakban tömeges *Sparganium* sp. ill. a *Typha angustifolia* csak az utolsó 4000 évben vált meghatározóvá.

A két rekord alapján valószínűsíthetően legalább 4000 éven keresztül a Sarlólhátot nyíltvízi dominancia jellemezte, és még azt követően is 2-3000 évig tartó lassú mocsári-feltöltődés zajlott.

3.4.3. Jándi-meder

A Jándi meder a Tisza mentén Jánd község területén található. Kora a fúrásmagból nem határozható meg, mert a folyóvízi üledékréteget a fúrás során nem sikerült elérni. A vizsgált mintegy 430 cm-es üledék az elmúlt 8000 évben halmozódott fel. A vízi növényzet pollenanalízise alapján elmondható, hogy a *Typha* jelenléte mindvégig megfigyelhető volt, bár mennyisége nem volt jelentős. A *Myriophyllum* jelenlétét is sikerült igazolni a 6000 és 4000 éves periódusban, azt követően azonban eltűnt. A meder záródása minden bizonnyal a nád tömegessé válásával fejeződhetett be, ami a pollenadatok szerint 3000-3500 éve mehetett végbe.

3.4.4. Örvényszeg

Az Örvényszeg a Beregi síkon a Tiszától távol (3,5 km-re) található feltöltődött holtmeder. A rajta végzett fúrás során sikerült elérni az egykori folyami homokos üledéket így a fejlődéstörténete teljesen rekonstruálható. A tó-meder a késő glaciálisban

fűződött le és a boreális időszakban *Sphagnum*-os láptóként működött. A *Myriophyllum* jelenléte egészen a boreális végéig megfigyelhető volt. Bár az összsporoforma diagramon nem kerültek feltüntetésre, a *Myriophyllum* jelenlétével párhuzamosan olyan planktonikus algák, mint a *Pediastrum kawraiskyi*, vagy a *Mallomonas teilingii* is mindvégig jelen voltak. Az emergens vegetáció előretörése az Atlantikum végén (5000 év BP) következett be, amit a *Typha* és különösen a *Phragmites* pollenek jelentős mennyiségének növekedése jelez.

3.4.5. Tákosi holtmeder

A Tákos községtől nyugati irányban található holtmeder a fúrásanyag elemzése alapján a Boreális végén, az Atlantikum legelején fűződött le a folyótól. Az összsporoforma diagram alapján megállapítható, hogy a *Myriophyllum* egészen a Szubboreális-Szubatlanti átmenetig jelen volt a mintában. A meder záródása a Szubatlanti fázisban következett be, amit a sás *Carex* és palka Cyperaceae fajok pollenjeinek hirtelen emelkedése jelez.

3.5. FITOBENTOSZ ÉS EGYÉB ÉLŐLÉNYCSOPORTOK

3.5.1. A paleolimnológiában leggyakrabban alkalmazott módszerek és indikátorok

Pollen és spóra

A *pollen-analízis* egyike a legrégebben és leggyakrabban alkalmazott paleolimnológiai módszernek. A XX. század első felében már számos tanulmány hívja fel a figyelmet a palinológia nyújtotta lehetőségekre. A *virágporszemek* ellenálló burkuknak köszönhetően (sporopollenin) *jól megőrződnek* és mivel nagy tömegben termelődnek *kiválóan megfelelnek a paleolimnológiai proxiknak állított követelményeknek*. A pollenelemzés eredményeit számos kapcsolódó tudományterület használja fel, mivel a pollenek apró mérete miatt nagyfelbontású, részletes adatsor áll a kutatók rendelkezésére, pl. ökológia, klimatológia, archeológia, de napjainkban az allergének miatt az orvostudományban is kiemelt fontossággal kezelik. Hazánkban a pollennel kapcsolatos paleolimnológiai kutatások kezdete *Zólyomi Bálint* munkásságához köthető. Jelenleg *Magyari Enikő* (<https://sites.google.com/site/enikomagyaripollen/Home>), *Törőcsik Tünde* dolgozik a területen, számos ifjú szakembert képezve.

A palinológiai vizsgálatok leginkább a szárazföldi növényzet rekonstruálására összpontosítanak (*Bennett & Willis, 2001*), és gyakran kötődnek paleolimnológiai kérdésekhez, mint például egy tó vízgyűjtő területén bekövetkezett változások vizsgálata.

A növények általában sok pollent termelnek, néhány fa akár több milliárd virágporszemet is termelhet évente. A pollentermelés ugyanakkor fajspecifikus, vannak olyan fajok, amelyek tömegesen és vannak, amelyek csak kis számban termelnek pollent. A pollenszemek pedig a szállítóközegek révén hatalmas utakat tehetnek meg, amelynek segítségével regionális változások vizsgálatára válnak alkalmassá. Külső rétegük rendkívül ellenálló polimer sporopolleninből áll, így rendkívül jól megőrződnek az üledékben hosszú időn keresztül (*Smol, 2008*).

A pollenszemek és spórák azonosítása és leszámolása az üledékben továbbá az üledék radiokarbonos kormeghatározása, lehetővé teszi a palinológusok számára a múltbeli események rekonstruálását a szárazföldi növényzet, a vízi makrofita és a part menti növényzet változását illetően egyaránt (*Sümegei, 2001*). Fontos alkalmazása még a palinológiának, hogy ***felhasználható a vízgyűjtő-területet ért emberi hatások*** (erdőirtás, gyomnövények, gabonafélék) ***rekonstruálására is***, a specifikus antropogén pollen indikátorok segítségével. Ugyanakkor *a mélység-idő profil létrehozásában* is alkalmazható, mint például a parlagfű pollen esetében, amelynek megjelenését Európában gyakran használják kronológiai markerként. További alkalmazásként említhető még az *erdőborítottság változásának vizsgálata*, amelyhez a fák által és nem fák által termelt pollenek arányát használják fel. (*Smol, 2008*).

Hazánkban új vizsgálati módszer, amikor az üledékben található pollenek kiválogatásával *pollenkonzentrátumokat* hoznak létre és ezeken *végeznek kormeghatározást* (Magyari E. személyes közlés). A módszert a Szent Anna tó esetében 2018-ban sikerrel alkalmazták, jelenleg a Balatonban folynak ilyen jellegű kormeghatározási munkák.

Növényi makrofossziliák

Növényi makrofossziliákon tulajdonképpen minden szabad szemmel látható, azonosítható növényi maradványt értünk. Ilyenek például *a magok, termések, tűlevelek, kéreg, gally, moha töredék, epidermisz* vizsgálatok. Mivel ezek a maradványok nehezebbek, mint a pollen, nem szállítódnak el olyan nagy távolságokra, így inkább

alkalmasak lesznek a lokális változások leírására. **Kiegészíti a pollenanalízist**, segítve az eredmények helyes értelmezését, kiküszöbölve annak néhány fogyatékoságát (Jakab és Sümegi 2011). Például a fosszilis kutikula elemzés fontos része a füves területekről származó vizsgálatoknak, mivel az ezekről a területekről származó pollenszemek elkülönítése szinte lehetetlen. Ilyenkor a fűszálak bőrszövetének kutinból felépülő, rendkívül ellenálló külső része megőrzi az alatta lévő epidermisz mintázatát, ami lehetővé teszi akár a faj szintű azonosítást is. Ugyanígy alkalmazható a tülevelű fajok esetében a sztóma maradványok vizsgálata. (Sümegi, 2001)

A növényi makrofossziliákat a múltbeli vízi makrofita és parti vegetáció rekonstruálására is használják (Birks, 2001). Alkalmazásuk segíthet például a litorális zóna fejlődésének nyomon követésében, vagy akár antropogén tevékenységek (fűrésztelep) kimutatásánál lehetnek fontos kronológia markerek (Reavie et al 1998). A makrofosszília elemzés hátránya, hogy „nagy az anyagszükséglete” vagyis egységnyi mintában jóval kevesebb makrofosszília található, mint pollen, így sokkal nehezebb belőle reprezentatív mintát gyűjteni. Ez olykor csak nagyobb felbontású elemzést enged meg.

Pernye vizsgálatok

A múltbeli tüzek során keletkezett növényi maradványokat pernyének nevezzük, amely a paleoökológiai rekonstrukciók során gyakran nyújt **hasznos információt a száraz/nedves időszakok hosszára, váltakozására** vonatkozóan. A *pollen és makrofosszília elemzések kiegészítéseket alkalmazzák*, mivel többlet információval szolgál a fajösszetételről, az erdőtelepítésről, bizonyos fajok kiválasztódásáról, az állattenyésztésről, és a száraz periódusokról (Náfrádi et al., 2012). Hasonlóan a pollenhez, a kisméretű (mikropernye) növényi széndarabok is a légáramlatok révén nagy távolságokra eljuthatnak, ezért fontos információval szolgálhatnak a múltbeli tüzek gyakoriságával kapcsolatban. A nagyobb méretű növényi szén darabok (makropernye) pedig inkább a helyi tüzekről adnak információt. A növényi szén profil használható még, mint geokronológiai eszköz is, amely segít meghatározni egy adott területen például az égetéses földművelés kezdetét és tanulmányozni a tűz utáni szukcessziót (Smol, 2008). A tartós tüzek jól korrelálnak a vízszintváltozásokkal is, a több pernye alacsonyabb vízszintet, a kevesebb pernye pedig magasabb vízszintet jelez.

Algák

Az algák változatos felépítésű élőlények, nem rendszertani kategória. Általában fotoszintézisre képes növények. Az édesvizekben (tavak folyók) az elsődleges termelés nagy része az algáktól származik. A legtöbb alga csoport hagy valamilyen fosszilis maradványt a tavi üledékekben, ami lehet morfológiai (pl. diatóma kovaváz, sárgamoszat pikkely) vagy biogeokémiai (alga pigment) bélyeg.

Kovaalgák (Diatómák)

A diatómák széles körben alkalmazott proxy, nagy számban találhatóak a tavi üledékekben, jól őrződnek meg, faji szinten határozhatóak, ezért **nagyon jó környezeti indikátorok**. Jól használhatóak a *Holocén klíma változások detektálására* (Mackay et al. 2003) és a *múlt időszak levegő hőmérsékletének rekonstruálására* (Weckström et al. 2006). Jól alkalmazhatók az *eutrofizálódás becslésére*. A diatómáknak több ezer faja létezik és a különböző taxonok eltérő környezeti optimummal és toleranciával rendelkeznek, így a fosszilis közösségek elemzése felhasználható egy sor környezeti változó rekonstruálására (Smol 2008).

A kovaalga közösségek leginkább a *szélintenzitás, csapadék, vízszint, felkeveredés, a vízoszlop rétegzettség és a tápanyag változásaira érzékenyek*.

A klímaváltozásra különösen érzékeny területeken, úgymint a sarkvidékek, a magashegyi tavak esetében (Stoermer & Smol 1999), a diatómák különös jelentőséggel bírnak, mivel a többi proxy (pollen, makrofosszília, állati maradványok) alig él meg ezeken a területeken. Ha mégis van értékelhető mennyiség belőlük, akkor az interpretációnál kérdés, hogy lokális vagy globális érvényű-e a levonható következtetés. Nincs kétségtétel az általuk adott válaszokban, mert rövid az életciklusuk, szemben pl. a fás vegetációval.

Ha a paleolimnológusok egyszerűen meg akarják becsülni a múltbeli diatóma populációkat és egyéb szilikát vázas élőlényeket, akkor kémiai módszert alkalmaznak az üledékben lévő biogén szilikát mennyiségének meghatározásához (Colney & Schelske, 2001).

Sárgamoszatok (Chrysophyta)

A Chrysophyta törzsbe tartozó algák különös jelentőséggel bírnak a paleolimnológiában. Hatékony stratégiájuk van kedvezőtlen körülmények között (pl.

oligotróf hideg vizekben), ami összefügg változatos táplálkozási stratégiájukkal. Egyaránt **képesek autróf, heterotróf és fagotróf táplálkozásra is** és a különböző táplálkozási formák között váltani is tudnak (Zeeb & Smol, 2001).

Az üledékben két formában is nyomot tudnak hagyni a jelenlétükről:

Egyrészt a Chrysophyceae pikkelyek révén, amelyek hasonlóan a diatómákhoz, sok morfológiai bélyeggel rendelkeznek, ami **fontos paleoindikátorra** teszi őket. (Smol, 2008). Jól megőrződő kovavázis szerkezetük ellenére felhasználhatóságuk korlátozott, mivel csak néhány taxon képez pikkelyeket és határozásuk csak elektronmikroszkóppal lehetséges (Zeeb & Smol, 2001).

Másrészt a Chrysophyceae ciszták révén, amelyek a pikkelyekkel ellentétben, csak bizonyos taxonokra jellemzők. Minden Chrysophyta taxon termel egy endogén kitaratósejt, ami *sztomatociszta* néven ismert. Kovavázis természetük miatt, ezek a mikroszkópikus ciszták, *jól megőrződnek az üledékben*. Sőt mitöbb a *ciszta morfortípusok fajspecifikusnak tűnnek*, habár eddig mindössze 15%-ukat sikerült az őket termelő taxonhoz kötni (Wilkinson et al 2001). Ezek jelenléte kihívás elé állítja a paleolimnológusokat: a legtöbb üledék különféle sztomatociszta közösségeket tartalmaz, amelyek elkülöníthetőek és fontos környezeti változókhoz kapcsolhatók (pH, tápanyagok), de nem kapcsolhatók ismert taxonokhoz. (Smol, 2008).

Fosszilis pigmentek

Habár az algák ismert morfológiai bélyegeinek listája egyre növekszik, nagyon sok taxon van még, amely *nem hagy maga után jól azonosítható morfológiai fossziliát*, és ezeknek a populációit csak *biogeokémiai indikátorokkal rekonstruálhatjuk*. Ezek általában **fosszilis pigmentek formájában vagy más szerves geokémiai formában** találhatóak meg. Például az algák és baktériumok morfológiai maradványainak jelentős hányada hosszú idő után elvész a különféle degradációs folyamatok révén, viszont az ülepedő karotinoidek, klorofillek, és ezek származékai és más zsírdékony pigmentek használhatók múltbeli populációk nyomának jelzésére. Ennek természetesen az a feltétele, hogy ezeket a kémiai bioindikátorokat el tudjuk különíteni az üledékből, azonosítható legyen és kapcsolni tudjuk a szervezethez, amely termelte. (Leavitt & Hodgson, 2001). Néhány pigment, mint pl a β -karotin, megtalálható minden algában és néhány fototróf baktériumban is, de vannak olyan pigmentek, amelyek ennél sokkal

specifikusabbak (pl alloxantin-Cryptophyta). A fosszilis pigmentek lehetőséget adnak ***múltbéli algavirágzások rekonstruálására.***

Növényi opál (fitolit)

A fitolitok *mikroszkópikus méretű növényi opálszemcsék*, általában a növények bőrszövetében képződnek, az adott növényre jellemző formát vesznek fel. Így a fitolitok alapján, a növény szövetek lebomlása után is *következtetni lehet az egykor ott élt növényre.* A fitolitok extrém körülmények között (száraz üledék, fogakra vagy éppen edényekre tapadva) is hosszútávon megőrződnek. A kovapreparátumokon is jól felismerhetőek és tanulmányozhatóak, igaz, általában nincs statisztikailag feldolgozható mennyiség belőlük egy-egy lemezen. Bár a fitolittermelési képesség elsősorban genetikailag meghatározott (*Piperno 1988*), igen jelentős szerepe van a környezeti feltételeknek is (éghajlati adottságok, csapadék, talajadottságok). Nedves klímán sokkal több oldott kovasav áll rendelkezésre a növényeknek, mint száraz klímán, így *a trópusi égvő növényei tartalmazzak legnagyobb arányban fitolitokat (Piperno 1985).* Ezt a folyamatot segíti a trópusi területen jellemző allitos (lúgos) mállás is, amely jelentős mennyiségű oldott kovasavat alakíthat ki. Magyarországon *Persaits Gergő* jutott legmesszebb a fitolit kutatásban, 2010-ben védte meg doktori művét „*A fitolitok szerepe a geoarchaeológiai minták értékelésében*” címmel. Munkásságáról a <http://fitolit.hu/> találunk részleteket.

A szerves geokémia más formái

Habár a legtöbb szerves alkotó nem őrződik meg a paleolimnológiai mintákban a kőzetté válás folyamata miatt, a tavak és folyók üledéke gyakran tartalmazza komplex keverékét az a tóban vagy vízgyűjtő területen egykor élt élőlényekből származó lipideknek, szénhidrátoknak, fehérjéknek és más szerves molekuláknak.

A legtöbb szerves anyag a növényekből származik, amit két fő csoportra bonthatunk:

1. A nem edényes növények, amelyek nem, vagy alig tartalmazznak szénben gazdag cellulózt és lignint (pl algák).
2. Az edényes növények, amelyek sokkal nagyobb arányban tartalmazznak szálal szöveteket (pl.. fák, füvek, vízi makrofiták) (*Meyers & Lallier-Verges, 1999*). A paleolimnológiában ennek egyik alkalmazása, amikor a szén-nitrogén arányát mérik az üledékben, ami a múltbéli alga-magasabb rendű növények arányának mutatója. Ez a

módszer azon a megfigyelésen alapul, hogy az algák C/N aránya 4 és 10 között van, míg az edényes szárazföldi növényeké, amelyek magasabb cellulóz tartalommal rendelkeznek, így magasabb C tartalommal és az alacsonyabb fehérje tartalom miatt alacsonyabb N tartalommal rendelkeznek, általában magasabb C/N aránnyal rendelkeznek, ami 20 vagy akár több is lehet. (Meyers & Lallier-Verges, 1999; Meyers & Teranes, 2001)

Baktériumok

Mivel a tavakban élő fotoszintetikus baktériumok különböző fajai különféle ökológiai igényekkel rendelkeznek a környezeti változók (pl a fény, tápanyagok, oxigén szint) tekintetében, a populációikban bekövetkezett múltbeli változások ***felhasználhatók számos fontos limnológiai feltétel változásának kimutatására***. Pl.: Brown és mts-i (1984) egy meromiktikus tó fotoszintetikus baktériumjainak fosszilis pigmentjeit használták fel arra, hogy nyomon kövessék különféle baktérium csoportok múltbeli rétegződését.

Néhány tanulmány viszont a baktérium maradványok közvetlen számlálásának módszerét alkalmazza. Pl.: Granberg (1983) egy finn tó üledékmagjában számolta le a *Closteridium perfringens* telepeket, ez a helyhez kötött baktérium az emberi emésztő szervrendszerben él, és emberi hatást jelez a rendszerben. (Smol, 2008)

Szivacsok

A kovapreparátumokon gyakran találunk nagyméretű, jellegzetesen hajlott, erősen kovásodott képződményeket. Ezek édesvízi szivacsok maradványai. Az édesvízi szivacsok (*Spongillidae*) ugyan már a Krétában megjelentek (Harrison 1990), de tömegesen csak a negyedkori üledékekből, kerületek elő (Cohen 2003). Annak ellenére, hogy *a vízminőség jó indikátorai, megőrződésükről, tafonómiájukról meglehetősen kevés információval rendelkezünk*. Kevés a határozásukhoz értő szakember, pedig az édes- és sósvízi formák, valamint az álló és folyóvizekben élő fajok különbözősége miatt nagy a potenciáljuk. Tudjuk, hogy *a hőmérséklet, áramlásviszonyok, fényviszonyok, és a pH* (Harrison 1974) befolyásolják az elterjedésüket.

Puhatestűek

Az üledékes képződmények egyik leggyakoribb fossziliája a puhatestűek héj maradványai (csigák, kagylók). Elsősorban ***lokális környezeti tényezők jellemzésére***

alkalmasak, mivel korlátozott mozgás és térigényű élőlények (Sümegei 2001). Felhasználhatók ezen kívül *stabil izotópos elemzésekhez*, melyek *az egykori élőhelyről, a produktivitásról, a hőmérsékletről, a kémiai elemzés pedig a víz sótartalmáról és szennyezőanyagokról adhat fontos információkat* (Miller & Tevesz, 2002).

Ágascsápú rákok

Az ágascsápú rákok (*Cladocera*) kitinizált testrészei gyakran megtalálhatók az üledékben és széles körben alkalmazzák (Korhola & Rautio, 2001) *antropogén hatások tanulmányozásával kapcsolatban* (Jeppesen et al, 2001).

A Cladocerák *a táplálékhálózat és a trofikus szintek változását is jelzik*. Gyors reakcióik oka a táplálék-hálózatban bekövetkező változások jelzése terén, más vízi szervezetekhez hasonlóan egyrészt, hogy függenek a fitoplankton mennyiségétől, mint tápláléktól, másrészt pedig, hogy függenek a ragadozóktól (Szeroczyńska & Sarmaja-Korjonen, 2007; Jeppesen 2002).

Bár általában az ágascsápú rákok szűznemzéssel szaporodnak, *ha a körülmények kedvezőtlené válnak, akkor tartóspetét hoznak létre*, amely a héjjal együtt jellegzetes túlélő képletté, efiippiummá alakul. (Gulyás & Forró, 1999). Az efiippium *évtizedekig nyugvó állapotban lehet az üledékben amíg a feltételek kedvezővé nem válnak*. Ezeknek a tartóspetének számos különféle alkalmazása létezik. Többek között DNS analízis (Kerfoot & Weider 2004), amelynél a felszíni üledékből (pl. Vandekerkhove et al. 2005), vagy üledékprofilból kinyert nyugvó petéket laboratóriumi körülmények között keltik ki. Továbbá méretük és számuk vizsgálatával a trofikus szintek változására, mint például *a halak által kifejtett predációs nyomásra is következtethetünk*. (Jeppesen et al., 2011)

A fajok jelentős részének nagy hely-preferenciájuk van ezért a különböző mikrohabitatok különösen értékes mutatói a különböző környezeti feltételeknek és azok változásainak. Például a vízszint ingadozás változásokat okozhat az különböző élőhelyek kiterjedésében, így a bennük élő *Cladocera* közösségeinek összetételében is, többek között oly módon, hogy megváltozik pl. a litorális és pelágikus élőhelyek aránya (Korhola & Rautio, 2001).

A legtöbb tanulmány a trofitással és az eutrofizációval foglalkozik (pl.: Korponai, 2011), de az ágascsápú rákok ezen kívül még *használhatók a tavak savasodásával kapcsolatos kutatásokban, fém szennyezésekkel, sótartalom változással, vízszint változással, invazív*

fajok megjelenésével és számos más témával kapcsolatban is (Kerfoot & Weider, 2004; Korhola et al. 2005; Korhola & Rautio, 2001).

Kagylósrákok (Ostracoda)

A kagylósrákok paleoökológiai alkalmazása hosszú múltra tekint vissza, főleg paleoklíma és paleohidrológiai tanulmányokban (DeDeckker 1988; Chivas & Holmes 2002). Mivel meszes héjjal rendelkeznek, *elsősorban semleges és lúgos környezetben őrződnek meg*. Nagyon sok kagylósrák taxon rendelkezik **speciális környezeti optimummal és toleranciával**, és kapcsolható például élőhelyhez, pH-hoz, sótartalomhoz, hidrológiához, és klimatikus változókhoz, mint pl. a hőmérséklet (pl. Curry 1998).

Legújabban **paleokörnyezeti rekonstrukciókban alkalmazzák** a kagylósrákokat. A nyomelem és stabil izotóp összetétele a kagylósrákok külső héjának új eredményekkel szolgálhatnak a paleokörnyezeti rekonstrukciókban. Mivel a kagylósrák héjak nagyon rövid idő alatt képződnek, *a múltbeli limnológiai feltételek emléke megőrződik az izotóp és geokémiai összetételében* (Holmes, 1996).

Árvaszúnyogok és kétszárnyúak

Bár a kétszárnyúakat elsődlegesen szárazföldi élőlényeknek gondoljuk, nagyon sok fajuk, életciklusának nagy részét a vízben tölti. Számos kétszárnyú csoport maradványai őrződik meg az üledékben, mint különféle morfológiai indikátorok, de természetesen a legáltalánosabban használt rovar maradványok a kitinizált fejkapszulával rendelkező árvaszúnyogok (*Chironomidae*). Árvaszúnyog indikátorokat használnak **paleoklíma tanulmányokhoz**, mivel *eloszlásuk fontos klimatikus változókhoz kapcsolható* (Walker, 2001). Például, a szubfosszilis árvaszúnyog-együttesek feltárása és az árvaszúnyog-adatsorok alapján *a nyári levegő hőmérsékletének mennyiségi rekonstrukciója* (Tóth, 2012). Másik fontos alkalmazásuk a *mélyvizek oxigén szintjének vizsgálata* (pl. Little et al. 2000). Mélyvizekben a taxonok eloszlásáért felelős legfontosabb tényező az oxigénszint, mivel a különféle taxonok különféle tolerancia tartománnyal rendelkeznek. (Brodersen et al, 2001).

Más rovarok maradványai is megőrződnek az üledékben, bár ezek használata kevésbé elterjedt. Ilyen például a *Chaoboridae* (bojtos szúnyogok) kitines csáprágójának jól megőrződő maradványai. Mivel ezek a taxonok rendkívül érzékenyek a hal predációra,

jelenlétük jól használható múltbeli hal populációk történetének nyomon követésére (Uutala 1990).

A *Ceratopogonidae* és *Simuliidae* kitinizált maradványait is felhasználják (Walker, 2001). A *Simuliidae*-k, különösen a lárvák, kizárólag patakokban találhatóak meg, ami információval szolgálhat a múltbeli befolyókról és a paleohidrológiáról (Currie & Walker, 1992).

Bogarak

Kitines maradványaik szinte minden üledéktípusban megtalálhatók. A bogarak mind szárazföldi, mind vízi környezetben igen elterjedtek és a fajok jelentős része érzékeny a környezeti tényezőkre. Így jelenlétük alapján jól rekonstruálhatók az egykori környezeti feltételek, elsősorban a tenyészidőszak hőmérséklete. Karbonátos környezetben a kitines maradványok fennmaradási esélye igen csekély, ezért maradványaik elsősorban oligotróf tavakban és savanyú tőzegmohás lápokban találhatóak meg nagy számban (Sümegi 2001).

Kulcsfontosságúak a fosszilis maradványok között, mivel: hatalmas faj diverzitással rendelkeznek. Több mint egymillió fajuk ismert. Taxonómiai stabilitásuk nagy. A legtöbb fajnál több mint egymillió éve nem történt morfológiai változás, ami lehetővé teszi a recens és fosszilis közösségek összekapcsolását. Rendkívüli mobilitás jellemzi őket. Környezetváltozás hatására gyorsan reagálnak migrációval. Ez a három jellemző lehetővé teszi, hogy a fosszilis bogár közösségeket **rendkívül részletes és pontos őskörnyezeti rekonstrukció (hőmérséklet, növényzet) létrehozására használjuk** (Elias, 2002).

Halak

Ritkán találunk jó fosszilis hal maradványokat, habár *pikkelyek, csontok és hallókövek (otolithok) a legtöbb üledékprofilban felfedezhetőek*. A hallókövek számos taxonnál faj specifikusnak számítanak, és egyre több paleolimnológiai tanulmányban használják, (Patterson & Smith 2001). Hazánkban az otolith kutatás egyik jeles képviselője *Bosnakoff Mariann (2008)*, akinek célja a Pannon-tavi halfauna rekonstruálása magyarországi anyagok vizsgálata alapján. A halcsontok, pikkelyek és más hal maradványok közvetlenül kapcsolhatók a hal populációkhoz, de sajnos csak *ritkán elég nagy a mennyiségük az üledékben ahhoz, hogy megbízható becsléseket tehessünk a múltbeli populációkkal kapcsolatban*. Jelenleg is nagyon sok becslés alapul indirekt

technikákon, felhasználva gerinctelen indikátorok fajösszetételét, méretét és/ vagy morfológiáját, amelyekre a hal általi predáció hatással van (*Palm et al, 2005*). *Jeppensen és mts-ai (1996)* kifejlesztettek egy átviteli függvényt az ágascsapú rák maradványokra lapozva, amelyekre a múltbeli ragadozó halak predációs nyomása hatott.

3.5.2. Multi-proxi vizsgálatok

A paleolimnológia olyan multidiszciplináris tudomány, ami az elmúlt két évtizedben gyorsan fejlődött, a tavi üledékekben megőrződött fizikai, kémiai, és biológiai információt használja fel a vízi rendszerek múltbeli környezeti feltételeinek rekonstruálásához. A tó üledékének fizikai szerkezete információval szolgál az áramlatok erejéről és más abiotikus tényezőkről, amelyek az ülepedést befolyásolják. Az üledék kémiai jellemzői tájékoztatást nyújtanak az anyagok különböző forrásairól, a múltbeli éghajlatról, és az általános limnológiai feltételekről (*Frey, 1964*). A biológiai információhoz növényi vagy állati eredetű maradványok elemzése révén juthatunk, és ezek mennyiségi összefüggése betekintést nyújt az élőlények és a biológiai közösségek időbeli változásaiba. (*Birks, 1998*). A mintavétel során nyert üledék több proxy vizsgálatára alkalmas, együttes használatukkal árnyaltabb ökoszisztémái rekonstrukció végezhető. Például a pollenvizsgálatok és a növényi maradványok vizsgálatával a paleoklimatikus környezet, a kovaalgákkal a vizek trofitása, savasodása, az árvaszünnyogokkal hőmérsékleti rekonstrukció, az ágascsapú rákokkal pedig a planktonikus interakciók rekonstrukciója válik lehetővé. Az így nyert adatok együttesen teljesebb képet nyújtanak a vizsgált tó paleokörnyezetéről, és magáról a tó paleolimnológiájáról. Együtt mindezekből következtetni lehet az ökológiai összefüggések komplex egészére. Sok előnye van a multi-proxy analízisnek, nem utolsósorban az, hogy ez sokkal inkább holisztikus áttekintést nyújt az ökoszisztéma fejlődéséről. Ha a megőrződés vagy egyéb taxonómiai kérdés a probléma, akkor több indikátor használatával kiegészíthetjük a hézagokat a profilunkban. Például, ha a kémiai feltételek olyanok, hogy a kovavázak indikátorok rosszul őrződtek meg, ökoszisztémái információ lehet még nyerni helyei a fennmaradt meszes indikátorok és / vagy fosszilis pigmentek (*Smol, 2008*) segítségével.

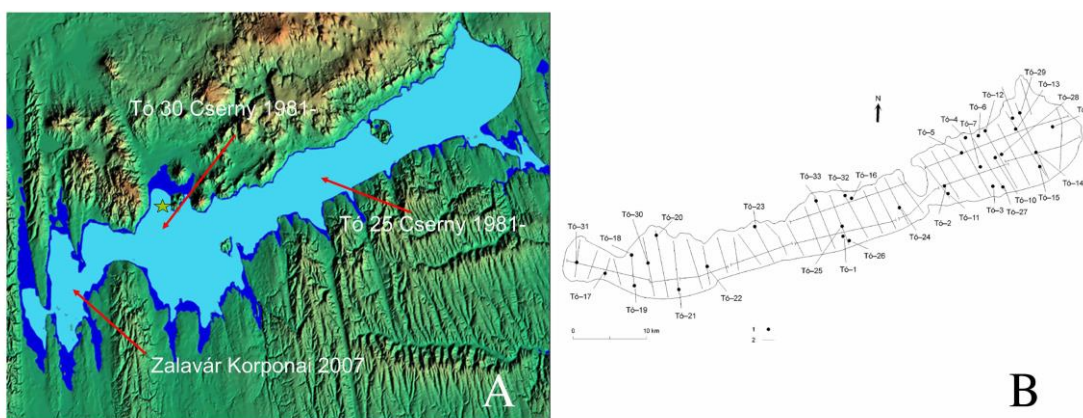
Indikátor szervezet	Alkalmazás	Hazai adatközlők
pollen, spóra	vegetációváltozás vízben és szárazföldön, erdőborítottság változása, antropogén hatás a növényzetre, kronológiai marker	Zólyomi Bálint (1908-1997), Járainé Komlódi Magda (1931-2012), Medzihradszki Zsófia, Félegyházi Enikő, Magyar Enikő, Nagyné Bodor Elvira, Törőcsik Tünde, Pál Ilona
növényi makrofosszília	Lokális vegetációváltozás, radiokarbon kormeghatározás, vízszintváltozás, légkör CO ₂ koncentrációjának meghatározása szótma sűrűségből	Jakab Gusztáv, Orbán Ildikó, Vincze Ildikó
pernye	egykori tüzek, vízszintváltozás	Rutner Edina, Náfrádi Katalin
kovaalga	klímaváltozás, pH, trofitás, sótartalom, vízmélység	Pantocsek József (1846-1916), Hajós Márta (1916-2000), Kőváriné-Gulyás Erzsébet (1956-2012), Buczkó Krisztina
sárgamoszatok	pH, klíma, trofitás, savasodás, sótartalom, vezetőképesség, jégborítás hossza	Soróczki-Pintér Éva, Buczkó Krisztina
fosszilis pigmentek	eutrofizáció, savasodás, klímaváltozás, antropogén hatások, tápláléklánc,	
növényi opál	klíma, növényzet,	Persalits Gergely
baktériumok	emberi hatás	
szivacsok	élőhely, vízminőség, hőmérséklet, áramlásviszonyok, fényviszonyok, pH	
puhatestűek	hőmérséklet, sótartalom, szennyező anyagok, élőhely, produktivitás,	Sümegei Pál, Füköh Levente, Gulyás Sándor
ágascsapú rákok	klímaváltozás, vízszintváltozás, trofitás, savasodás, DNS analízis, halak predációs nyomása, fém szennyezések, sótartalom, invazív fajok,	Sebestyén Olga (1891-1986), Korponai János Gyulai István, Lakatos Csilla
kagylós rákok	sótartalom, limnológiai feltételek, hőmérséklet, vízszintváltozás, élőhely, pH,	Szuromi-Korecz Andrea

árvaszűnyogok	Hőmérséklet (július átlaghőmérséklet), vízmélység, sótartalom, oxigénszint, produktivitás, savasodás, hidrológia, halak	Tóth Mónika, Méhes Nikolett
bogarak	növényzet, hőmérséklet	
halak	mélység, sótartalom, oxigénszint, hőmérséklet	Bosnakoff Mariann

1. táblázat. A paleolimnológiában leggyakrabban alkalmazott indikátor szervezetek, felhasználásuk lehetőségei, és a szakterület néhány hazai szakértője

3.5.2.1. A Balaton paleolimnológiája

A Balaton – mint oly sok más tudományterületen – a paleolimnológiai vizsgálatokban is élenjáró. Európai legnagyobb sekély tavában a kutatás története hosszú múltra tekint vissza. Az első adatok a 19. századra nyúlnak vissza, mikoris elindult a **Balaton és környékének tudományos igényű felmérése, tanulmányozása** (Lóczy, 1916; Cholnoky, 1897, 1918). Ennek keretén belül, Pantocsek József, a nagyhírű kovaalga kutató, a fosszilis diatómák specialistája (egyébként orvos, kórházigazgató Pozsonyban) vállalta fel, hogy megvizsgálja a fúrásokban hogyan változik a kovaalgák összetétele. Egy részletes táblázatot közölt, prezencia/abszencia adatokkal (Pantocsek, 1916).



1. ábra. A balatoni fúrások helyei. (A) Zalavári-víz, Kis-Balaton; Tó-30, Szigligeti medence; Tó-25 Szemesi medence; (Korponai et al. 2011) valamint a Balaton medencében 1981-1986 és az 1990-1995 között mélyült 17 ill. 16 fúrás helye. (B, Cserny & Nagy-Bodor 2002)

Zólyomi Bálint nevéhez kapcsolódnak az első pollen analízisek, Sebestyén Olga az ágascsapú rákok (Cladocera) tanulmányaival végzett úttörő munkát a tavon. Megállapította, hogy a Balatonban *Alona* fajok domináltak. *Sági (1968) és Bendefy (1968)* végeztek elsőként a tó Holocén időszakára vonatkozó vízszint rekonstrukciót történeti térképek és régészeti maradványok alapján.

Széleskörű geológiai és paleoökológiai kutatás indult a tavon a Magyar Állami Földtani Intézetben Cserny Tibor vezetésével az 1980-as években (*Cserny & Nagy-Bodor, 2000; Tullner & Cserny, 2003*), amelynek keretében palinológiai, geokémiai, nyomelem, kovaalga és részben stabil izotóp elemzést végeztek ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$).

1981-1986 között 17 fúrás mélyült a tó üledékébe (*Cserny, 1994*), majd 1989 és 1995 között újabb 16 fúrás készült. A két fúrásor (1987-1989) között az üledék geofizikai tulajdonságait elemték. A vizsgálatok gyakran idézett megállapítása, hogy *a balatoni üledék átlagosan 5 méter vastag, helyenként tözegrétegeket harántoltak, jellemzően mészsizapos az üledék, növekvő karbonát tartalommal*. Fontos hangsúlyozni, hogy ez az „átlagosan 5 méter vastagságú üledék” nagyon nagy szórást mutat a parttól a tóközepi fúrásokig, csakúgy, mint a tó hosszanti tengelye mentén. *Az üledék karbonát tartalma jellemzően változik a tó hossz tengelye mentén, a dél-nyugati irányból nő észak-kelet felé haladva a Keszthely-Siófok tengely mentén (Cserny & Nagy-Bodor, 2000; Tullner & Cserny, 2003)*.

Megközelítőleg **15 000-17 000 évvel ezelőtt alakult ki**. Kezdetben több, sekély, hideg tavacska alkotta, de körülbelül 6000 éve az éghajlat melegebbé és csapadékosabbá válása során létrejött az egységes vízfelület (*Cserny, 2002*). Kialakulásakor **mezo-tróf, mezo-eutróf minőségű víz jellemezte; a tó vízszintje az időjárás függvényében (hőmérséklet, csapadék) változott**, amely a késő-Holocén során 104,6 és 112,5 m a.s.l. között mozgott (*Cserny, 2009; Korponai et al., 2010*).

A Balaton, mint nagy felületű sekély tó távolról sem tekinthető ideális helynek az üledékképződés szempontjából, figyelembe kell venni az üledék keveredését, mivel a mély tavakkal ellentétben itt erőteljesen érvényesül a szél, valamint a bioturbáció hatása (*Kearns et al., 1996*).

Geológiai értelemben a Balaton nagyon fiatal képződmény. Neotektonikai változások eredményeként több süllyedés alakult ki, amelyek hamarosan vízzel teltek meg. A Balatonban és környékén jelenleg is jelentős tektonikai változások zajlanak az északi és

déli part (Síkhegyi 2008). Kialakulásakor mezotróf, mezo-eutróf minőségű víz jellemezte; a tó vízszintje az időjárás függvényében (hőmérséklet, csapadék) változott (Cserny, 2009; Korponai et al., 2010; Virág, 1998).

A mederkotrásokkal az üledék felső rétegei átrendeződésével is számolni kell. 1993 májusában Balatonfüreden végeztek parttisztítást, melynek során 4000 m³ felszíni iszapot a Balaton nyílt vizébe szivattyúztak. Ennek csóvájában fejlődött ki egy *Dinobryon sociale* vízvirágzás, mely a sajtó figyelmét csak azért nem keltette fel, mert a turisztikai szezon még nem indult be. (Reynolds et al., 1993). Megmutatta azonban, hogy a Balaton üledékének felelőtlen bolygatása előre nem jelezhető, igen kellemetlen következményekkel járhat. Mindezek a körülmények különösen nehézzé teszik a paleolimnológiai értelmezést.

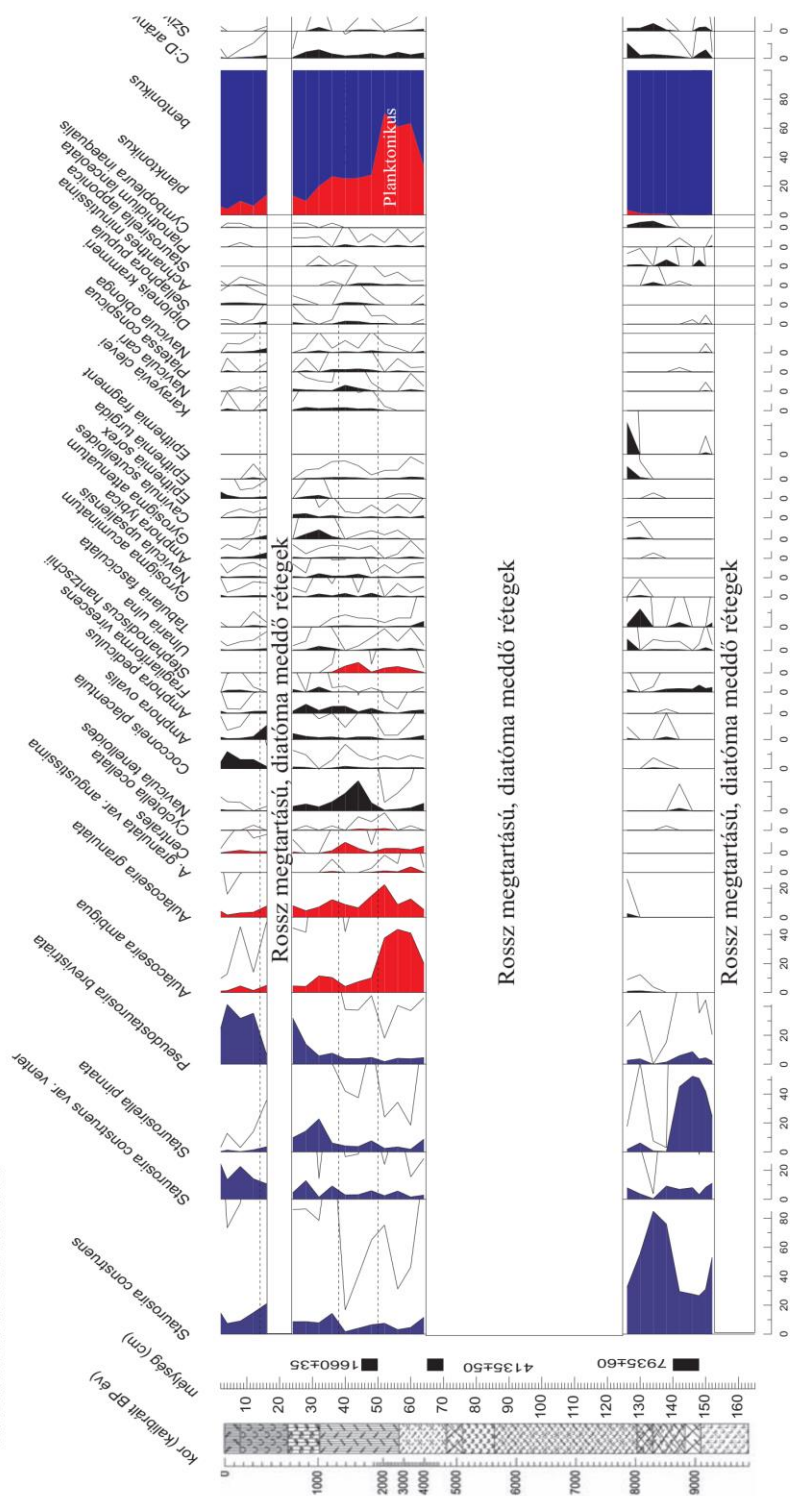
A balatoni kovaalga alapú kvantitatív rekonstrukció első lépése a Kis-Balaton térségében, a Zalavári-vízben készült el, majd két „Cserny fúrás” (Tó 30 és Tó 25) is készült elemzés (1. ábra).

A Zalavári-vízben Korponai János és Braun Mihály végezték a fúrást, egy 165 cm hosszú üledékoszlopot emeltek ki a tóból (Korponai et al. 2011). Ezt a fúrásmagot 2 cm-es darabokra szeletelték és különböző vizsgálatoknak vetették alá. Elsőként a fúrásmagon abiotikus proxikat vizsgáltak, így az izzítási veszteséget az üledék szerves anyag tartalmának meghatározásához, elemanalízist és kladocera analízist végeztek. A fúrás koordinátái: N: 46.6669° E: 17.2184°, tengerszint feletti magasság: 105,8 m. Összehasonlításképpen egy másik, Balatonból származó fúrás adataiból is rekonstrukció készült. A Tó-30-as fúrásból (1. ábra) származó kovaalga fajokat Hajós Márta határozta (Buczko et al. 2005). Ez az tábla azonban kevesebb adatot tartalmaz és a zalavári fúrással ellentétben nem 2 cm-enként, hanem 10 cm-enként mintázták, így csak kis felbontású a rekonstrukcióra volt lehetőség. A Tó 25-ös fúrás, a nyolcvanas évek elején mélyült, a Cserny Tibor vezetése alatt mélyült 33 fúrás egyike. A tó közepén helyezkedik el (N 46.81833; E 17.735, a.sl. 104 m).

A 2. ábra ismerteti a Zalavári-víz főbb kovaalga taxonjainak mélység szerinti eloszlást, míg a 3. ábra a kvantitatív foszfor és pH változásait mutatja más hegyi tavakkal összehasonlítva (Szent Anna tó a Retyezát hegység Brazi tavából származó adatsor).

Zalavári víz, Kis-Balaton 104 m a.s.l.

Diatóma Buczkó Krisztina 2007



2. ábra. A zalavári üledékoszlopban található leggyakoribb, domináns kovaalgák mélység szerinti eloszlása, valamint a diatóma közösségek zónázása: Az üledékmélységhez tartozó korok, valamint a 3 korolási pont (Buczkó 2016 és Korponai et al. 2011)

A balatoni üledék másik problémája, hogy radiokarbon módszerrel nem megfelelően korolható az üledék magas karbonátos közettartalma miatt. Így csak egy ponton, az alapi tőzegmintán lehetett végrehajtani a kormeghatározást, majd egyenletes ülepedést feltételezve számoltuk ki a teljes magszelvény korát.

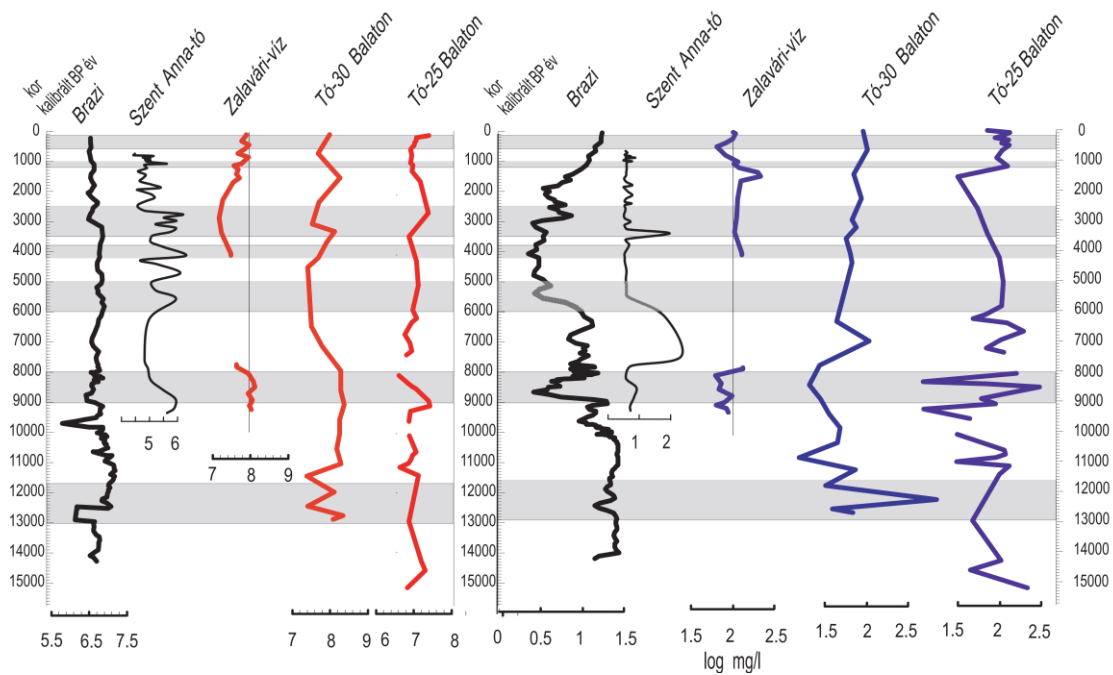
3.5.2.1.1. Referencia állapot

A paleolimnológiai módszerek alkalmazása a vízminősítésben, referencia állapotok kijelölésében viszonylag rövid múltra tekint vissza (ld. *Battarbee 2011 összefoglalóját*), tulajdonképpen az 1970-es években merült fel a tavak trofitás változásának nyomonkövetése az üledékek nagyfelbontású elemzésével. A paleolimnológia legfontosabb alapfeltétele és gyakran legnagyobb buktatója a korok hiánya ezért csak a cézium és ólom korolás kidolgozásával és rutinszerű alkalmazásával kerülhetett ismét a kutatások és lehetőségek fókuszába. A legtöbb ide vonatkozó vizsgálat a tavak savasodásának (savas esők okozta károk) vagy a trofikus viszonyok rekonstruálásra törekedtek.

Az 1990-es és 2000-es évek elején jelentős számban jelentek meg nagyfelbontású kovaalga adatsorok, elsősorban Kanada (John Smol munkásságához köthetően) Észak-Amerika és Európa tavaiból. Az adatok egy része ma is hozzáférhető az európai diatoma adatbázisban EDDI (*Juggins 2001*) valamint a LakeCores metaadatbázisban (<http://www.lakecores.ucl.ac.uk/database.php>), ami több mint ezer fúrás adatait őrzi (ezek mintegy 2/3-a az Egyesült Királyságból származik).

A paleolimnológiai adatok felhasználásával, a VGT-ben való alkalmazhatóságukról egyelőre még a legtöbb publikáció visszafogottan ad számot. *Gottschalk (2011)* munkájában 36 svéd tóban tekinti át a paleolimnológia módszertani nehézségeit a referencia állapot kijelölése során, tesztelve az ajánlásokat (*Bennion 2011*). Következtéseiben az szerepel, hogy egyetlen időpont (1850 előtti időszak) kijelölése nem elfogadható, hosszabb időtávot kell vizsgálni. A tavak egyediségét, ontogenezisét mindenképpen figyelembe kell venni.

Régiókra nézve az egyik legfontosabb összefoglaló *Hübener et al. 2009-es munkája*, amely 14 dimiktikus tó vizsgálata során arra a következtetésre jutott, hogy általános szabály nem állítható fel, ***a tavak egyediségét figyelembe kell venni, és hosszabb időtáv (több mint 200 év) vizsgálata ajánlott a megbízhatóbb eredményhez.***



3. ábra. Kvantitatív pH és foszfor rekonstrukció a Retyezátban (Brazi), a Szent Anna-tóban valamint a Kis-Balatonban és két balatoni fúrásban. További részletek Buczkó (2016) munkájában találhatóak

Összefoglalva elmondható, hogy az elmúlt néhány évben nagyon sok új vizsgálat készült, elsősorban *a szeizmikus mérések, neotektonikus vizsgálatok alapján egyre finomabb kép rajzolódik ki előttünk a Balaton üledékeiről* (Visnovitz 2015). A különböző medencéken belüli *belső áramlások nagyon különböző üledékvastagságot eredményeznek*. Egy jelenleg folyó GINOP pályázat keretein belül nagyfelbontású pollen analízis készül, és komoly erőfeszítések folynak a korolás továbbfejlesztésére (Magyar Enikő személyes közlés).

Nagy feladatnak tűnik az is, hogy algológiai szempontból az EU VKI két élőlénycsoportot határoz meg, a fitoplanktont és a fitobentosz. A klasszikus paleolimnológia vizsgálati módszerek szerint a fúrások a tavak legmélyebb pontjain mélyülnek. Az innen kapott adatokat így a fitoplanktonnal kellene összevetni. A Balaton esetében *szükség lenne partközeli fúrások mélyítésére is*, ez szolgálhatna a fitobentoszhoz referencia állapot becsléséhez. Számos megoldásra váró kérdés van, de a paleolimnológia nyújtotta eszközökről nem szabad lemondanunk a Balaton esetében sem.

3.5.2.1.2. Cladocera vizsgálatok

A trofitás változásának rekonstrukciója a Keszthelyi öbölben *Korponai et al 2010-es munkájában* található. A Cladocera maradványok különböző korú rétegekben való előfordulása indikálja a populáció nagyságának változását az egyes időszakokban, ez egyben tükrözi az adott kor klímaviszonyait is (*Korponai et al., 2010*). A Chydoridae-k rövid életpályája révén a rövidebb időszakokra kiterjedő változások is vizsgálhatók, rekonstruálhatók (*Sebestyén, 1971*).

A maradványokból kimutatott Cladocera közösség fajgazdagsága és egyedszáma a trofitással növekedett, az oligotrofizációval csökkent. A Balaton üledékére a Chydoridae-k, ezen belül az Alona fajok maradványai voltak jellemzőek. A Balaton eutrofizációjának fokozódásával először a makrofita vegetáció kiterjedése jelentkezett, amelyet a vegetációhoz kötődő Cladocera maradványok arányának növekedése jelez. *Az 1980-as évektől kimutatható a planktonikus eutrofizáció erősödése, amit a Bosmina fajok térhódítása igazol. Különösen szoros kapcsolat volt felfedezhető a planktonfogyasztó halállomány és a planktonikus Bosmina sp. mennyiségét illetően. A Balaton legjelentősebb planktonfogyasztó hala a garda volt, mennyiségük csökkenésével a Bosmina fajok egyedszáma folyamatos emelkedésnek indult. (Korponai et al. 2011)*

3.5.2.1.3. Pigment maradványok

Magyarországon, a Balatonban készült fosszilis pigment alapú trofitás-rekonstrukció (*Korponai et al 2011*). A Keszthelyi-medence üledékét az öböl közepéről származó furatból vizsgálták. A feldolgozott furat hossza 270 cm volt, amelyből 2 cm-ként elemzték a paleopigment (*SPDU - Sedimentary Pigment Degradation Unit*), és a Cladocera maradványokat.

A pigment maradványok alapján a Keszthelyi-medencében öt eutrofizációs periódus volt kimutatható. A rekonstruált legfiatalabb eutrofizációs események becsült időpontja egyezik az irodalomban korábban publikált eutrofizációs eseményekkel (*Korponai et al. 2011*)

Az eutróf állapotok között a tó mezotrófnak volt tekinthető.

3.2.2.2. A Balaton kívüli mintavételi helyek/lehetőségek

Hazánk nem bővelkedik a nagyfelbontású paleolimnológiai elemzésre alkalmas mintavételi lehetőséggel.

3.2.2.2.1. Velencei-tó

A Velencei-tó Magyarország harmadik legnagyobb tava, amely egyik része természetvédelmi oltalom alatt áll, míg másik része antropogén hatásokkal terhelt. Bár itt nem történtek még kovaalga vizsgálatok az üledékben, de más proxik alapján a tó mozaikossága bizonyítható paleolimnológiai eszközökkel. Lakatos Cs. személyes közlése szerint munkájuk során a természetvédelmi terület és a kotort terület üledékrétegeit hasonlították össze szervesanyag- és kalcium-karbonát tartalom alapján. Statisztikai számításokkal megerősítve jól elkülönül a két terület az eredmények alapján. Valamint jól látható az összefüggés a szervesanyag- és a karbonát-tartalom között. Negatív korreláció áll fenn közöttük. Ugyanilyen fordított arányosság áll fenn a természetvédelmi- és a kotort területek között.

3.2.2.2.2. Garancsi-tó

A Garancsi-tó fiatal képződmény, csak a középkorban alakult ki, tehát csak pár száz éves. A 2000-es években rohamos vízminőségromlása okainak feltárásához komplex multi-proxi környezetföldtani vizsgálatot folytatott a MÁFI munkatársaival együtt, minek során szedimentológiai, ásványtani, izotópgeokémiai, pollen analízissel együtt a kovaalga közösségek változásait is elemezték (*Nagyné-Bodor et al. 1996*). A kovaalga elemzést Hajós Márta végezte.

3.2.2.2.3. Holtágak

Hazánk területére jellemző a folyószabályozások után levágott holtágak nagy száma. Ezekben is folynak paleolimnológia vizsgálatok elsősorban Korponai János irányításával. A holtágakból származó minták feltárása, kovaalga vizsgálatokra való alkalmassá tétele külön eljárási módokat igényel. Ezen a területen még sok fejlesztésre van szükség.

3.2.2.2.4. Kárpátok

A Déli- és Keleti Kárpátokban az elmúlt két évtizedben intenzív munka folyt, amelynek során a Szent Anna tóban és Retyezát hegység számos tavában készült nagyfelbontású paleoökológiai rekonstrukció. Ez utóbbiról *2018-ban a Quaternary International* külön

kötetben számolt be. Ennek eredményeinek ismertetése túlmutat jelen összefoglalón, de fontos hangsúlyozni, hogy az ezekben – ideális paleolimnológiai mintavételi helyeken – végzett munkák teszik lehetővé, hogy hazai vizeinkben alkalmazni és értelmezni tudjuk a paleolimnológiai módszereket.

3.2.3. A neo- és paleolimnológia találkozása

Az elmúlt három évtizedben a paleolimnológia mint tudományág gyors fellendülésének lehattünk tanui (példaként szolgálhat a *Journal of Paleolimnology*, ami 1988-ban jelent meg először és a kezdetektől Q1-es folyóirat mind az *Aquatic Science*, mind az *Earth-Surface Processes* kategóriában). A felívelés részben annak köszönhető, hogy olyan hosszútávú (évtizedes) elemzésekre adtak a módszerei lehetőséget, amelyek a monitoring vizsgálatokkal még nem voltak lefedve (vagy a mérési technika volt olyan, hogy nem szolgáltatott megbízható adatokat).

Az említett három évtizedben a neo- és paleolimnológia egyre közelebb került egymáshoz. Egyrészt a folyamatosan végzett monitoring, az ún. “long-term” vizsgálatok során már megbízható évtizedes adatsorok készültek, másrészt a paleolimnológiában a korolás finomodásával (itt elsősorban az ólom és cézium kormeghatározásra gondolva) éves, sőt évszakos felbontás is elérhető a fiatal, nem konszolidált üledékeken. Kijelenthető, hogy a neo- és paleolimnológia találkozásánál az ökológiai alapkérdések vizsgálatánál a módszerek egységesedése történik.

A paleolimnológia egyik alap feltételezése, hogy az üledék mintegy “integrált információhordozó”, vagyis reprezentatív a különböző habitatokra nézve (*Battarbee et al. 2001, Gregory-Eaves and Beisner 2011*). A neolimnológia részletesen vizsgálja a mozaikosságot és mutatja ki egyrészt a szubsztrát minősége (epiliton, epifiton, epipsammon) másrészt a vízmélység függvényében mennyire eltérő kovaalga közösségek alakulnak ki a víztestekben (*Kopalova et al. 2019*).

Napjainkban a biodiverzitás csökkenés ugyan nyilvánvaló, de a konkrét számszerűsítés nehézségekbe ütközik, különösen a mikroszkópikus élőlények esetében. Ugyanakkor a paleolimnológiai adatok gyűlésével, újabb lehetőségek nyílnak meg. A paleo- és neolimnológia összeségében ugyanazon csoportokat vizsgálja: (termelők, fogyasztók, lebontók), viszont sokkal hosszabb időszakokra, mint ami akár a hosszútávú monitoring vizsgálatokkal is elérhető.

Az alábbiakban összefoglaljuk a jelen kutatási irányokat, egy esettanulmány alapján azt, hogy az üledékből nyerhető diatóma adatsor interpretációja során milyen buktatók vannak ill. az aktuális megközelítések (trait- vagy jelleg alapú elemzések) hogyan segítik a funkcionalitás megértését.

A paleolimnológiai értékelés legnagyobb buktatója, hogy ***az üledékben a különböző habitatokban élő közösségek vegyesen, keveredve, sőt szelektíven őrződnek meg.*** Addig amíg a fitobentoszra és a fitoplanktonra is számos értékelő módszer van használatban a kevert közösségeket nehéz interpretálni.

A leggyakrabban alkalmazott közelítés a plankton/bentosz (P : B) arány összehasonlítása és ezt legtöbbször a vízszint változás proxijaként fogadják el, bár a trofitás felül tudja írni ezt, vagyis a P : B arány növekedése nem vízmélyülést, hanem trofitásnövekedést eredményez (*Wolin and Duthie 2010*).

A különböző habitatok és azok kovaalga közösségeinek feltárása a neolimnológia alapkérdése, az ezen alapuló rekonstrukciókat a paleolimnológia alkalmazza (*Pla-Rabés and Catalan 2018*).

Egy tavon belül belül az epilitikus (kövön élő) diatóma közösségek összetétele és produktivitása jelentősen eltérő lehet a fény a tápanyagellátottság függvényében. Nem lineáris az összefüggés a vízmélység és a P : B arányból rekonstruált vízmélység között, mert nagy kis mélységkülönbség is elég, ha a egy tó fenekére elegendő fény jut ahhoz, hogy ott a bentonikus diatómák nagy tömegben éljenek, vagy éppen nem ér le a fény és nincs bentosz. Vagy akár a tó sekélyebb részeiről szállítódott az “aktuálisan” legmélyebb pontra.

A tavak diatóma közösségeinek múltbéli diverzitásának becslését egyrészt nehezíti, hogy *az egyenletesen vett minták nem azonos időszakokat fednek le.* A recens közösségekkel való összevetést pedig az kérdőjelezi meg, hogy *a nagyon ritkán számolnak 500 valváig a paleolimnológusok, ebből következően a ritka fajok gyakran nem kerülnek elő, vagyis alábecsült* (*Birks et al. 2016*). Jelen esettanulmány (*Pla-Rabés and Catalan 2018*) a habitatok hatását mutatja be a pH rekonstrukcióra. A korábban, 200 évre vonatkozó rekonstrukciót (*Catalan et al. 2002*), hogyan befolyásolják ezek a faktorok.

Először feltárták a strukturáját, kompozícióját, fajgazdagságát és az ökológiai guildeket a különböző habitatokban, amit a vízmélység és a szubsztrát alapján határozták meg. Ezek nagyban befolyásolják a diatómák számára fontos környezeti feltételeket, fény, tápanyag és egyéb fizikai faktorok) (*Douglas and Smol 1995; Michelutti et al. 2003*).

Hosszútávú diverzitási dinamika vizsgálatok: ehhez szükséges megfelelő mintanagyság (sample size) meghatározása, vagyis hány diatóma váz meghatározása szükséges a fajgazdagság és a diverzitás becsléséhez. Feltételezik, hogy az üledék minta a tavi metaközösségek gamma diverzitásra reprezentatív, és mint ilyen nagyobb, mint az egyes habitatok alfa diverzitása, és implicit módon informatív a béta diverzitásra, ami a habitatok közötti diverzitást méri.

A fentiek tanulmányozására a Lake Redon mutat jó példát (a Pireneusok 2240 m a.s.l. magasan fekvő tava, legnagyobb mélysége 73 méter, átlagos mélység 32 méter, vízgyűjtője 24 ha. Évek alatt 87 mintát gyűjtöttek a különböző habitatokból.

Három mélyvízi transzekt (T1, T2 és T3) mentén nézték a mélység függést, a mintákat búvárok vették. Ugyancsak 3 sekély vízi mintavétel (L1, L2 és L3) és 3, a tó legmélyebb részén mélyített fúrás legfelső részét (C1, C2 és C3) vizsgáltak. Megkülönböztettek moháról, kőről és üledékfelszínről (epilitik, epipsammon) gyűjtött mintákat. A kőről gyűjtött mintáknál megkülönböztették a kő aljáról és felszínéről gyűjtött mintákat.

A fúrást 1,5 mm-re szeltél fel. Ólommal (Pb-210) korolták. Multivariációs regresszió fa (De'ath 2002) statisztikai eljárás segítségével, amely a változók rekurzív particionálásával határozza meg, hogy a kvantitatív (pl. vízmélység) és kategória változók (szubsztrát típusa) hogyan határozzák meg a közösség összetételét. A csoporton belül keresi a legkisebb négyzetgyökös eltérést.

3.1.3.1. Trait vagy jelleg alapú közelítés a paleolimnológiában

Életformák: *Passy (2007)* munkája óta a kovaalga életformák tanulmányozása egyike a leggyakrabban vizsgált témáknak (*Soininen et al. 2016*). *Passy*, a bentikus kovaalgákat 3 nagy csoportba osztotta, elkülönítette az alacsony és magas profilú, valamint a mozgásra képes taxonokat. Az alacsony és magas profile trait-ek között a rögzülési képesség a különbség, míg a mozgásra képes fajok egy harmadik csoportba kerültek (*Passy 2007*). Később, *Rimet and Bouchez (2012)* negyedikként a planktonikus guild elkülönítését is indokoltnak tartotta, ahová a pelágikus régióból kiülepítő taxonokat sorolták. Bár ez a beosztás elsősorban a vízfolyások bentonikus közösségeinek

elemzésre fejlesztették ki (Passy 2007, Rimet and Bouchez 2012, Soininen et al. 2016, B-Béres et al. 2016) sikerrel alkalmazták tavakban is (Stenger-Kovács et al. 2018).

Pla-Rabés and Catalan (2018) esettanulmány szerint az üledékben talált kovaalga közösség jelentősen eltér a tó jelen közösségeitől. A második elválás a szubsztrátok mentén történik, vagyis a köre, mohára, és iszapfelszínre más-más közösség jellemző, míg az évszakosság és a különböző évek nem térnek el egymástól. A harmadik elválás a kövek felső és alsó részén élő diatom közösség mentén van, vagyis nagyon nem mindegy, hogy a fénynek kitett, vagy árnyas oldalról történt a gyűjtés.

Néhány példa az erős kötődésre (Indval index segítségével határozva meg): Az *Achnanthydium minutissimum* s.l. és a *Brachysira brebissonii* elsősorban a kövekre jellemző, a *Peronia fibula* és a *Brachysira neoexilis* tipikus, mohán élő taxonok. A *Psammothidium* fajok (mint ahogy a nevük is sejteti) valamint az *Aulacoseira* nemzetség képviselői az iszapon találhatóak nagyobb gyakorisággal. Az *Eunotia* nemzetség tagjai a kövek árnyas oldalán, míg a *Nitzschia* fajok (*N. perminuta* (komplex) és *N. alpinobacillum* a kövek felső, napsugárzásnak jobban kitett helyekre volt jellemző. A *Humidophila schmassmannii* és a *Genkalia digitulus* a nagyobb vízmélységből gyűjtött kövekre volt jellemző. A *Discostella pseudostelligera* (complex) és az *Aulacoseira lirata* a mély víz iszapfelszínének jellemező taxonjai.

A fenti eredmények ismertetése azért indokolt, mert ezek a taxonok a mi korábbi vizsgálatainkban is dominánsok vagy szubdominánsok voltak.

Az egyes fajok vagy fajkomplexek indikátor értéke mellett a faj diverzitás alakulása is jellegzetes mintázatot mutat. A nagyobb mélységű iszapfelszín kovaalga közössége a leggazdagabb a legszegényesebb a sekély vízből, a kő aljáról gyűjtött minták voltak. Az alfa diverzitáson túl a Shannon diverzitás is ezt a mintát követi. A mohán és a kövek felső részére jellemző közösségek átmenetet képeznek. Viszont – az üledékminták (fűrasminták) mindenhol nagyon alfa és Shannon diverzitásúak voltak, mint a recens szubsztrátokról gyűjtöttek. Ez az integrált mintáknak köszönhető (*Pla-Rabés and Catalan 2018*).

Ugyancsak elgondolkodtató, hogy az egyes habitatok közelében mért pH értékek jelentős szóródást mutatnak (6.2–7.4), a mohában magasabb, míg kövön és iszapon alacsonyabb értékek jellemzőek. Ennek a megfigyelésnek a pH rekonstrukció hibahatárainak értékelésénél van jelentősége.

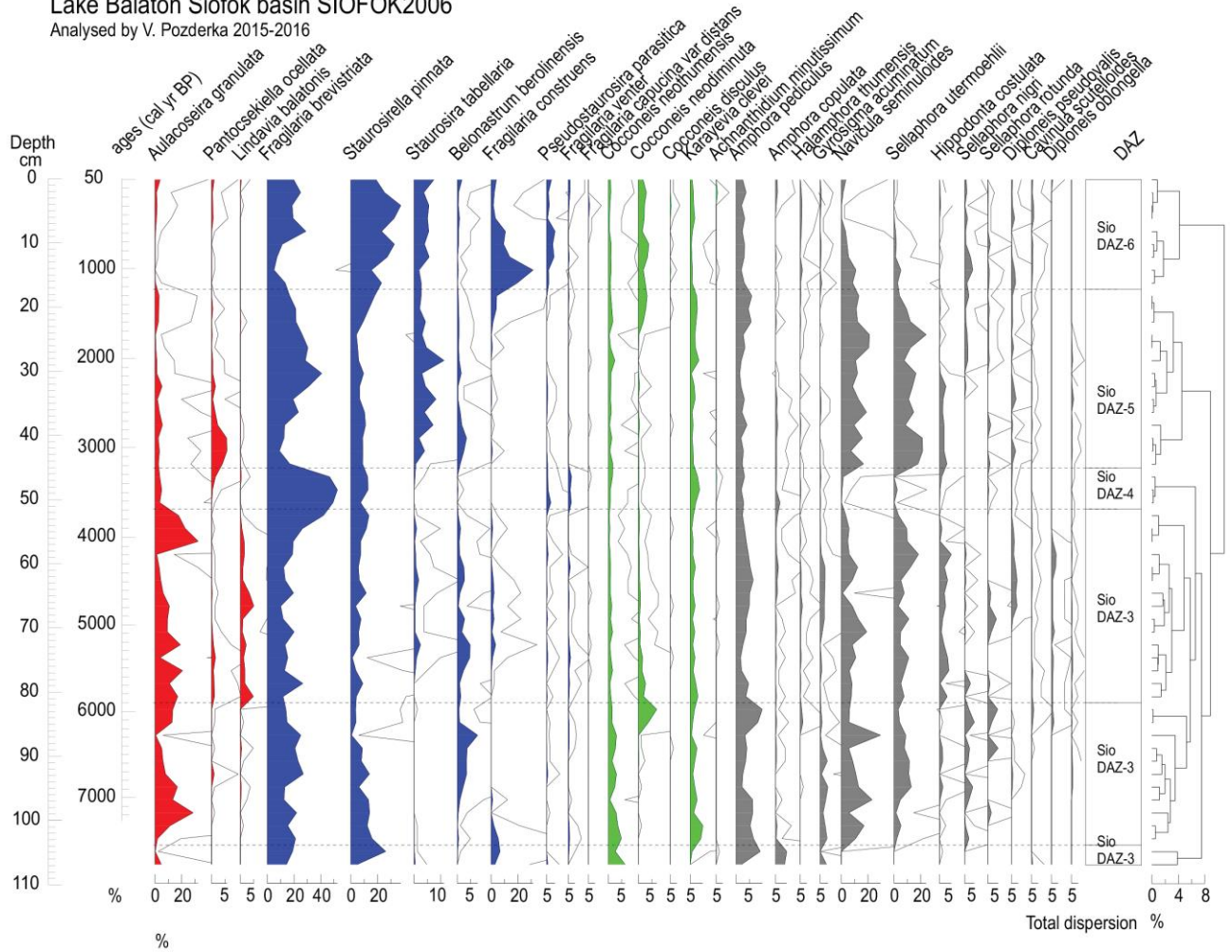
3.1.3.2. Életformák habitatfüggése

A mozgásra képes (motile) guild a kövek alsó részére, ill. a nagyobb vízmélységre volt jellemző. A low-profile életforma a kövek felső részén és a sekély vízi iszapfelszínen meghatározó. A mohákra a magas profilú és mozgékony guildbe tartozók jellemzőek. A várakozásoknak megfelelően a planktonikus guild a mély vízi iszapfelszínen volt gyűjthető a legnagyobb arányban, vagyis valóban vízszint proxiként kezelhető.

Ugyancsak izgalmas kérdés a fajtelitődési görbék alakulása a habitatokban, de mivel ezzel a kérdéssel a hazai gyakorlatban még részletesen nem foglalkoztunk, ezért erre nem térünk ki ebben az összefoglalóban. Ugyancsak nem időszerű még a metaközösségi elemzés sem, de ez a közeljövő sürgető feladata (*Leibold et al. 2004*).

Végezetül egy 2019-ben megjelent publikációnkat említjük meg, elkészült a ***Balaton első nagyfelbontású kovaalga elemzése a Siófoki öbölben, ahol a habitat-preferenciák és életformák*** elemzésére is történik utalás (*Buczko et al. 2019*).

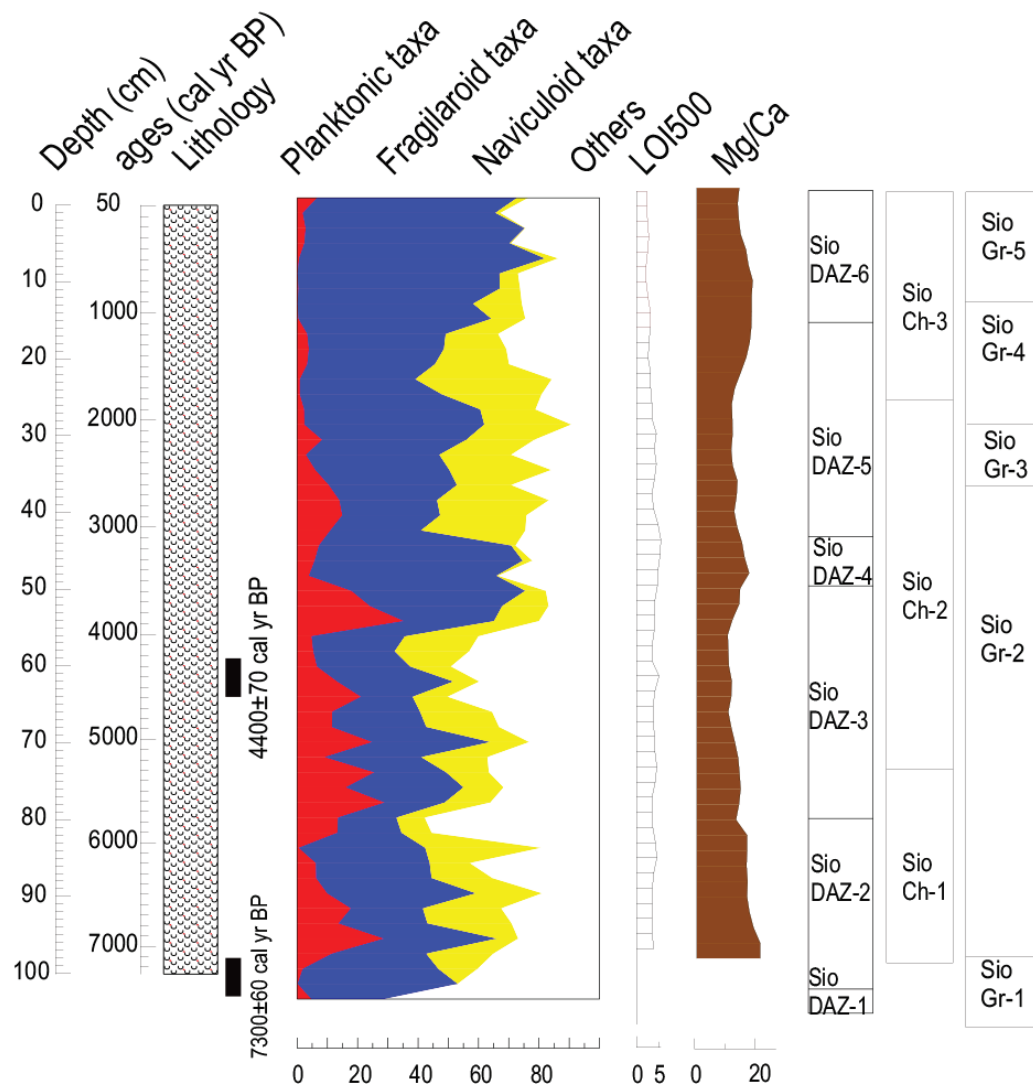
Lake Balaton Siófok basin SIOFOK2006
 Analysed by V. Pozderka 2015-2016



4. ábra: Az első nagyfelbontású diatóma elemzés a Balaton Siófoki öblében. A legfontosabb diatóma taxonok relatív gyakorisága a SIOFOK2006 fúrásból. A planktonikus fajokat piros, a fragilaroid taxonokat kék, még a perifitikus diatómák zöld színnel jelöltek. A CONISS elemzés 6 diatóma zónát különít el (Buczko et al. 2018)

Ugyanez az adatsor a habitatokra jellemző csoportok szerint:

Lake Balaton Siófok basin SIOFOK2006



5. ábra: Összefoglaló ábra Siófoki medence kovaalga és geokémiai és üledékfizikai jellemzőiről (Buczko et al. 2019)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A paleolimnológia gyorsan fejlődő eszköztárával, a téma hasznosságát felismerő szakértők számának növekedésével évről évre több eredményt mutat fel, egyre több publikáció készül a témakörből. Jelen összefoglaló írásával egyidőben is számos fontos

kutatás folyik, elsősorban a Balaton utolsó kétezer éves történetének megismerésére irányulóan.

A Debreceni Egyetemen, a Veszprémi Egyetemen, az ELTÉ-n, Természettudományi Múzeumban, Szegeden és az Ökológiai Központban folyó munkák jelentős része a Kárpáti régió más területeire, pl.: a hegyi tavakra fókuszál, mert azokban sokkal jobbak az üledékképződési feltételek (nem szél által felkevert az üledék).

A munka során a paleoökológiai adatok birtokában megpróbáltuk leírni azt az állapotot, ami recens sekély állóvizeink esetén referenciálisnak tekinthető. A hazai paleoökológiai eredmények száma csekély és a vizsgálatok sem trofikus rekonstrukcióra irányultak, ezért megállapításaink nem olyan érvényűek, mint az ugyanezen adatokból végzett tájtörténeti-, vízrajzi- vagy klíma-rekonstrukcióké. Egyértelműen megállapítható azonban, hogy ***az emberi beavatkozásoktól csaknem mentes korai és középső holocén időszakban a sekély állóvizek évezredeként keresztül zajló tavi feltöltődést*** (un. limnikus fejlődést) mutattak, ami csak akkor képzelhető el, ha a tavak tápanyagkészlete tartósan alacsony maradt, azaz ***oligotróf, oligo-mezotróf állapotúak voltak. Ha a VKI referenciális állapotra vonatkozó definícióját a szó szoros értelmében alkalmazzuk, akkor a néhány száz évvel ez előtti állapotokat semmiként sem tekinthetjük referenciálisnak, bármennyire is vonzó lenne ez a megközelítés. A referenciális állapot sokkal inkább az, amit a középső holocén medrekre vonatkozó palinológiai eredmények tükröznek: azaz egy oligo-mezotróf állapot, tavi feltöltődési dinamikával. A recens tavaink közül a legjobb állapotot mutatók is távol állnak a referenciális állapottól. Ezek tápanyagtartalmuk alapján kivétel nélkül eutrófak, és ez az állapot nem magyarázható természetes geokémiai sajátosságokkal. Még ha jelenleg diverz közösségekkel jellemezhető állapotot mutatnak is, a VKI szempontrendszerét követve, csak „az elérhető legjobb állapotú vízterekként” tekinthetünk rájuk.***

A paleolimnológiai adatok referencia állapot kijelölése során történő felhasználására vonatkozóan *Gottschalk (2011)* és *Hübener et al. (2009)* munkái irányadóak, akik a vizsgálataik alapján a módszertani nehézségeket is elemezve arra a következtetésre jutottak, hogy általános szabály nem állítható fel, ***a tavak egyediségét, fejlődéstörténetét figyelembe kell venni, és hosszabb időtáv (több mint 200 év) vizsgálata ajánlott a megbízhatóbb eredményhez.***

Az irodalmi adatok alátámasztották, hogy indokolt lenne rendszeres, jelentősebb tavak esetében akár éves jelentéseket készíteni a témában, illetve a fitobentosz vizsgálatokkal

való alkalmazáshoz szükséges több partközeli fúrás mélyítése. Azonban az is tény, hogy nagyon költséges vizsgálatokról beszélünk, ezért jól át kell gondolni, hogy megbízhatóan korolható, jó megtartású rétegekből történjenek a vizsgálatok, különösen ha referencia feltételek meghatározása céljából végezzük őket.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Anderson, N.J., 1995. Naturally eutrophic lakes: reality, myth or myopia? *Trends in Ecology & Evolution*, 10(4), pp.137-138.
- B.-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., Kókai, Z., Novák, Z., Enikő, T., ... Bácsi, I. (2016). Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream. *Ecological Indicators*, 64, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.02.010>
- Battarbee RW, Jones VJ, Flower RJ, Cameron NG, Bennion H, Carvalho L, Juggins S (2001) Diatoms. In: Smol JP, Birks HJB, Last WM(eds) *Tracking environmental change using lake sediments*, vol 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 155–202
- Battarbee, R. W., Morley, D., Bennion, H., Simpson, G. L., Hughes, M., & Bauere, V. (2011). A palaeolimnological meta-database for assessing the ecological status of lakes. *Journal of Paleolimnology*, 45(4), 405-414.
- Beales, P.W., 1980. The Late Devensian and Flandrian vegetational history of Crose Mere, Shropshire. *New Phytologist*, pp.133-161.
- Bendefy, L., I.V. Nagy (1969). *A Balaton évszázados partvonalváltozásai (Changes of the shoreline of Lake Balaton)*. Műszaki Könyvkiadó, 215 p.
- Bennett, K.D. & Willis, K.J. (2001). Pollen. In J.P. Smol, H.J.B. Birks, & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer, Dordrecht, pp. 5–32.

- Bennion, H., Battarbee, R. W., Sayer, C. D., Simpson, G. L., & Davidson, T. A. (2011). Defining reference conditions and restoration targets for lake ecosystems using palaeolimnology: a synthesis. *Journal of Paleolimnology*, 45(4), 533-544.
- Birks H.H. & Birks, H.J.B. (2006). Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation History and Archaeobotany* (2006) 15: 235-251 DOI: 10.1007/s00334-006-0066-6
- Birks HJB, Felde VA, Bjune AE, Grytnes J-A, Seppa H, Giesecke T (2016) Does pollen- assemblage richness reflect floristic richness? A review of recent developments and future challenges. *Rev Palaeobot Palynol* 228:1–25
- Birks, H.J.B. (1998). Numerical tools in palaeolimnology – Progress, potentialities, and problems. *Journal of Paleolimnology* 20: 307-332.
- Birks, H.H. (2001). Plant macrofossils. In J.P. Smol, H.J.B. Birks, & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 49–74.
- Borics, G., Lukács, B.A., Grigorszky, I., László-Nagy, Z., Bolgovics, Á., Szabó, S., Görgényi, J. and Várbiro, G., 2014. Phytoplankton-based shallow lake types in the Carpathian basin: steps towards a bottom-up typology. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 184(1), pp.23-34.
- Bosnakoff, M. (2008). Late Miocene (Pannonian) sciaenid fish otoliths from Hungary – preliminary studies. In: Galácz, A. (ed.): 125th Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University – A Jubilee Volume, *Hantkeniana* 6: 219-228.
- Braun, M., Sümegi, P., Szűcs, L. and Szöör, G., 1993. A kállósemjéni Nagy-Mohos láp fejlődéstörténete (Lápképződés emberi hatásra és az ősláp hipotézis)(Evolution of Nagy-Mohos Bog in Kállósemjén). *Jósa András Múzeum Évkönyve*, 33(35), pp.335-366.
- Bréhard, S., Radu, V., Martin, A., Hanot, P., Popovici, D., & Bălăşescu, A. 2014. Food Supply Strategies in the Romanian Eneolithic: Sheep/Goat Husbandry and Fishing Activities from Hârşova Tell and Borduşani-Popină (5th Millennium bc). *European Journal of Archaeology*, 17(3), 407-433.
- Brodersen, K.P., Odgaard, B.V., Vestergaard, O., & Anderson, N.J. (2001). Chironomid stratigraphy in the shallow and eutrophic Lake Søbygaard, Denmark: Chironomid–macrophyte co-occurrence. *Freshwater Biology*, 46, 253–67.

- Brown, S.R., McIntosh, H.J., & Smol, J.P. (1984). Recent paleolimnology of a meromictic lake: fossil pigments of photosynthetic bacteria. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung von Limnologen*, 22, 1357–60.
- Buczko K. Vörös, L. & Cserny, T. (2005). The diatom flora and vegetation of Lake Balaton from sediment cores according to Márta Hajós 's legacy - *Acta Botanica Hungarica* 47: 75-115.
- Buczko, K. (2001). In Memoriam Hajós Márta (1916-2000) – *Diatom Research* 16 (2) 443-447.
- Buczko, K. (2016). Szilícium-dioxid vázas algák mintázat és skálafüggő alkalmazása a környezeti rekonstrukcióban. DSc értekezés 116 oldal http://real-d.mtak.hu/1002/7/dc_1342_16_doktori_mu.pdf
- Buczko, K., Ács, É., Báldi, K., Pozderka, V., Braun, M., Kiss, K. T., & Korponai, J. (2019). The first high resolution diatom record from Lake Balaton, Hungary in Central Europe. *Limnetica*, 38(1), 417-430.
- Catalan J, Camarero L, Felip M, Pla S, Ventura M, Buchaca T, Bartumeus F, Mendoza Gd, Miro' A, Casamayor EO, Medina-Sa'nchez JM, Bacardit M, Altuna M, Bartrons M, Quijano Dd (2006) High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica* 25:581–584
- Catalan J, Pla S, Garcia J, Camarero L (2009) Climate and CO2 saturation in an alpine lake throughout the Holocene. *Limnol Oceanogr* 54:2542–2552.
- Catalan J, Pla S, Rieradevall M, Felip M, Ventura M, Buchaca T, Camarero L, Brancelj A, Appleby PG, Lami A, Grytnes A, Agusti-Panareda A, Thompson R (2002) Lake Redo ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. *J Paleolimnol* 28:129–145
- Chivas, A.R. & Holmes, J.A. (eds.) (2002). *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. Geophysical Monograph Series 131. Washington, DC: American Geophysical Union, pp. 1–313.
- Cholnoky, J. (1897). A Balaton limnológiája (Limnology of Lake Balaton). – In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei (I. kötet, 3. rész). – M. Földrajzi Társaság Balaton bizottsága, 128 p.

- Cholnoky, J. (1918). A Balaton hidrográfiája (Hydrography of Lake Balaton). In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei (I. kötet, 2. rész). – M. Földrajzi Társaság Balaton bizottsága, 316 p.
- Cohen, S. A. (2003). *Paleolimnology, The History and Evolution of Lake Systems*. Oxford University Press, 3-399.
- Conley, D.J. & Schelske, C.L. (2001) Biogenic silica. In J.P. Smol, H.J.B. Birks, & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 281–93.
- Currie, D.C. & Walker, I.R. (1992) Recognition and palaeohydrological significance of fossil black fly larvae, with a key to Nearctic genera (Diptera: Simuliidae). *Journal of Paleolimnology*, 7, 23–35.
- Curry, B.B. (1998) An environmental tolerance index for ostracodes as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148, 51–63.
- 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, Vol 46*. Tulsa, OK: 605–618.
- Cserny, T. (1987). Results of recent investigations of the Lake Balaton deposits. In Pécsi, M. and Kordos, L. eds. *Holocene environment in Hungary*. Geographical Research Institute Hungarian Academy of Sciences, Budapest. p. 67-76.
- Cserny, T. (1994). Lake Balaton (Hungary), in E. Gierlowski-Kordesch and K. Kelts, eds., *Global Geologic Record of Lake Basins*. Vol. 1. Cambridge Univ. Press, p. 395-399.
- 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.
- Cserny, T., Nagy-Bodor, E. and Hajós, M. (1991b). Contributions to the sedimentology and evolution history of Lake Balaton. In Pécsi, M. and Schweitzer, F., eds.: *Quaternary environment in Hungary*. Studies in Geography in Hungary, 26. Akadémiai Kiadó, p. 75-84.

- De'Ath, G. (2002). Multivariate regression trees: a new technique for modeling species–environment relationships. *Ecology*, 83(4), 1105-1117.
- DeDeckker, P. (1988) An account of the techniques using ostracodes in palaeolimnology in Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62, 463–75.
- Douglas MSV, Smol JP (1995) Periphytic diatom assemblages from high arctic ponds. *J Phycol* 31:60–69.
- [Elias, S.](#) (2001) Coleoptera and Trichoptera. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 67-80.
- Félegyházi, E., 2008. Ártéri lapályok elhagyott meder- és morotvatavainak feltöltődési sebessége. *Földrajzi tanulmányok*, (2). pp. 55-63. (2008)
- Fischer G., Wefer G. (eds) (1999) *Use of proxies in paleoceanography. Examples from the South Atlantic*. Berlin: Springer.
- Frey, D.G. (1964). Remains of animals in Quaternary lake and bog sediments and their interpretation. *Ergebnisse der Limnologie* 2: 1-114.
- Goslar, T., Ralska-Jasiewiczowa, M., van Geel, B., Łącka, B., Szeroczyńska, K., Chróst, L. and Walanus, A., 1999. Anthropogenic changes in the sediment composition of Lake Gościąg (central Poland), during the last 330 yrs. *Journal of Paleolimnology*, 22(2), pp.171-185.
- Gottschalk, S. (2011). EU reference conditions in swedish lakes identified with diatoms as palaeoindicators--a review. *Boreal environment research*, 16.
- Granberg, K. (1983) *Closteridium perfringens* (Holland) as an indicator of human effluent in the sediment of Lake Tuomiojärvi, central Finland. *Hydrobiologia*, 103, 181–4.
- Gregory-Eaves I, Beisner BE (2011) Palaeolimnological insights for biodiversity science: an emerging field. *Freshw Biol* 56:2653–2661
- Gulyás, P., Forró L. (1999). *Az ágoscsápú rákok kishatározója*. 237 pp
- Harrison ,FW . 1990. Freshwaters ponges,p . 75-80. In B. G. Warner(ed.), *Methods in Quaternary Ecology*. Geoscience CanadaReprint Series 5.

- Harrison, F. W. 1974. Sponges (Porifera: Spongillidae). In *Pollution ecology of freshwater invertebrates*. Edited by C. W. Hart and S. L. H. Fuller. Academic Press, New York. pp. 29-66.
- Holmes, J.A. (1996) Trace-element and stable-isotope geochemistry of non-marine ostracod shells in Quaternary palaeoenvironmental reconstruction. *Journal of Paleolimnology*, 15, 223–35.
- Hübener, T., Adler, S., Werner, P., Schwarz, A., & Dreßler, M. (2015). Identifying reference conditions for dimictic north German lowland lakes: implications from paleoecological studies for implementing the EU-Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, 742(1), 295-312.
- Istvánovics, V., A. Osztóics & M. Honti (2004). Dynamics and ecological significance of daily internal load of phosphorus in shallow Lake Balaton, Hungary. *Freshwater Biology* 49: 232–252.
- Istvánovics, V., Heródek, S. and Szilágyi, F. (1989). Phosphorus adsorption by the sediments of shallow Lake Balaton and its protecting reservoirs. *Water Research*, 23. p. 1357-1366.
- Jakab, G. Sümegi, P. (2011) *Negyedidőszaki makrobotanika (Quaternary macrobotany)*. GeoLitera SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport,
- Jeppesen, E., Leavitt, P., De Meester, L. & Jensen, J.P. (2001) Functional ecology and palaeolimnology: Using cladoceran remains to reconstruct anthropogenic impacts. *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 191–8.
- Jeppesen, E., Madsen, E.A. & Jensen, J.P. (1996) Reconstructing the past density of planktivorous fish and trophic structure from sedimentary zooplankton fossils: a surface sediment calibration data set from shallow lakes. *Freshwater Biology*, 36, 115–27.
- Jeppesen, E., P. Nõges, T.A. Davidson, J. Haberman, T. Nõges, K. Blank, T.L. Lauridsen, M. Søndergaard, C. Sayer, R. Laugaste, L.S. Johansson, R. Bjerring, & S.L. Amsinck (2011). Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676:279–297.

- Kearns, C., N. Hairston & D. Kesler (1996). Particle transport by benthic invertebrates: its role in egg bank dynamics. *Hydrobiologia* 332: 63–70.
- Kerfoot, W.C. & Weider, L.J. (2004) Experimental paleoecology (resurrection ecology): Chasing Van Valen's Red Queen hypothesis. *Limnology and Oceanography*, 49 (4, part 2, suppl.), 1300–16.
- Kopalová, K., Soukup, J., Kohler, T. J., Roman, M., Coria, S. H., Vignoni, P. A., Lecomte, K. L., Nedbalová, L. Nývlt, D. & Lirio, J. M. (2019). Habitat controls on limno-terrestrial diatom communities of Clearwater Mesa, James Ross Island, Maritime Antarctica. *Polar Biology*, 42(8), 1595-1613.
- Korhola, A. & Rautio, M. (2001) Cladocera and other branchiopod crustaceans. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 5–41.
- Korhola, A., M. Tikkanen, & J. Weckström, 2005. Quantification of Holocene lake-level changes in Finnish Lapland using a cladocera – lake depth transfer model. *Journal of Paleolimnology* 34: 175–190.
- Korponai J., Varga K., Lengré T., Kövér Cs., Papp I. (2011) A Balaton trofitás változásának paleolimnológiai rekonstrukciója a Cladoceramadványok alapján = Paleolimnological reconstruction of trophic state in Lake Balaton using Cladocera remains. *Ecology of Lake Balaton / A Balaton ökológiája* 1:(1) pp. 35-48.
- Korponai, J., M. Braun, K. Buczkó, I. Gyulai, L. Forró, J. Nédli, I. Papp (2010). Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavári pond, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia* 641: 225-244.
- Lascu, I., Wohlfarth, B., Onac, B. P., Björck, S., & Kromer, B. 2014. A Late Glacial paleolake record from an up-dammed river valley in northern Transylvania, Romania. *Quaternary International*. 1-10.
- Leavitt, P.R. & Hodgson, D.A. (2001) Sedimentary pigments. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 295–325.
- Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M. F., ... & Loreau, M. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology letters*, 7(7), 601-613.

- Lim DSS, Kwan C, Douglas MSV (2001) Periphytic diatom assemblages from Bathurst Island, Nunavut, Canadian High Arctic: an examination of community relationships and habitat preferences. *J Phycol* 37:379–392
- Little, J. and Smol, J.P. (2000) Changes in fossil midge (Chironomidae) assemblages in response to cultural activities in a shallow polymictic lake. *Journal of Paleolimnology*, 23, 207–12.
- Lóczy, D., Kiss, T. 2008. Ártérfejlődés és holtágfeltöltődés sebességének vizsgálta. *Földrajzi tanulmányok*, (2). pp. 43-54.
- Lóczy, L. (1916). Die geologischen Formationen der Balatongegend und ihre regionale Tektonik (Erste Sektion). *Physische Geographie des Balatonsees und seiner Umgebung (Erster Band). Die Geomorphologie des Balatonsees und seiner Umgebung (Erster Teil). Resultate der Wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees.* Balatonausschusse der ung. Geographischen Gesellschaft. Wien.
- Mackay, A.W., Jones, V.J., Battarbee, R.W. (2003) Approaches to Holocene climate reconstruction using diatoms. In *Global Change in the Holocene; (Eds.), Mackay, A.W., Battarbee, R.W., Birks, H.J.B., Oldfield, F., Published by Arnold. (Chapter 20)* pp. 294-309.
- Magyari, E. K., Chapman, J., Fairbairn, A. S., Francis, M., & de Guzman, M. 2012. Neolithic human impact on the landscapes of North-East Hungary inferred from pollen and settlement records. *Vegetation history and archaeobotany*, 21(4-5), 279-302.
- Meyers, P.A. & Lallier-Vergès, E. (1999) Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21, 345–72.
- Meyers, P.A. & Teranes, J.L. (2001) Sediment organic matter. In W.M. Last and J.P. Smol (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 2: Physical and Geochemical Methods.* Dordrecht: Kluwer, pp. 239–69.
- Michelutti N, Holtham AJ, Douglas MSV, Smol JP (2003) Periphytic diatom assemblages from ultra-oligotrophic and UV transparent lakes and ponds on Victoria Island and comparisons with other diatom surveys in the Canadian Arctic. *J Phycol* 39:465–480

- Miller B. B. & Tevesz M. J. S. (2001) Freshwater mollusca. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 153-171.
- Moss, B., McGowan, S. and Carvalho, L., 1994. Determination of phytoplankton crops by top-down and bottom-up mechanisms in a group of English lakes, the West Midland meres. *Limnology and Oceanography*, 39(5), pp.1020-1029.
- Náfrádi K., Sümegi P., Töröcsik T. (2012) Charcoal and pollen analyses and vegetation reconstruction of the Alpine foreland in West Hungary *Central European Journal of Geosciences* 4: pp. 592-602.
- Nagyné-Bodor, E., Cserny, T., Hajós, M. 1996. A Garancs-tó palynológiai és komplex földtani vizsgálata. (Palynological and complex geological investigations of Lake Garancs). In Hably, L. ed. *Emlékkötet Andreászky Gábor (1895-1967) születésének 100. évfordulójára* (Studia Naturalia 9: 137-146
- Padisák, J. (1997). Botanikai kutatások a Balatonon. – In: Salánki, J. and Nemcsók, J. (eds): *A Balaton kutatás eredményei: 1981–1996*. MTA VEAB, Miniszterelnöki Hivatal Balatoni Titkársága, Veszprém, pp. 97–135.
- Palm, F., Stenson, J.A.E. & Lagergren, R. (2005) Which paleolimnological zooplankton records can indicate changes in planktivorous fish predation? *Verhandlungen der Internationale Vereinigung von Limnologie*, 29, 661–6.
- Pantocsek, J. 1913a. A Balaton fenékalatti mederfúrások sorozatai mélységi próbáiban talált Bacilláriák táblázatos kimutatása./Tabular presentation of the diatoms found in the samples of the serialdeep 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.
- Passy, S. I. (2007). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behaviour along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>
- Patterson, W.P. & Smith, G.R. (2001) Fish. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 173–87.

- Persaits G. (2010) A fitolitok szerepe a geoarchaeológiai minták értékelésében. SZTE TTK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged, 2010. PhD értekezés
- Piperno, D. R. (1985). Phytolith analysis and tropical paleo-ecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in the New World plant domesticates and wild species. *Review of Paleobotany and Palynology* 45: 185-228.
- Piperno, D. R. (1988) *Phytolith Analysis. An Archaeological and Geological Perspective.* Academic Press, Inc. San Diego
- Pla-Rabés, S., & Catalan, J. (2018). Diatom species variation between lake habitats: implications for interpretation of paleolimnological records. *Journal of paleolimnology*, 60(2), 169-187.
- Reavie, E.D. & Smol, J.P. (1998) Epilithic diatoms of the St. Lawrence River and their relationships to water quality. *Canadian Journal of Botany*, 76, 251–7.
- Revenge, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K. and Payne, R., 2000. *Freshwater systems.* Washington, DC: World Resources Institute.
- Reynolds, C. S., Padisák, J., & Kóbor, I. (1993). A localized bloom of *Dinobryon sociale* in Lake Balaton: Some implications for the perception of patchiness and the maintenance of species richness. *Abstracta Botanica*, 251-260.
- Rimet, F., & Bouchez, A. (2012). Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 406, 01. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae/2012018>
- Sági, K. (1968). A Balaton vízállástendenciái 1863-i a történet és kartográfiai adatok tükrében (Water level trends of Lake Balaton before 1863, as revealed by historical and cartographical data. *Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei* 7: 441–468. (in Hungarian).
- Sebestyén, O. (1971). Kladocera tanulmányok a Balatonon IV. Negyedkori maradványok a Balaton üledékében III— Cladocera studies in Lake Balaton IV. Quaternary remains in the sediment of Lake Balaton III. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academie Scientiarum* 38: 227–268.
- Smol, J.P. (2008) *Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective* 2nd Edition. Blackwell Publishing, Oxford. 383 pp

- Soininen, J., Jamoneau, A., Rosebery, J., & Passy, S. I. (2016). Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global ecology and biogeography*, 25(8), 940-950.
- Stenger-Kovács, C., Körmendi, K., Lengyel, E., Abonyi, A., Hajnal, É., Szabó, B., ... & Padisák, J. (2018). Expanding the trait-based concept of benthic diatoms: Development of trait-and species-based indices for conductivity as the master variable of ecological status in continental saline lakes. *Ecological Indicators*, 95, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.026>
- Stoermer E., F. & J. P. Smol (eds), (1999) *The diatoms: Applications for the environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sümegei, P. (2001) *A negyedidőszak földtani és öskörnyezettani alapjai*. JatePress Szeged. 262 oldal.
- Sümegei, P., Daniel, P., Kovács-Pálffy P. Juhász I., Deli T. Szántó Zs. 2003: A bátorligeti ősláp fejlődés-története. *Tájökológiai Lapok* 1: 97–117
- Sümegei, P., E., Bodor, I. Juhász, Z. Hunyadfalvi, K. Herbich, S. Molnár & G. Timár (2007). A Balaton déli partján feltárt régészeti lelőhelyek környezettörténeti feldolgozása (Paleoenvironmental study of archeological sites in the south shore of the lake Balaton). In Belényesy K., Sz. Honti & V. Kiss (eds), *Rolling Time. Excavations on the M7 Motorway on County Somogy Between Zamárdi and Ordacsehi*. Somogy megyei Múzeumok Igazgatósága - MTA Régészeti Intézete: 241–253.
- Szeroczynska K., Sarmaja-Korjonen K. (2007) *Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe* Friends of the Lower Vistula Society 84 oldal
- Tóth M, Magyarai EK, Brooks SJ, 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:(1) pp. 122-131.
- Tóth, G. and Szigeti, C., 2016. The historical ecological footprint: From over-population to over-consumption. *Ecological Indicators*, 60, pp.283-291.
- Tullner, T. and T. Cserny (2003). New aspects of lake-level changes: Lake Balaton, Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 46: 215–238.

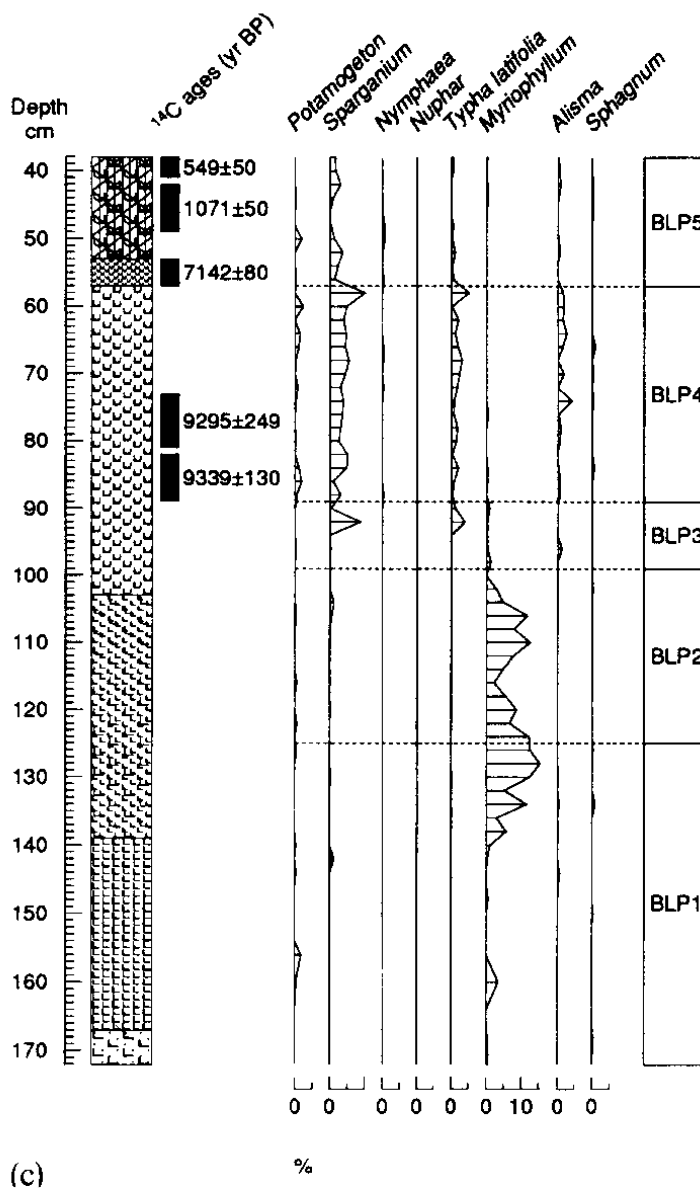
- Uutala, A.J. (1990) Chaoborus (Diptera: Chaoboridae) mandibles – paleolimnological indicators of the historical status of fish populations in acid-sensitive lakes. *Journal of Paleolimnology*, 4, 139–51.
- Vandekerckhove, J., Declerck, S., Brendonck, L., et al. (2005) Uncovering hidden species: Hatching diapausing eggs for the analysis of cladoceran species richness. *Limnology and Oceanography: Methods*, 3, 399–407.
- Vass Róbert (2014) Ártérfejlődési vizsgálatok felső-tiszai mintaterületeken. Egyetemi doktori (PhD) értekezés. DE.
- Virág, Á. (1998). A Balaton múltja és jelene (The Past and the Present of Lake Balaton). Egri Nyomda Kft.
- Visnovitz, F. (2015). Balatoni vízi szeizmikus szelvények környezetgeofizikai vizsgálata Environmental geophysical study of water seismic profiles at Lake Balaton. PhD thesis ELTE TTK Budapest 214 oldal
- Walker, I.R. (2001) Midges: Chironomidae and related Diptera. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer, pp. 43–66.
- WEB: <http://www.neotomadb.org/groups>
- Weckström, J., Korhola, A., Erästö, P., and Holmström, L. (2006) Temperature patterns over the past eight centuries in Northern Fennoscandia inferred from sedimentary diatoms. *Quaternary Research*, 66, 78–86.
- Wilkinson, A.N., Zeeb, B. & Smol, J.P. (2001) *Atlas of Chrysophycean Cysts, Volume II*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 180 pp.
- Willis, K.J., Sümegei, P., Braun, M. and Tóth, A., 1995. The late Quaternary environmental history of Bátorliget, NE Hungary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118(1-2), pp.25-47.
- Zeeb, B.A. & Smol, J.P. (2001) Chrysophyte scales and cysts. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B. & Last, W.M. (eds.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 203–223.
- Zólyomi, B. (1965). VITUKI Reports, Manuscript

Zólyomi, B. (1995). Opportunities for pollen stratigraphic analysis of shallow lake sediments the example of Lake Balaton. Geol. Journal 36/2-3, pp. 237-241.

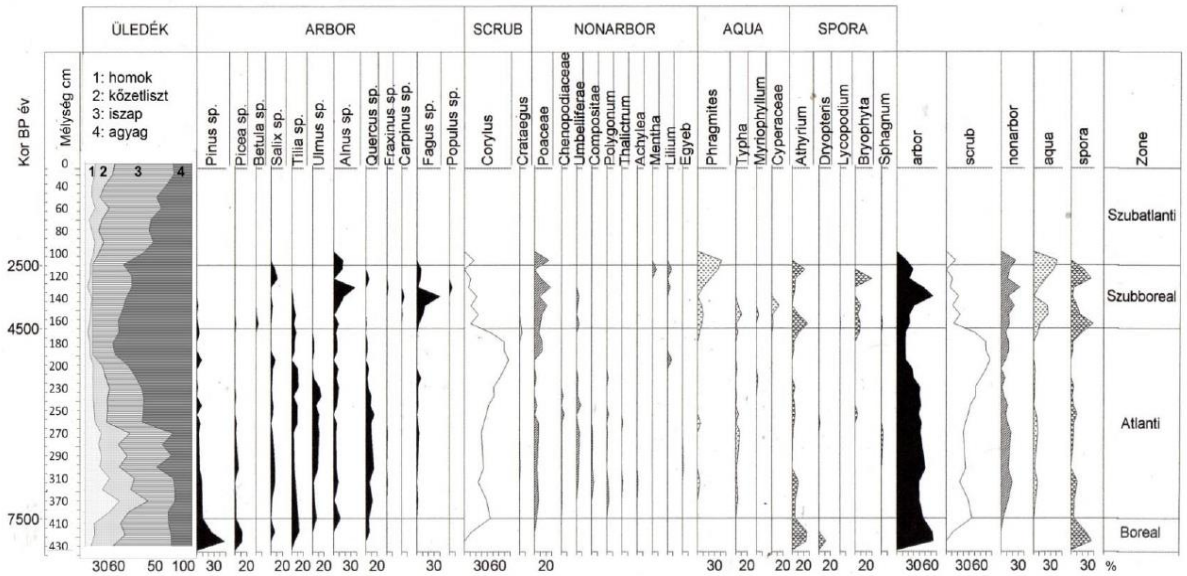
7. MELLÉKLET

7.1. A VIZSGÁLT MEDREK FÚRÁSMAGJAINAK ÖSSZSPOROFORMA DIAGRAMJAI

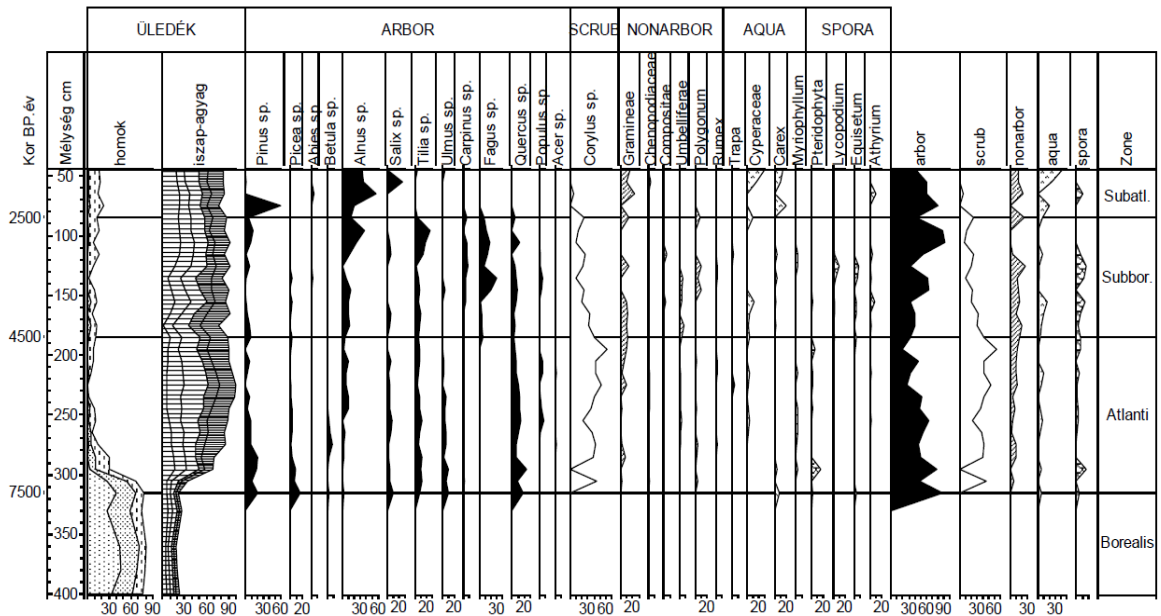
6.1.1. Bátorligeti láp összsporoforma diagramja (Willis et al., 1995)



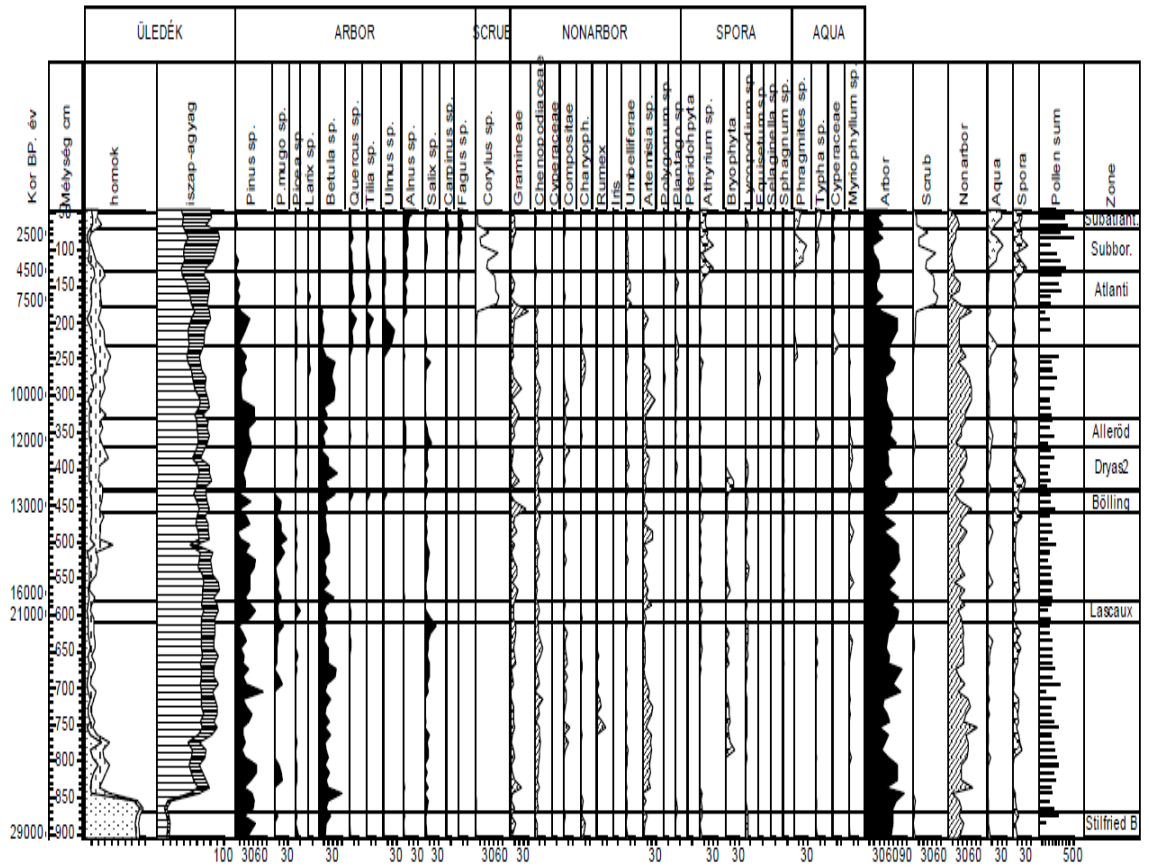
6.1.2. A Jándi holtmeder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja (Félegyházi E., in Vass 2014)



6.1.3. A tákosi paleo-meder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja (Félegyházi E., in Vass 2014)



**6.1.4. Az Örvényszeg paleo-meder szemcseösszetétele és összsporoforma diagramja
(Félegyházi E., in Vass 2014)**



6.1.5. A Sarlóhát összsporoforma diagramja (Magyari et al., 2005)

