



SÜMEGI PÁL – SCHÖLL-BARNA GABRIELLA – DEMÉNY ATTILA

A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve

A Balaton kialakulására vonatkozó első tudományos értékű elméletet még 1732-ben *Bél Mátyás* írta le. Szerinte a tó a Zala-folyó kiszélesedő torkolataként fogható fel. 1782-ben az első osztrák katonai, ún. „*Josefiánus*” térkép kialakítása során elkészült az első, partfejlődési szempontból is jelentős Balaton-térkép, majd *François-Sulpice Beudant* francia geológus végzett igen fontos geológiai megfigyeléseket a területen; felismerte és leírta a holocén tőzeget (*tourbe*), és elkészítette a Balaton első geológiai térképét 1818–1822 között.

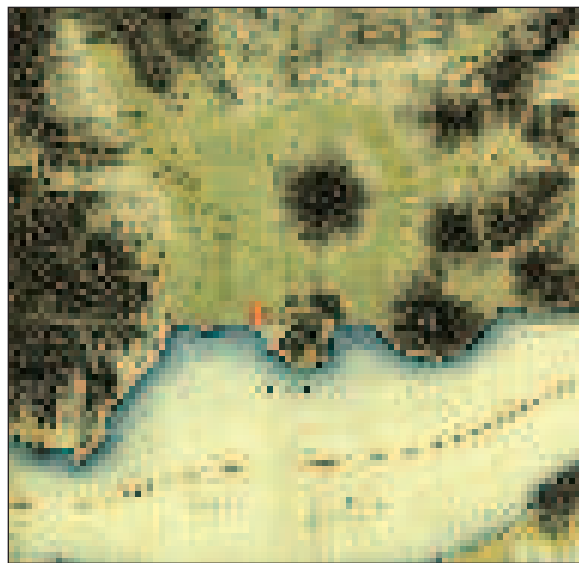
A geológiai felmérések alapján készített tőzegetérképek nyomán a Magyar Királyi

tója nemzetközi szinten is kiemelkedő, az éghajlati tényezőktől a tó földtani fejlődésére is kiterjedő monografikus sorozatban megjelenő limnológiai kutatásokat indított el a Balatonon a XX. század kezdetén. A földtani vizsgálatok nyomán arra következtettek, hogy a Balaton 4 részmedence feltöltődésével alakult ki. Ezt a geológiai fejlődéstörténeti képet támasztotta alá az 1980-as években megkezdett, a Magyar Állami Földtani Intézet vezetésével folytatott komplex földtani vizsgálat is. Ennek nyomán rajzolódott ki, hogy a tó több, egymástól elkülönülő, eltérő korú, többféle tényező hatására, poligenetikus módon létrejött részmedencékből áll és fejlődése a jégkor végén kezdődött el.

Mindezek ellenére, a Balaton kialakulásáról igen sok hipotézis, természetrajzi vízió jelent meg tudományos szinten. A sokféle megalapozatlan elmélet miatt, és a tó környékén a régészeti ásatásokon végzett környezettörténeti, régészeti, geológiai megfigyelések, kutatások nyomán határoztuk el, hogy újabbakat végzünk a Balaton fejlődésének feltáráására. Vizsgálati területnek a Tapolcai-medence déli részét, a Balatonedericsi és Szigliget közötti edericsi öblöt választottuk (**1. ábra**). A fűrészhelyszín kiválasztása után magfűrészrel emeltünk ki egy az utolsó 20 ezer év során fel-

geztünk. Összesen 38 különböző tényező, környezeti változást visszajelző marker szempontjából vizsgáltuk a fűrészelt. A mintavételezés olyan sűrűn történt a fűrészelt mentén, hogy az egyes minták időbeli felbontása átlagosan 100 évnél adódott, de egyes szakaszokban az időbeli felbontás elérte az 50 évet is. Így az utolsó 20 ezer évre vonatkozóan megközelítőleg évszázados, de egyes időszakokban évtizedes léptékben tudtuk az őslénytani, geológiai, geokémiai tényezőket változásait vizsgálni és ennek nyomán a Balaton vízrendszerének és környezetének átalakulásait modellezni.

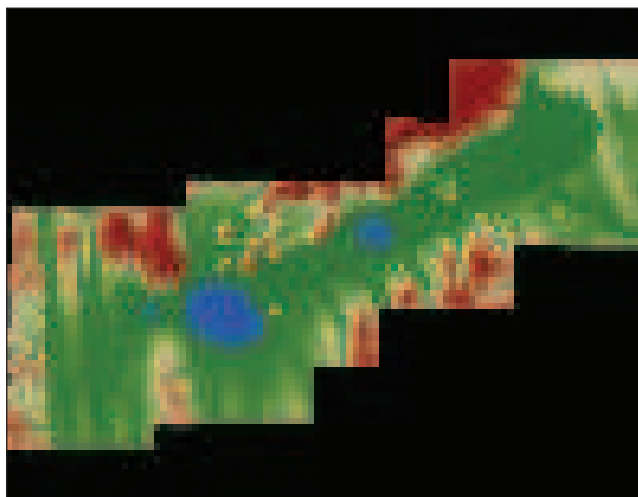
A különböző geológiai és őslénytani markerek alapján a következő változásokat lehetett a tómederben és környezetében elkülöníteni. A fűrés és a balatonedericsi öblöt fenékszintjét egy 20–21 ezer évvel ezelőtt kifejlődött folyóvízi kavicsos homokrét alkotja. Ez a folyóvízi réteg az edericsi öblöt is magába foglaló süllyedék, a mai Balaton egyik részmedencéjének kialakulási szintje. Ugyanis a vizsgált terület süllyedése nyomán a magasabb térszínről induló patakok nagymennyiségű mállatlan szilikátot, folyóvízi törmelékét szállítottak a kialakuló üledékgyűjtő medencébe, a Balaton megszületésénél legősibb részmedencéjébe. A szervesanyag mellett hidegtűrő, hidegkedvelő csigák héjai, és hidegkedvelő, napjainkban csak tundrán, tajgában élő növényfajok maradványai, közülük magok és növényi opalitok (fitolitok) kerültek elő. Bármilyen meglepőnek és ellentmondásosnak tűnik, az ebből a szintből kiemelt kagylók és csigák héjain végzett oxigén- és szénizotópos elemzések nyomán hideg, jégkori végi, de relatíve szárazabb (kisebbségi csapadék bevitelű) éghajlati szakasz kifejlődésére következtethetünk. Így a nedvességet kedvelő, illetve a vízi fajok megjelenése a szelvénynek ezen a szakaszán elsősorban a jelentős lehűlés nyomán kialakult páratartalom növekedésének és nem a csapadék-mennyiség emelkedésének köszönhető. Az izotóp-geokémiai elemzések nyomán a hideg, száraz éghajlati szakasz folytatódott 18 ezer évet követően is, de az üledék jellege megváltozott, és a barnamoha-láp



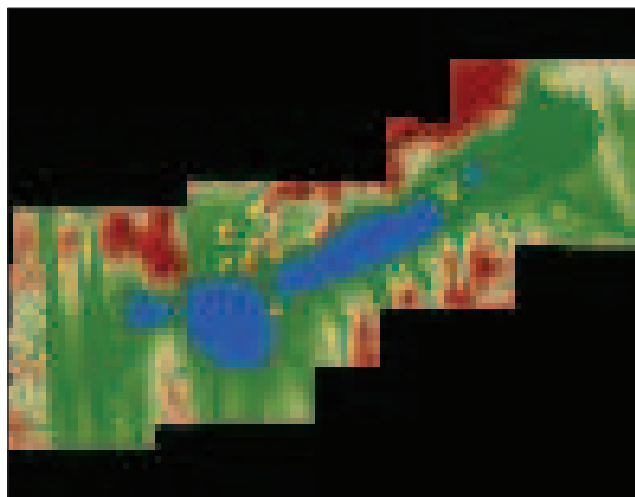
1. ábra. A balatonedericsi magfűrés helyzete a Balaton szabályozása előtt az 1782-ben készült első osztrák katonai térképen

Földtani Intézet geológusa, *László Gábor* ismerte fel 1911-ben, hogy a Balaton történeti és őstörténeti időkben jelentősebb kiterjedésű volt, mint a szabályozás előtt. A Balaton a legnagyobb kiterjedések során elérhette a 110 m tengerszint feletti magasságot is, amely a mai, szabályozott szinthez (104,3 mBf) képest több méterrel jelentősebb vízborítást mutat. Ezt követően *Lóczy Lajos*, a Földtani Intézet igazga-

lalmazódott 520 cm-es folyamatos kifejlődésű rétegsort. A szelvényen a balatoni és a magyarországi negyedidőszaki fűrésok közül egyedülálló módon, több mint 20 radiokarbon kormeghatározást, teljes üledékföldtani elemzést, geokémiai, szerves geokémiai, izotópgeokémiai, makrobotanikai, pollenanalitikai, növényi opalit (fitolit), valamint csiga- és kagylómaradványokra kiterjedő malakológiai vizsgálatokat vé-



2. ábra. Az edericisi részmedencében kialakult barnamoha-láp és lápos tó, valamint a hegyközi és a keszthelyi mélyedésekben kialakult tavak 16 ezer évvel ezelőtt



3. ábra. Az edericisi részmedencében kialakult tó, valamint a hegyközi, keszthelyi és füredi mélyedésekben kialakult tavak 13 ezer évvel ezelőtt

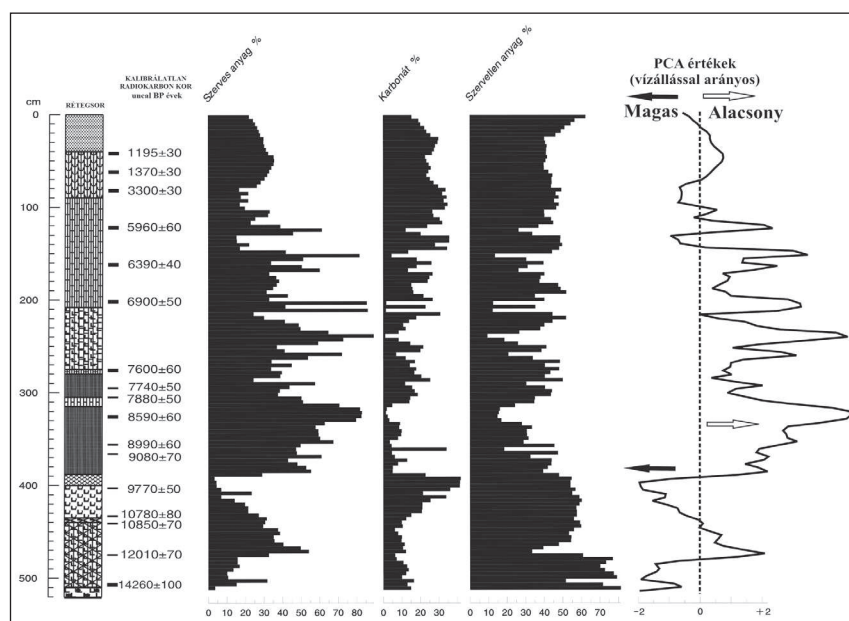
borítása nyomán tőzegréteg fejlődött ki. A barnamoha-láp tőzegéből nagymennyiségű tundralakó lápi mohafaj, valamint magcsákó, apró- és törpenyír, fenyőszövet, mohaspóra, fenyő-, nyír-, törpenyírfapollen, növényi opalit és kifejezetten hidegtűrő csiga-, és kagylófauna került elő. Ezek a leletek jelentős lehűlést, és lokálisan párák, hideg környezetet jeleznek ebben a szintben. A barnamoha-láp kifejlődését az utolsó jégkori végi hidegmaximum, az észak-atlanti fűrészek elemzése nyomán elnevezett Heinrich lehűlések egyes (H1) szintjével párhuzamosítottuk. Viszont önmagában ez a globális szinten különböző területeken (jégtakarók, tavak, lápok rétegsorában) kimutatott, 16,8 és 14,5 ezer nap-tári évek között kialakult markáns lehűlési szint nem lett volna elegendő a karbonátos és mezotróf szubarktikus környezetre jellemző barnamoha-láp kifejlődéséhez. Valószínűsíthető, hogy ezzel párhuzamosan bár lelassult a medence további mélyülése, és egy tál alakú mélyedés, hidegzug fejlődött ki a legősibb balatoni mederrészben. Ez a mélyedés ideális felszín lehetett a barnamoha-fajok megtelepedésének (2. ábra). A rendkívül jelentős mennyiségű fenyő- és nyírmaradvány (virágporszemek, szövetdarabok, magvak, szenült fadarabok) nyomán feltételezhető, hogy a barnamoha-lápnak legalább egy részét nyírral kevert fenyves boríthatta. Ugyanakkor a tavi káka, a gyékény, a sás, a békaszólló, a barna palka, a torzsika boglárka jelenléte alapján a lápon belül szezonális tavak is kialakulhattak, elsősorban nyáron, amikor a fagyott felszínek kiengedtek. A lápos tó kialakulását elősegítette, hogy 15 ezer évvel ezelőtt az éghajlat jelentős változáson ment keresztül, az izotóp-geokémiai és a geológiai adatok alapján egyértelmű-

en csapadékosabb klímafázis fejlődött ki a vizsgált területen.

Ez a csapadékosabb klímafázis a relatíve hidegebb hőmérsékleti viszonyok (júliusi középhőmérséklet 13–17 °C közötti lehetett) mellett a vízszint fokozatos emelkedéséhez vezetett. A vízmélység növekedését az erőteljesebb süllyedés is elősegíthette, és az éghajlati változások és talán a süllyedés nyomán a Balaton legősibb medencerészében egyre nagyobb vízborítás, lápos tavi állapot alakulhatott ki. Az első ilyen vízmélység-maximum a

makrobotanikai elemzések alapján 13,6 ezer évvel ezelőtt alakult ki, míg az üledékföldtani, geokémiai, malakológiai és pollenadatok ennél kicsit későbbre, 13 ezer évvel ezelőttre teszik a részmedence jelentős kimélyülését. Nagyon sokan úgy gondolhatják, hogy ekkor az egész Balaton medrében jelentős vízborítás alakulhatott ki, de úgy tűnik, hogy a jégkor végén a tó még négy kisebb részmedencéből állt, és közöttük idősebb geológiai rétegekből álló üledékes gátak húzódtak (3. ábra). Ugyanakkor nem könnyű az itt bemutatott fűrés-

4. ábra. A balatonedericsi fűrés rétegsora radiokarbon korokkal, a tavi vízborítással arányos karbonát-, szervesanyag-tartalom, valamint a lápi, tőzeges környezet indikátoraként felfogható szervesanyag-tartalom változásai nyomán rekonstruált, a vízállás-változásokkal arányos trendek (a balatonedericsi vízmérce)





szelvény oldalirányú összefüggéseinek, a Balaton vízborításának térbeli feltárása, mert ez ideig ilyen részletes vizsgálatokat más balatoni szelvényen nem végeztek, illetve a korábbi fúrásoknál hiányoztak a sorozatban végzett kronológiai elemzések. Ugyanakkor a vízmélységre vonatkozó adatoknál látható, hogy ezek nem a parti vízborítással arányosak, hanem az adott szelvényénél, az adott részmedencénél kimutatható vízmélységet jelzik. A jégkor és jelenkor (pleisztocén – holocén határán: 11,6 ezer naptári év – a fúráson belül megközelítőleg 400 cm-nél), illetve a jelenkor (holocén) kezdetén alakult ki a legjelentősebb vízmélység a balatonedericsi – öbölben és az üledék jellege (4. ábra), a rétegsorból előkerült növényi és állati maradványok összetétele fokozatosan megváltozott. Érdekes, hogy valamennyi geológiai, geokémiai, paleontológiai paraméter fokozatos változást mutatott, és nyoma sincs a sok szerző által drasztikus hidegszintként

kagylósrák- (*Ostracoda*), csiga- és kagylófauna, valamint jelentős mennyiségű csilárkamoszat töredéke került elő ebből az átmeneti és kora holocén szintből. A csigafaunában, hasonlóan a makrobotanikai anyagokhoz, a mezoooligotróf, karbonátban gazdag, legalább 2–3 méteres vízborítást kedvelő vízi fajok domináltak. A csigafaunában a jégkor végén domináns hidegtűrő, mint a ritka kerekcsájú csiga (5. ábra), és a holocén kezdetén elterjedő enyhébb éghajlatot kedvelő elemek ebben az átmeneti és kora holocén szintben még együtt jelentek. A tó valamennyi részmedencéjére, köztük a Kis-Balatonra is kiterjedő súlyyedés intenzívebbé válása nyomán ebben a fejlődési szakaszban alakult ki a Balaton egységes vízfelszíne is, megközelítőleg 11–10,5 ezer évek között. Az egységes vízborítás kialakulásában a holocén kezdetén felerősödő süllyedés, és az ekkor kialakult csapadékosabb éghajlati szakasz kifejlődése játszották a döntő szerepet.



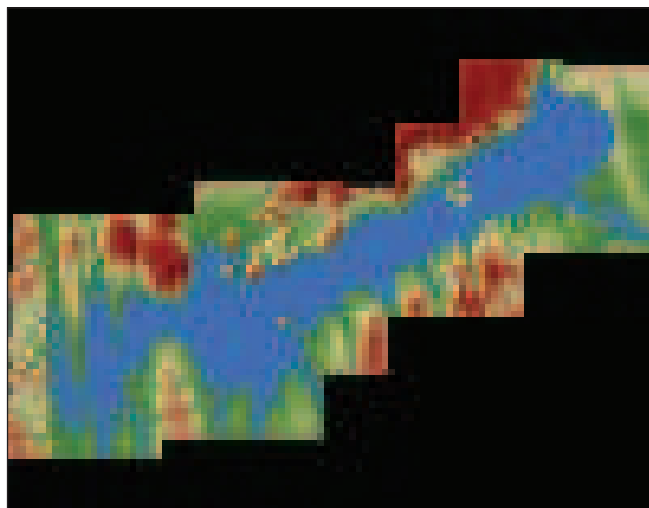
5. ábra. A jégkor végén és a holocén kezdetén lerakódott üledékrétegek egyik jellegzetes csigafaja a ritka kerekcsájú csiga (*Valvata pulchella*)

értékelt legutolsó jégkori lehülés, az ún. *Dryas III. szint* és a kora holocén felmelegedés közötti ugrásszerű változásnak. A jégkor és a jelenkor határán a barnamohaláp tözeges anyagának szervesanyag-tartalma fokozatosan csökkent, és előbb szürke, majd fehéresszürke színű tavi üledék, kalcitot, magnezitokalcitot is tartalmazó tavi mészszipa fejlődött ki a jégkor végén képződött barnamoha-láp rétegének felszínén. Ugyanezt a fokozatos átalakulást támasztják alá az izotóp-geokémiai, valamint pollenadatok is. Ez utóbbiak esetében már a jégkor végén jelenlévő melegkedvelő, mérsékeltvívi erdőelemek arányának fokozatos növekedése, majd uralomra jutása figyelhető meg, miközben a boreális erdőkre jellemző fenyő- és nyírdominancia fokozatosan csökkent 12 és 8,5 ezer év között. Ezekkel a változásokkal párhuzamosan igen gazdag

Az egységes, több részmedencét elborító vízfelszín, a mai értelemben vett Balaton megszületését követően, a balatonedericsi öblözet környezete és vízborítása átalakult. Ebben szerepet játszhatott a megnövekedett hőmérsékleten kialakult intenzívebb párolgás, a holocén kezdetén kialakult jelentősebb növényzeti borítás vízmegkötő szerepe, a vízparti növényzet kiterjedése, a háttér emelkedése és a medencerészek süllyedése következtében fokozatosan felerősödő erózió, valamint pont az a tényező, hogy a részmedencék közötti gátak elmosódtak és a víz valamennyi részmedencét elborította. Ezen változások nyomán a vízparti növényzet elborította a szelvény környékét, ugyanis nád- és gyékénymaradványokat tartalmazó tőzeg alakult ki, de a tőzegréteget kisebb-nagyobb vastagságú mészszipapos sávok tagolták.

Így alakult ki a jégkor végi és jelenkor kezdeti erőteljes éghajlati változások és a jelenkor kezdetének intenzívebb mozgásait követően a balatonedericsi öblözetben a holocén vízmérce állapot, az alacsonyabb vízállások során a tőzeganyag, és a magasabb során tavi mészszipa halmozódott fel 1–4 cm-es sávokat alkotva. A radiokarbonos vizsgálatok szerint a csapadékosabb és szárazabb éghajlati ciklusok hossza 130 és 420 év közöttiek voltak, de ebből a horizontból kiemelt, alig 30 évet átfogó részminták elemzése alapján egy finomabb, évtizedes ciklus is kirajzolódott az évszázadokat átfogó vízszintingadozások mellett. Az izotóp-geokémiai adatok alapján a jégkor végi szárazabb, majd a jégkor/jelenkor határán és a holocén első fázisában kialakult csapadékosabb éghajlati fázist 10 és 8,5 ezer évek közötti szárazabb szakasz váltotta fel, de ezt az 1500 éves szárazabb éghajlati periódust több 130 éves és 30–60 éves csapadékosabb klímacyklus szakította meg. A jelenkor (holocén) kezdetén, 10–8,5 ezer évek közötti szárazabb éghajlati szakaszokban a vízparti, sekély, felmelegedő, szervesanyagban gazdag vizeket kedvelő növény- és állatfajok, mint a gyékény, a nád, a gyűrűs stüllőhínár, a lapulevelű madárkeserűfű, és a kétéltű, valamint a borostyánkő csigák domináltak. Ezeknek a bioindikátor elemeknek az előretérése mellett megemelkedett ezen szinteknek a növényi opalit- (fitolit) tartalma is. Ugyanakkor a szárazabb szinteket megszakító csapadékosabb éghajlati fázisokban a tőzegréteget tavi mészszipaszintek szakították meg. A mészszipas szintekben a fitolitok, a vízparti környezetben élő növények és csigák mennyisége erőteljesen lecsökkent, ezzel párhuzamosan a mélyebb tavi környezetet jelző elemek, mint a csilárkamoszat, a fehér tündérrözsza és más hínármaradványok aránya megemelkedett. A pollenváltozások alapján a tavat ekkor már tölgyes erdők övezték.

A 8500 és 7800 évek közötti időszakra megfelelő fúrászelvényben sötétszürke tavi réteg húzódott. Ebből a szintből tuskéshínár, csilárkamoszat, tavi tündérrözsza, tavi káka, békaszőlőfélék és fillércsiga maradványainak tömege került elő. Ezek a bioindikátorok egy szerves anyagban gazdag, de jelentősebb vízmélységű tavi fázis kialakulását jelzik a fúrás környezetében. Ennek nyomán ebben az időszakban egy csapadékosabb éghajlati fázis kialakulását és erőteljes vízszintnövekedést rekonstruálhattunk. Ezeket a változásokat az izotóp-geokémiai elemzések is alátámasztották. Ezt a csapadékosabb és a tavi környezet kiterjedésével jellemezhető fázist egy hosszabb, relatíve szárazabb éghajlati fázis követte 7800 és 3500 évek között. Ennek nyomán az ederalsi öblözetben döntően nádból álló tőzegréteg fejlődött ki, de ezt a



6. ábra. A Balaton legjelentősebb természetes kiterjedése a bronzkor végén és a vaskor kezdetén

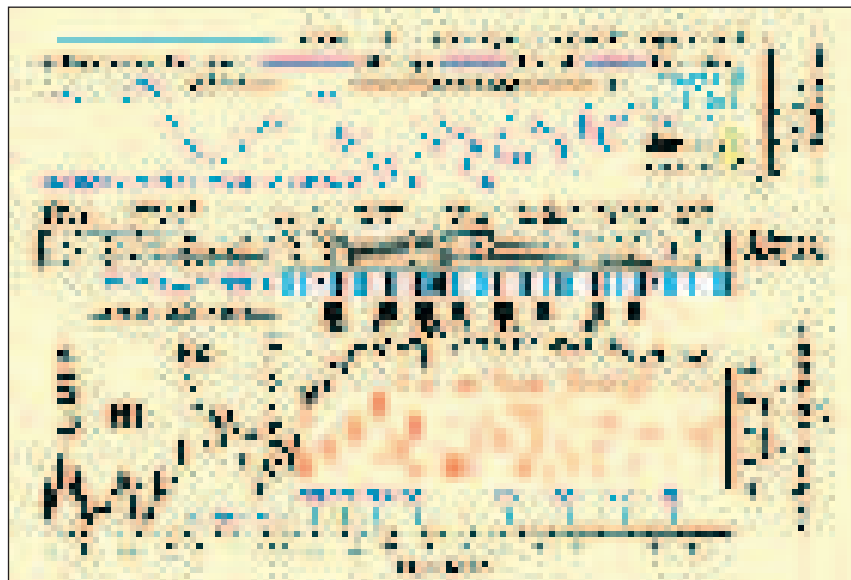
tőzegréteget több szinten is laminált, szürkés színű tavi üledék szakította meg, jelezve a rövidebb néhány száz évet, vagy csak néhány évtizedet átfogó csapadékosabb éghajlati fázisokban megemelkedő vízszintet és kiterjedő tavi környezetet. A tőzegrétegben a domináns nádmaradványok mellett elsősorban a nádasokhoz kötődő növények, mint a sédkender és a közönséges rence maradványai, valamint a szerves anyagban gazdag, lápi-mocsári környezetet jelzi a lapos kerek-szajú csiga és a borsókagylók héjainak tömege található. A pollenvizsgálatok alapján a tó környezetében ebben a fázisban már megtelepedtek a termelő kultúrák, és hullámszerű, de egyre erőteljesebb hatással voltak a tavi rendszer környezetére, a parti zóna feltöltődésére. A fapollenek arányának csökkenése, a gabona- és gyompollenek egyre erőteljesebb megjelenése alapján a termelő gazdálkodást folytató közösségek megtelepedése és fejlődése az erdőterületek csökkenésével, a növénytermesztési és állattenyésztési övezetek, utak, települések és ezzel együtt az erózió és a talajbemosódás ciklikus növekedésével jártak.

Adataink azt bizonyítják, hogy a neolitikum kezdetétől a középső bronzkor végéig tartó 4500–5000 éves időtartam viszonylag kiegyenlített, mezőgazdasági termelés számára kifejezetten kedvező éghajlati feltételekkel jellemezhető. Ekkor a Balaton vízszintje, a mai szabályozott szintnél mindenképpen magasabban, 106 méter tengerszint feletti magasság körül stabilizálódott. Ugyanakkor a rövidebb idejű, néhány évtizedet, maximum 130–260 évet átfogó csapadékosabb éghajlati szakaszokban 1–2 méteres vízszintnövekedések is kialakulhattak, és ezek a magasabb vízállással jellemezhető csapadékos klímaszakaszok igen nehéz helyzetbe hozhatták közvetlenül az őskori Balaton part-

ján lakó termelő közösségeket. Valószínűsíthető, hogy a Balaton déli partján, az autópálya építkezéseket megelőző, nagyfelületű régészeti ásatásokon megfigyelt vízvezető árok, településeknél megfigyelhető magasabb szintre költözések ezekkel az éghajlati változásokkal mutatnak összefüggést.

Ez a középső holocénre jellemző, relatíve kiegyenlített éghajlati kép mintegy 3500 évvel ezelőtt megszakadt, és barnásszűke színű, meszes tavi üledékréteg fejlődött ki a balatonedericsi fúrásszelvényben. Ebből a rétegből a nyíltvízi életformák, elsősorban kagylósrakok, lemez- és fillérsigák héjai, valamint jelentős számú csilárkamoszat meszes töredékei kerültek

karbon-adatok alapján ez az igen erőteljes vízszintemelkedés 3500 és 2500 évek között játszódott le. Úgy tűnik, hogy ekkor fejlődött ki a Balaton egységes vízfelületének kialakulásának kezdetétől, 11 ezer évtől számítva az egyik legjelentősebb vízszintemelkedés. Feltételezhető, hogy ekkor alakult ki a Balaton legjelentősebb vízfelülete is. Ezek az adatok jó egyezést mutatnak az általunk a Balaton déli partján, egy régészeti ásatáson megfigyelt, bronzkor végére és a vaskor kezdetére tehető árokrendszert 109 méteres tengerszint feletti magasságig kitöltő tavi üledék kifejlődésével. Ez lehetett a Balaton rendszerének természetes úton kialakult legjelentősebb kiterjedése, amikor a vízszint elérhette a 110 méter tengerszint feletti magasságot is (6. ábra). Ezt a rendkívül csapadékos és hűvösebb éghajlati szakaszt egy relatíve szárazabb éghajlati szakasz követte 2500 és 1800 között, és ennek nyomán ismét a nádasok és a nádasokhoz kapcsolódó élővilág terjedt el, és a nádtőzeg képződése vált dominánssá a balatonedericsi öblötben. Ennek a tőzegrétegnek a felszínközeli része a Balaton szabályozása nyomán talajosodott. Így a császárkornál fiatalabb szinteket bár megvizs-



7. ábra. A Balaton rekonstruált vízszintváltozásai az edericsei fúrásszelvény alapján, az észak-atlanti, grönlandi és nyugat-európai paleoklimatológiai adatokkal összehasonlítva az elmúlt 18 ezer évben

elő, és a nád maradványai teljes mértékben kiszorultak az üledékből. Ez utóbbi azért is érdekes, mert a nád két méternél mélyebb vízben már nem képez állományokat. Valamennyi indikátorelem, környezeti paraméter a vízszint erőteljes, legalább két méteres emelkedését, és az éghajlat hűvösebbé válását jelzi. A radio-

gáltuk, de a vízszint-változásokra vonatkozóan már nem értelmeztük.

Összefoglalva az öskörnyezeti vizsgálatok eredményeit elmondhatjuk, hogy az eddigi legteljesebb, a Balaton szinte teljes múltját feltáró fúrásszelvényt sikerült kialakítanunk a balatonedericsi öblötben. Az elmúlt 20 ezer év éghajlati és környe-

zeti változásait megőrző szelvény elemzése és a nemzetközi vizsgálatokkal történő összehasonlítása azt mutatta, hogy a Balaton, egészen pontosan az edericsei részmedencében kialakult tavacska átmeneti helyzetben volt a Balkán-félsziget és Északnyugat-Európából leírt vízszintváltozások között. Ugyanis a jégkor végén még a Balkán-félsziget tavaira jellemző vízszintváltozásokat mutatta, vagyis a lehűlések során magasabb, az interstadiálisok során alacsonyabb vízszintek alakultak ki, az észak- és nyugat-európai tavakra jellemző jégkori alacsony vízszinttel szemben. A holocén kezdetén az edericsei részmedence és a többi mélyedésben kialakult tavacska egységes vízborítás alá kerültek, és kialakult a természetes Balaton egységes vízfelülete. Innentől kezdve lehetséges a tó vízszintváltozásainak szélesebb nemzetközi eredményekkel történő összevetése is (7. ábra). A trendek nyomán látható, hogy a tó vízszintjének alakulása a kora holocéntól kezdődően megközelítőleg jól, bár késleltetve követi a nyugat-európai, az északatlanti és az alpi térségben kimutatott éghajlati változásokat (7. ábra). Ugyanakkor a Balaton természetes hidrológiai rendszerének átalakulásai nem automatikusan követik ezeket a változásokat. Ugyanis a Balaton vízgyűjtő területén az atlantikus éghajlati hatás mellett jelentős szubmediterrán és kontinentális hatások is jelentkeztek, és ezeknek az éghajlati effektusok nyomán rendkívül kiszámíthatatlan mintázatú csapadékeloszlás és vízszintváltozás alakult ki. Ezt bizonyították az izotóp-geo-kémiai vizsgálatok is, amelyek nyomán kilenc csapadékosabb és hét szárazabb időszakot lehetett elkülöníteni az elmúlt 20 ezer év során. Így a Balaton jelenlegi és jövőbeli életében is a folyamatos, szeszélyes éghajlati és vízbevételei változásokra, azaz mind a víz tárolására, mind a vízszint aktív szabályozására kell felkészülnünk, ha azt akarjuk, hogy ezt a 20 ezer éve fejlődésnek indult csodálatos tavat még az unokáink, majd azok unokái is láthassák. 🌳

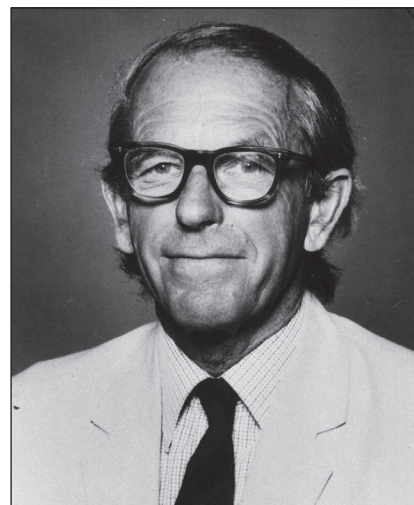
Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Bodor Elvirának, Hetényi Magdolnának, Gulyás Sándornak, Jakab Gusztávnak, Juhász Imolának, Majkut Péternek, Persaits Gergőnek, Sümegi Baláznak és Töröcsik Tündének a fűrés kialakítása, feldolgozása és dokumentálása során nyújtott segítségért. Az izotópgeokémiai vizsgálatokat a K-68343 sz. OTKA-pályázat, a környezettörténeti vizsgálatokat az T-034392 sz. OTKA-pályázat tette lehetővé.

Elhunyt a nagy szekvenátor: Frederick Sanger

2013. november 19-én, 95 éves korában elhunyt a tudománytörténet egyetlen kétszeres kémiai Nobel-díjasa, a brit Frederick, vagy, ahogy mindenki nevezte: Fred Sanger. A hangsúly a kétszeres kémiai Nobel-díjon van, mert Nobel-díjat kétszer mások is kaptak: Marie Curie, Linus Pauling és John Bardeen, de az előbbieket csak egy kémiai, a másik fizikai, illetve béke Nobel-díj volt. A negyedik duplázó Bardeemnek mindkét díja fizikusi. Sanger kémiai díjazása ellenére – korszakalkotó munkássága révén – elsősorban a biológia számára bizonyult fontosnak, hiszen ő dolgozta ki az élővilág legfontosabb molekulatípusai, mindhárom *információs makromolekula* (1. a keretes anyagot) szerkezetének megállapítására szolgáló legjobb módszereket.

A fiatal vegyész a múlt század negyvenes éveiben a Cambridge-i Egyetemen egyedül fogott neki egy akkor szinte reménytelennek tűnő feladat megoldásának. Azt a célt tűzte ki, hogy elsőként meghatározza egy fehérje, az inzulin teljes aminosav-sorrendjét. Ez nemcsak azért volt hallatlanul merész vállalkozás, mert tökéletesen hiányoztak a megfelelő módszerek, hanem azért is, mert akkoriban még abban sem volt biztos a tudományos közvélemény, hogy a különböző fehérjéknek van-e egyáltalán jól definiált egyedi szerkezete. Sanger – későbbi vallomása szerint – ezt szilárdan hitte, különben hozzá sem kezdett volna a munkához. Az inzulint azért választotta, mert aránylag kis méretű fehérje és kereskedelmileg kapható volt, tehát a kiindulási anyag összegyűjtésével nem kellett fáradnia. A kutatást sok éven át egyedül végezte, csak később csatlakozott hozzá az osztrák *Hans Tuppy*, akivel 1951-ben, majd 1953-ban közölték az inzulint alkotó két fehérjelánc teljes aminosav-sorrendjét és a két láncot összekapcsoló diszulfidhidak helyzetét. Ezt az eredményt jutalmazta az 1958-ban kapott első Nobel-díj. Ezután évtizedekig minden újabb (egyre nagyobb) fehérjemolekula szerkezetmeghatározása a Sanger által kijelölt úton haladt, noha ez nem jelentett univerzális receptet, csak bizonyos alapelvek és bizonyos metodikák különböző kombinációkban történő alkalmazását, és még sokáig fáradtságos, idő-, munkaerő- és invencióigényes feladat maradt. Az elem-



(1918–2013)

zés átlagos sebessége Sanger kezében 10–20 aminosav/kutató/év volt, de még 1968-ban is csak a 80 aminosav/kutató/évet érte el.

Sanger azonban az első Nobel-díj után elhagyta a fehérjekutatást, és a nukleinsavak szerkezetének meghatározásával kezdett foglalkozni. 1965-ben közölt egy új univerzális módszert az RNS nukleotidsorrendjének megfejtésére, amellyel 1967-ben meghatározták egy 120 nukleotid hosszúságú molekula, az úgynevezett 5 S RNS teljes szekvenciáját. Noha akkor (sőt mindmáig) ez volt a legjobb RNS-szekvencia meghatározási módszer, ezért nem járt Nobel-díj és nem is vált általánosan elterjedté, két okból. Egyrészt, mert nem ez volt az első RNS, amelynek szekvenciáját meghatározták, ez a dicsőség Robert Holley-t illette, aki 1965-ben közölte egy transzfer-RNS-molekula szerkezetét, és ezért 1968-ban a genetikai kód megfejtőivel, Nirenberggel és Khoranaval együtt részesült a díjban. Holley és Sanger eltérő utakon jártak, a korabeli szakmai zsargon szerint Holley „oszlopos”, Sanger „papíros” ember volt, vagyis az előbbi döntően oszlopkromatográfias, az utóbbi pedig papírkromatográfias és papírelektroforézis módszereket használt az elemzésnél. A másik ok az volt, hogy Sanger (Holley-énál jóval egyetemesebb érvényességű, és sokkal kisebb anyagigényű) módszerének sikeres alkalmazása igen nagy ügyességet és/vagy