

CSERKÉSZ-NAGY ÁGNES

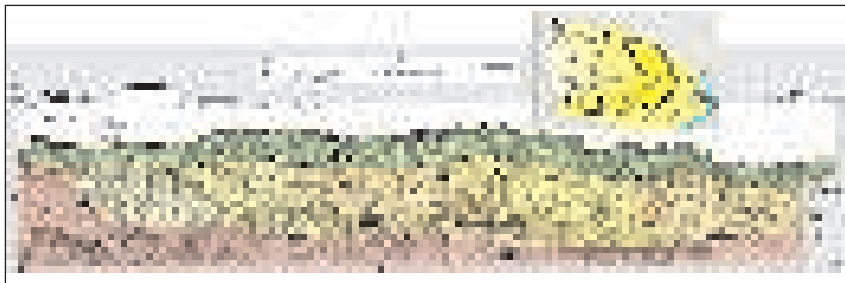
Pleisztocén folyóvízi üledékek a Tisza alatt

Hazánk területének több mint 90%-át földtörténeti szempontból fiatal, alig 1–2 millió éves üledékek fedik, ennek ellenére ritkán kerülnek a figyelem középpontjába. A domb- és hegyoldalokban feltárva gyakrabban találkozunk a szél fújta lösz- és paleotalaj-sorozatokkal, amik az elmúlt jégkorszakok klímaingadozásainak látványos tanúbizonyságai. Az öskörményzeti és klímarekonstrukció szempontjából azonban hasonlóan fontos és sokoldalú bizonyítékokat szolgáltatnak a medencékben több száz méter vastagságban felhalmozódott folyóvízi üledékek is. Betemetett voltukból adódóan vizsgálatuk – a

vízben a rugalmas hullámok minimális energiavesztéssel terjednek, ellentétben a szárazföldi felszíni rétegekkel, ahol a laza rétegek gáztartalma a magasabb frekvenciájú hullámokat néhány méteren belül elnyeli. A vízi mérések nagy előnye tehát, hogy már a közvetlen mederfenék alatti üledékekről is részletes képet kapunk. A módszer szinte egyetlen hátránya a többszörösök megjelenése. Vízfelszíni többszörösök a réteghatárokról visszaverődött hullámok víz/levegő határról történő újbóli reflektálódásával állnak elő. Ez akár többször is megtörténik, így 2-szeres, 3-szoros stb. beérkezési időkből is reflexiót hoznak létre, s gyak-

Az Alföld harmadik vízrajzi tengelye

A szeizmikus szelvényezés egy ősi meanderező folyó nyomait tárta fel a felszín alatt. E folyótípus jellegzetessége a sinusgömbéhez hasonló alak, amit az egymást követő ellentétes irányú kanyaroknak köszönhet (2. ábra). A kanyarokban fellépő centrifugális erő hatására alakul ki a víztömeg spirálisan csavarodó mozgása, illetve a sodorvonal egyik parttól a másikig való kanyargása. Ezek eredményeként a folyó keresztmetszete és áramlási sebességtere aszimmetrikus lesz. A kanyarulat külső oldalán a nagy sebesség hatására erózió következik be, a homorú part túlmélyített mederréze az ún. üst vagy kottyanó. Az itt bemosott üledékanyagot a víz tovaszállítja, és a további kanyarok kisebb sebességgel jellemzett belső oldalán rakja le, a folyásirányra merőlegesen épülő övzátóny-rétegsort hozva létre. Ez a két folyamat határozza meg a meder oldalirányú vándorlását és az övzátóny gyarodását. A kanyarok elmozdulása történhet eltolódással, a kanyargósság, illetve a hullámhossz növekedésével és a meander tengelyének elfordulásával, de a természetben ezek számos kombinációja is előfordul. A meanderező folyó medre tehát természetes vándorlása során több km-t is elmozdul, melynek nyomán kiterjedt övzátóny-sorozatokat hagy hátra. Az így kialakuló övzátóny-komplexumokat képezik le a tiszai szeizmikus szelvényezés több száz, illetve ezer méter hosszú ferde reflexiósorozatai (1. ábra). A deciméteres felbontási határon lévő refle-



1. ábra. A vízi szeizmikus mérés elvi vázlatja és a több km hosszú oldalirányban gyarapodó övzátóny-komplexum szeizmikus képe és értelmezése a marfíui kanyarban

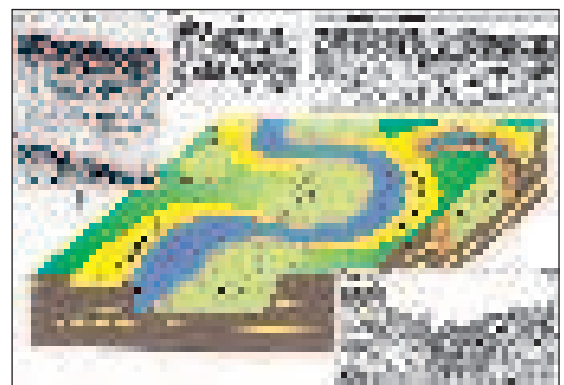
hagyományosnak tekinthető fúrásos feltáráson túl – speciális geofizikai módszerek segítségével lehetséges, mint például a nagyfelbontású szeizmikus szelvényezés.

Ultranagy felbontású vízi szeizmikus mérés

Hazánkban az 1990-es évek eleje óta folynak az ELTE közreműködésével vízi, nagy- és ultranagy felbontású reflexió-szeizmikus mérések. A módszer során a felszínen gerjesztett, majd a felszín alatti réteghatárokról visszaverődött rugalmas hullámok visszaérkezését vizsgáljuk. A visszavert hullám amplitúdója arányos a felületet jellemző akusztikus impedancia-kontrasttal (a közeg sűrűségének és a rugalmas hullámok közegbeli terjedési sebességének szorzatával), így a visszavert energia mérésével következtethetünk a reflektáló felület mibenlétére és mélységére (1. ábra). A behatolási mélység a gerjesztés frekvenciájának csökkentésével és energiájának növelésével nő, viszont a felbontás csökken és fordítva: a felbontás növelhető a frekvencia növelésével. A vízi mérések esetében mind a gerjesztés, mind pedig az észlelés víz alatt történik. A

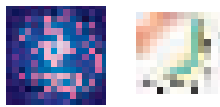
ran elnyomják a mélyebben levő, így gyengébb valódi reflexiókat. Ultranagy felbontású vízi mérések behatolásának így gyakran a víz mélysége szab határt.

A folyóvízi környezetben újszerűen alkalmazott módszer kb. 200 km-nyi egycatornás folyamatos szeizmikus szelvényt eredményezett a Közép-Tiszán. Ezek rendszerező feldolgozását követően Szolnoktól délre a látványos üledékes szerkezetek 4 szakaszon részletesen – kétdimenziós szelvényháló mentén – kvázi 3D-ben is feltérképezésre kerültek. Az IKB-SEISTECTM rendszerrel végzett egycatornás felvételezés során használt szeizmikus forrás hasznos-frekvenciája az 1–10 kHz tartományba esett, ami 0,2 m–0,5 m felbontást eredményezett. A szelvények így a felszíni feltárások léptékével közvetlenül összehasonlítható felbontású képet nyújtanak a mederfenék alatti 7–15 m mélységben található szerkezetekről.



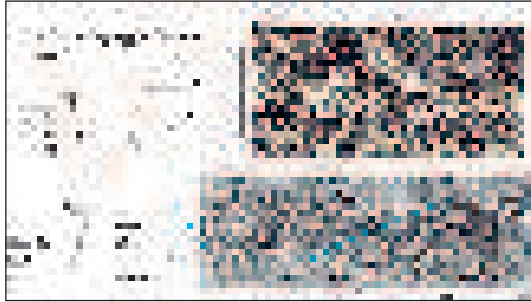
2. ábra. Meanderező folyó fáciás modellje és a szeizmikusan feltárt folyóvízi szerkezetek a Tisza alatt

xiók jelzik a szezonális áradásokkor kialakult egyes övzátóny felszíneket. Az övzátóny üledéke ideális esetben felfelé finomodó sorozatot alkot, ami az agyag-kavicsos mederpáncéltól a keresztirányú homokon és aleuritron át az



árvizek alkalmával ülepedő agyagos rétegekig terjed. Ezt az anyagváltást képezi le a szeizmikus mérés a ferde reflexiók formájában.

Árvízkor a folyó kilép árterére, további karakterisztikus üledékszerkezeteket hátrahagyva. A medret két oldalról a természetes gát kíséri, mely a medréről kilépő, hirtelen sebességsökkenést szenvedő víztömegből kiülepedő homok-aleurit épít fel. A medertől távolodva a kiüleptett anyag szemcsemérete és mennyisége fokozatosan csökken. Áradá-



3. ábra. A folyóvízi szerkezetek kvantitatív elemzésének elve. Az ősi folyó méreteit tekintve a modern Tiszához hasonló

sok alkalmával a folyó általában finom péltés üledéket terít az árterén, így az árter vertikálisan gyarapodik. Gátszakadások alkalmával juthat az árterre nagyobb mennyiségű homok szemcseméretű üledék, ezek az árvízi hordalékkelebek (2. ábra). Ha egy kanyar „túlfejlődik”, a folyó lerövidíti útját. Az átereszképzés során a folyó árvízkor az árterre vagy az övzatonra kilépve egy egyszerűbb, gyorsabb utat talál egy sekélyebb, frissen mélyített mederben. A lefűződés másik módja a lenyakázás. Ilyenkor a meander nyakát alkotó két ág annyira megközelíti egymást, hogy árvízkor a folyó átszakítja. Lenyakázás esetében azonnal és véglegesen elhagyja eredeti medrét, a volt meander mindkét nyílását egy kúszószerű képződmény, a malágy zárja el. Mögötte alakul ki a morotva.

A folyó méretét és vízhozamát a hátrahagyott alluviális szerkezetek méretei jól jellemzik. A felhagyott morotvák feltöltései mind alakjukban, mind méretükben a modern Tiszához hasonlóak (3. ábra). Ennél pontosabb eredményt ad azonban a hosszú övzaton-sorozatok dőlt felületeinek kvantitatív elemzése. Számos empirikus egyenletre támaszkodva az övzaton-felszín hosszából a meder szélessége kalkulálható: az övzaton nagyjából a meder szélességének kétharmad részéig terjed. A sorozat vastagsága a meder mélységét adja meg, a meder keresztmetszetéből pedig a mederformáló vízhozam is számítható a sebesség ismeretében. Ez utóbbi megbecsülhető az ősi vízfolyás által hátrahagyott üledék szemcseméretéből. A kvantitatív elemzés szerint az ősi folyó jellemző szélessége és mélysége, 350–520 m és 6–7 m között változott, míg

átlagos mederformáló vízhozama 700–1000 m³/s között alakulhatott.

A szeizmikus értelmezést megerősíti az üledékes szerkezetek fűrésos vizsgálata is. A Szolnoknál rekonstruált komplex övzaton-sorozatot harántoló magfűrés felfelé finomodó homokos-agyagos rétegsort tárt fel a dőlt reflexiók szintjében. A homokos üledékanyag OSL (Optikailag Stimulált Lumineszcencia) vizsgálata pedig az üledékanyag betemetődési korát késő-pleisztocénnek (46–47±4,6 ezer év) határozta meg. A különböző vizsgálati eredményeket összegezve megállapítható, hogy a Közép-Tisza vidékén a késő-pleisztocén közepén egy nagy – a mai Tiszához hasonló méretű – meanderező folyó kanyargott. Ez az eredmény önmagában nem meglepő, hiszen ma is hasonlóak a terület hidrológiai–hidrográfiai viszonyai. Azonban az Alföld ösvizrajzát tekintve egybehangozóak a bizonyítékok arról, hogy a Tisza őse a pleisztocén során a Berettyó–Érmellék–Körösök vonalon futott le, a mai völgyét csak egészen későn, a holocén-

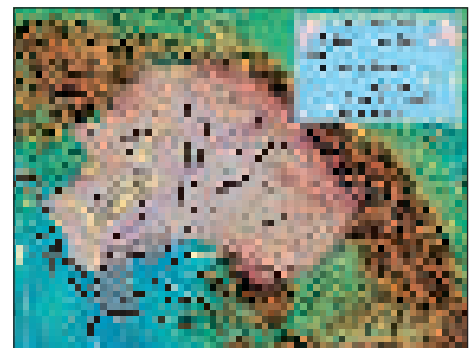
hez közeledve foglalta el.

E nagy átváltás módját és idejét tekintve már több elképzelés napvilágot látott, azonban a legutóbbi vizsgálatok kb. 13–14 ezer évvel ezelőttre teszik [1]. A kérdéskört az is bonyolította, hogy a Közép-Tisza vidékén a felszínen is található nagyméretű medemnyomok, amelyek jelentős folyóvízi tevékenységre utalnak a pleisztocén során. Ezek keletkezését tekintve mégiscsak kézenfekvőnek tűnt az ős-tisza eredet, így születtek meg az Ős-Tisza korábbi áthelyeződésére, illetve bifurkációjára (két nyomvonal váltakozó használata) vonatkozó elképzelések. A probléma merőben más megközelítése az a ma elfogadott modell, mely a medence időszakos háromtengelyű vízrajzi képét vázolta fel [2]. Eszerint a Duna és a Tisza őse mellett – mely utóbbi ekkor az Érmelléken kanyargott – a pleisztocén legvégén létezett egy harmadik főfolyó a Tokaj-Szolnok vonalon (4. ábra), amit feltételezett lehordási területe alapján Ős-Bodrognak neveztek el. A szeizmikusan feltárt ősi meanderező folyó bizonyítja a harmadik főfolyó létét, a hátrahagyott üledékes szerkezetek méretei pedig tanúsítják, hogy méltán nevezhetjük a késő-pleisztocén kori Alföld harmadik vízrajzi tengelyének. A Közép-Tisza vidékének kutatásával egyre bővülő információk sora afelé mutat, hogy a három főfolyó együttes jelenléte nem is oly ritka és rövidéletű jelenség, ezzel szemben a ma fennálló kéttengelyű hidrográfia a modern tiszai fővonallal és a Körös-medence majdnem teljes felhagyásával viszonylag fiatal és példa nélküli helyzet.

Negyedidőszak és klíma

A vízrajzi és ökoszisztémái rekonstrukción túl az alluviális szerkezetek kvantitatív elemzése a folyó vízhozam-ingadozásán át nagyfelbontású klímaproxi adatot szolgáltat a késő-pleisztocén egy szeletéről, a pleniglaciális közepéről (MIS3). A közelmúlt klímaingadozásainak és ezek felszínformáló hatásainak elemzése kulcsszerepet játszik a lehetséges jövőbeli klímaváltozások előjelzésében.

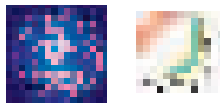
A pleisztocén fogalma a köztudatban gyakorlatilag összefonódott a jégkorszakkal, a gyakori és drasztikus klímaingadozások korával. Ezt jól mutatja a MIS (Marine Isotope Stages) klímatisztrigráfiai görbe is, ami szerint 52 hideg és ugyanennyi meleg periódust definiáltak a negyedidőszak 2,6 millió éve során [3]. Az utolsó szűk 1 millió évben 8 kontinentális méretű eljegesedést azonosítottak. A kb. 100 ezer éves ciklusú nagy klímakilengések legelfogadottabb magyarázata továbbra is a Milankovič-elmélet. Az utolsó glaciális (würm) során két hideg (MIS4 és 2), illetve köztük egy enyhébb periódust (MIS3) különböztetnek meg, azonban a nagyfelbontású klímaproxi ennél jóval több összesen 25 nagy amplitúdójú, gyors, mindössze néhány száz vagy ezer év alatt lezajló klíma oszcillációt, ún. Dansgaard-Oeschger- (DO-) ciklust jeleznek. Ezek más néven a szub-Milankovič ciklusok, vagy ezeréves klímaoszcillációk. Általában meleg és csapadékos klíma jellemzi az interstadiálisokat (GI), és hideg száraz a



4. ábra. Az Alföld vízrajzának változásai a késő-pleisztocénben

stadiálisokat (GS). Mivel a DO-ciklusok jól felismerhető, globálisan is azonosítható nyomot hagynak a geológiai rekordban, manapság a korreláció leggyakrabban használt eszközként váltak az esemény sztrigráfiaiában, melyekhez a legpontosabb kronológiát a GICC05 [4] adja (5. ábra).

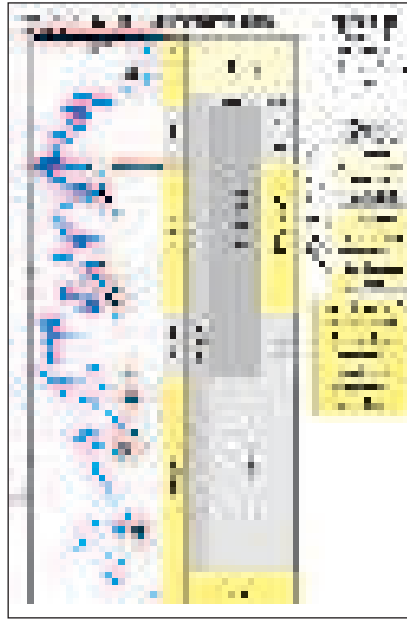
A MIS3 során világszerte és hazánkban is a közrefogó időszakoknál melegebb és csapadékosabb klímát feltételeznek, az utolsó interglaciálishoz (Eem) hasonlóan meleg nyarakkal. Az utolsó glaciális maximumhoz képest a jégtakaró mindössze a felére húzódnak vissza. Északnyugat-Európában a



pollen adatok alapján a füves-bokros tundra vegetáció volt jellemző, amit kelet felé haladva az erdős tundra váltott fel. Nyugat-közép-Európát és az Alpok régióját a nyílt tajga jellemezte, míg az é. sz. 45°-tól délre mérsékeltövi lombhullató erdőt valószínűsítettek. A Kárpát-medence elhelyezkedéséből adódóan éghajlatát tekintve átmenetet képezett (ahogy ma is: három különböző nagy éghajlati zóna átmenetében fekszik), így növényzete is sokszínű; egymás mellett mozaikszerűen kialakulhattak arid sztyeppe és humid erdős foltok a jellemzően nyílt tajga növényzetben. A molluszkafauna alapján számított júliusi középhőmérséklet 20,5–21,5°C fok közt alakult hazánkban.

A nagy vízhozamú Ős-Bodrog és a feltételezhetően hasonló vízhozamú Ős-Tisza együttes megjelenése, illetve osztozása a modern Tisza vízgyűjtő területén a klíma humid (nedves) voltára enged következtetni a MIS3 során. Ez azonban nem általánosítható az egész medencére, csak az Ős-Bodrog vízgyűjtőjére, ami a nehézsúlyú-vizsgálatok alapján az Északi-középhegységre és az Északkeleti-Kárpátok egy részére terjedt ki. Egyéb hazai és határainkon túli klímaproximi adatok is azt mutatják, hogy a csapadék megoszlásában nagy térbeli különbségek mutatkoznak a medencén belül. Kontinentális szinten is észlelhető azonban az a jelenség, hogy Európa északabbi részei több csapadékot kaptak, mint a déliek. A két zóna közti választóvonal a hazai löszfeltárások bizonyítékai szerint a medencében húzódik. A jelen övzátóny-elemzés során észlelt magas vízhozam 43–47 ezer évvel ezelőtti szintén megerősíti azt a képet, hogy a medence északkeleti része több csapadékot kapott, melyből a mainál alacsonyabb erdősültség és evapotranspiráció miatt a lefolyás aránya is magasabb lehetett.

A néhány ezer évet leképező egyes övzátóny-komplexumok azonban a kisléptékű vízhozam-ingadozásokat is felfedik a stabilan meanderező folyóvízi környezetben. Az első ránézésre monoton, egy irányba dőlő reflexiók sorát másod- és harmadrendű eróziós és rálapoló felületek sora szakítja meg (1. ábra), melyek geometriájukban és dőlésükben is eltérnek az megelőzőektől és a soron következőktől, vagyis az övzátóny formája és mérete változik. A tapasztalt változékonyság térbeli és időbeli tényezőkből adódik. Az övzátóny kiterjedése a kanyarulat tengelyében a legnagyobb, a gázlókhöz közeledve fokozatosan csökken: a kanyarok természetes vándorlása tehát a szelvény mentén a felületek méretének változásában fejeződik ki. Mindemellett a meder (és az övzátóny) mérete a folyó vízhozam változására válaszolva a klíma ingadozására is érzékenyen reagál. A dőlésszög váltakozások és a geometriai változékonyság térbeli feltárása a kvázi-3D-s szelvényezés során lehetővé tette az övzátóny-komplexumok természetes helyváltoztatásának,



5. ábra. A késő-pleisztocén geokronológiája és klimatosztratiográfiája az új hazai eredményekkel

és az egyes épületes egységek fejlődésének rekonstruálását. Ennek eredményeként az övzátóny-felületek méreteiből kalkulált vízhozam-görbéről a helyváltoztatásból adódó trendek lefejthetőek lettek, az így kapott görbe a vízhozam időbeli ingadozását mutatja. A martfüi komplexum kb. 2300 évet felölelő vízhozam-görbéje egy hosszabb (kb. 1300 éves), növekvő vízhozamú és egy rövidebb, csökkenő vízhozamú szakaszt rajzol ki, ami együtt az ezeréves klímaciklusokkal összevethető periodicitást jelez. A szub-Milankovič ciklusokat tekintve a MIS3 időszak bizonyult a legváltozatosabbnak, 40–50 ezer év között öt, meleg és nedves klímával jellemzett interstadiális írtak le (GI 9–13). A martfüi sorozatban feltárt csapadékmaximum megfeleltethető ezek valamelyikével – esetleg a GI12-vel (46,860 ± 956 év), ami a leghosszabb interstadiális (~2600 év) a MIS3 időszakon belül, és egyben a legmagasabb hőmérséklettel jellemzett. A nagyléptékű vízhozam-görbére kisebb periodicitású görbék szuperponálódnak: kb. 500 éves ciklusokat jelölnek az épületes egységek – melyek határai az extrém árvizekhez kapcsolhatók –, míg ezen belül is elkülöníthetők kb. 150–200 éves visszatérési idejű nagy vízhozamok. Az ezeréves nagyságrendű klimatikus eredetű vízhozam ingadozásokra a meanderező folyó elsődlegesen a mederaljzat bevágódásával és feltöltődésével reagált. A bevágódások lépcsőszerűen történtek, amikor az extrém vízhozamok egyben a meander épülési irányát is megváltoztatták. A fokozatos mederfenék-emelkedés lassú és tartós vízhozam-csökkenést jelez. Alluviális üledéken a MIS3 ezeréves nagyságrendű klímaoscillációit

eddig még nem írták le, a tiszai szeizmikus szelvények azonban most egyértelmű bizonyítékot szolgáltatnak erre.

A Tisza mentén mélyített fúrásokban is feltárt ősi övzátónyok a szeizmikus szelvények alapján korrelálhatók, és a köztük leírt szeizmikus egységek geokronológiai keretbe foglalva a térség komplex folyóvízi fejlődésére is kitekintést engednek (5. ábra). Az alluviális egységek egymásra következése Martfü és Szolnok között általános vonásaiban beilleszthető a glaciális–interglaciális/stadiális–interstadiális időszakokra felállított klímamodellbe, és a geokronológiai keret hibahatárain belül a medencében egyéb adatok alapján feltételezett klímaromlást is tükrözi. A MIS3 nyhe és csapadékos időszakának első felében egy nagyméretű, nagy vízhozamú folyó vágódott be az ártéri üledékekbe, ami aztán több ezer éven át stabilan meanderezve alakította az Alföld felszínét. A kisléptékű klímaingadozásokat azonban tükrözi a folyó vízhozamának ingadozása. A rákövetkező, egymásra települő, csökkenő vízhozamú, de továbbra is meanderező jellegű egységek az időjárás szárazabbá válását jelölik az idő előrehaladtával. A bevágódó, majd gyorsan feltöltődő medernyomok a klíma hirtelen hidegebbé fordulását, majd az erre következő meanderező fázis az ismételt javulását jelzi. A MIS2 elején a folyóvízi mintázat fonatba való átváltása az éghajlat végleg hidegbe fordulását jelezheti. Az újonnan feltárt folyóvízi szerkezetek szeizmikus értelmezése tükrözi tehát a globálisan is észlelt változékonyságát az időszaknak, jól kiegészítve a hazai lösz rétegorokban észlelt megfigyeléseket.

Irodalom

- 1 Nádor, A., Sinha, R., Magyari, Á., Tandon, S.K., Medzihradský, Zs., Babinszki, E., Thomó-Bozsó, E., Unger, Z., Singh, A., 2011. Late Quaternary (Weichselian) alluvial history and neotectonic control on fluvial landscape development in the southern Körös plain, Hungary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 299, 1–14.
- 2 Gábris, Gy., 2002. A Tisza helyváltozásai. In: Mérszáros, R., Schweitzer, F., Tóth, J. (szerk.), *Jakucs László, a tudós, az ismeretterjesztő és a művész. MTA FKI – PTE SzE kiadása, Pécs, pp. 91–105.*
- 3 Cohen, K.M., Gibbard, P., 2011. *Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy), Cambridge, England.*
- 4 Svensson, A., Andersen, K.K., Bigler, M., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Davies, S.M., Johnsen, S.J., Muscheler, R., Parrenin, F., Rasmussen, S.O., Rothlisberger, R., Seierstad, I., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., 2008. A 60,000 year Greenland stratigraphic ice core chronology. *Climate of the Past* 4, 47–57.