

A Balaton környékén előforduló Pannon-tavi üledékek földtana *Geology of Lake Pannon sediments in the vicinity of Balaton*

A Pannon-medencét kitöltő üledéktömeg késő-miocénben képződött része a Pannon-tóban és az ahhoz kapcsolódó delta- és folyóvízi környezetekben rakódott le („pannóniai emelet”). A felső-miocén képződmények ma a tektonikailag invertálódott, azaz már nem süllyedő, hanem kiemelkedő hegységeink és dombságaink peremén bukkannak a felszínre, ahol folyamatosan erodálódnak. Az eróziót lassítja, ha a laza, konszolidálatlan tavi és folyóvízi üledékeket keményebb, ellenállóbb rétegek fedik. A Dunántúli-középhegység déli pereme, azaz a Balaton környéke kiválóan alkalmas a Pannon-tó fejlődéstörténetének vizsgálatára, mert a pliocén óta emelkedő térszínen sok helyen pozitív formaként őrződött meg a pannóniai rétegsor, ahol édesvízi mészkő (Nagyvázsonyi Formáció), kemény, cementált homokkő (Kállai Formáció kötött részei, „kőtengerek”), vagy éppen vulkanitok (Tapolcai Bazalt Formáció) fedik. Ahol ilyen fedőközet nem védte meg a pannóniai képződményeket, ott éppen a folyamatosan zajló erózió teszi hozzáférhetővé őket. Jó példa erre a Balatonkenesétől Balatonvilágosig húzódó magaspárt (amelyet számos földrajzi kézikönyv tévesen löszfalnak nevez), de ugyanígy felszínközelségben vannak a pannóniai rétegek a Balaton medre alatt is, ahol mindössze néhány méter vastag holocén iszap takarja őket.

Az itt következő tanulmányokkal egy olyan sorozatot szeretnénk elindítani, amely a „*Balaton nagyfelbontású szeizmikus szelvények szedimentológiai, sztratigráfiai értelmezése és korrelációja a Balaton környékén felszínen kibukkanó üledékekkel*” című, 37724. számú OTKA kutatási program eredményeit mutatja be.

Terepi kutatásaink négy földtani képződményre összpontosultak: a Száki, Kállai és Somlói Formációk Tapolca környéki előfordulásaira, és a Tihanyi Formáció feltárásaira a Balaton keleti medencéje körül, a déli parton, Észak-Somogyban és a Balaton medre alatt. Ezek a képződmények a Pannon-tó kialakulásának és feltöltődésének két fázisáról tanúskodnak. Az első fázisra a relatív vízszint emelkedése (transzgresszió), a tó mélyülése, a behordott üledék helyi (középhegységi) eredete volt a jellemző. A második, döntően regresszív fázisban a tó medencéjének feltöltődése játszódott le az alpi hegységkeretből érkező üledéktömeggel.

Kutatási módszereink szedimentológiai, őslénytani, és geofizikai adatgyűjtést és értelmezést foglaltak magukba. Terepi szedimentológiai szelvényezést végeztünk ismételt többször is a lesenceistvánd–billegei kavicsbányában, a tihanyi Fehérparton, Balatonfüzfő térségében, a balatonkenesei, balatonakarattyai, balatonaligai és fonyódi magaspartokon, az időközben épülő M7 Balatonboglár–Ordacsehi közti szakaszán, Balatonszentgyörgy térségében és kisebb észak-somogyi homok- és agyagbányákban (Daránypusztá, Tab, Somogytúr). Törekedtünk arra, hogy minél hosszabb, egybefüggő szelvényeket rajzolhassunk meg, lehetőleg a rétegtani fiatalodás irányában, de ezzel párhuzamosan azokban a nagyobb feltárásokban, ahol erre lehetőség nyílt, a laterális fácieskapcsolatokat, kiékelődéseket is követtük.

Őslénytani (biosztratigráfiai és paleoökológiai) információt részben saját gyűjtésű anyagból, részben korábbi gyűjtések anyagainak feldolgozásából nyertünk. A terepi szedimentológiai szelvényezéssel párhuzamosan gyűjtöttük az ősmaradványokat, vagy ahol a rossz megtartás miatt erre nem volt mód, a terepen határoztuk meg a fajokat. A kutatás során számos új biosztratigráfiai korrelációs eredmény született. Az egyes képződmények korának minél pontosabb meghatározásához felhasználtuk az egyéb rétegtani módszerrel elért eredményeket is.

A Balaton holocén iszapja alatt található rétegösszlet sztratigráfiai és szedimentológiai értelmezésének az 1999–2005 között mért ultranagy felbontású, sekély behatolású szeizmikus szelvények képezik az alapját. A szeizmikus fáciesek ciklikus ismétlődése, progradációs mintázata könnyedén értelmezhető a környező feltárások üledékciklusainak ismeretében, mind litológiai, mind őskörnyezeti szempontból. Az előbb felsorolt módszerek mellett az őskörnyezeti értelmezésben felhasználtuk a nagyfelbontású szekvenciasztratigráfia alapelveit. A feltárásokban látható néhány méter vastag üledékciklusoknak és a szeizmikus szelvények nagy felbontásának köszönhetően ezek összehangolt értelmezésével, az elsődleges geometria figye-

lembevételével ötöd-hatodrendű, azaz paraszekvencia léptékű üledékes architektúrát vizsgáltunk. A rétegtani, szedimentológiai és szeizmikus adatokból koherens késő-miocén tavi-delta fejlődéstörténet rajzolható meg.

Terepi vizsgálódásainkat ezen kívül kiegészítettük egyéb geofizikai mérésekkel. Rétegtani korrelációt segítő a Tapolcai-medencében multielektródás geoelektromos szelvényezést végeztünk. Ugyancsak a Tapolcai-medence térségében előforduló kavicstestekben észlelt anomális szállítási-, illetve progradációs irányok magyarázatához, hazánkban úttörő módon félig 3D képet adó, szelvényhálóban telepített földradar méréseket eszközöltünk. Kísérleti jelleggel a legfontosabb két feltárásban a litológiai változások egyszerű és gyors leképezése céljából, valamint, hogy a mélyfúrások adataival összevethető képet is kapjunk a Tihanyi Formációról, közel folyamatos szelvényben megmértük a rétegek természetes gamma sugárzását terepen és a szélsőértékű kontroll mintákét laboratóriumi körülmények között is.

Az egyes tanulmányok elkészítésében fontos szerep jutott geológus és geofizikus szerzőtársainknak, akiknek ezúton is köszönjük a kutatási program sikeréhez való hozzájárulásukat. Más fejezetek tehetséges diákjaink szakkolgozataként készültek el az ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszékén; közülük voltak, akiket a munkalehetőségek új feladatok irányába, esetleg távoli országokba vittek el, így kéziratuk publikációjává alakítását magunk vállaltuk fel, természetesen megtartva őket első szerzőként. Végül köszönjük az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok támogatását, amelyet a T037724 sz. pályázaton keresztül munkánkhoz nyújtott.

Large volumes of Late Miocene sediments filling the Pannonian Basin were deposited in Lake Pannon and in the adjacent deltaic and alluvial environments (comprising the “Pannonian Stage”). Now the Upper Miocene deposits are found in inverted position, i.e. they are cropping out and are continuously eroding along the margins of hilly areas that have been being uplifted since the Pliocene. The erosion of loose lacustrine and alluvial silts and sands is prevented where they are covered by harder strata. The southern margin of the Transdanubian Range, the vicinity of Lake Balaton is an ideal location for studying the history of Lake Pannon deposits, because they were preserved there under the cover of fresh-water limestones (Nagyvázsony Formation), silica-cemented sandstones and conglomerates (Kálla Formation, “sea of stones”), or volcanic rocks (Tapolca Basalt). Where such a protective cover is missing, one can study the deposits made accessible by present-day erosion. The best example is the high cliff of Balaton running along the eastern coast of the lake from Balatonkenese to Balatonvilágos (and which is erroneously described as Pleistocene loess in several geography books). The Pannonian deposits are also close to the surface in the basin of Balaton, where they are overlain only by a few metres of Holocene mud.

With the following papers we intend to launch a series of studies which will present the results of a project sponsored by the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA 37724), entitled *Sedimentological and stratigraphical interpretation of ultrahigh-resolution (single-channel) seismic profiles acquired on the Lake Balaton and their correlation with outcrop data.*

Our field investigations targeted the Szák, Kálla and Somló Formations around Tapolca, and the Tihanyi Formation cropping out in extensive exposures along the eastern and southern coast, in the area of Somogy Hills, and last but not least, below the Holocene mud of Lake Balaton.

These deposits reveal two main phases in the sedimentary history of Lake Pannon. The first phase was characterized by a relative lake-level rise, resulting in transgressive shorelines and deepening of sedimentary environments, and by local sediment sources in the Transdanubian Range. By the second, regressive phase, however, the palaeogeography had considerably changed, and the basin was gradually filled up by sediments derived from the more distant Alpine–Carpathian mountain chains.

As to the methods of our investigations, sedimentological and palaeontological observations and various types of geophysical data were integrated in the interpretations. Sedimentological logging was carried out in the Lesenceistvánd–Billege gravel pit, in sections of the Tihanyi stratotype (Fehérpart), in abandoned pits near Balatonfüzfő, on the high cliffs at Balatonkenese, Balatonakarattya, Balatonaliga and Fonyód, along the M7 highway constructions between Balatonboglár and Ordacsehi, in the Balatonszentgyörgy brickyard and in other small sand and clay pits in the northern Somogy Hills. As far as the varying outcrop conditions allowed, we tried to obtain long and continuous sections in the direction of younging, as well as to follow lateral changes in facies.

Palaeontological information, including both biostratigraphic and palaeoecologic data, was obtained partly from fossils collected in the field, partly from archive collections. In some cases where poor preservation of molluscs would have made the preparation too difficult or time-consuming, the taxa were

determined in situ. The biostratigraphic data were interpreted in combination with results from other stratigraphic methods in order to achieve the highest possible temporal resolution.

Among geophysical data, the single channel ultra-high resolution seismic images acquired between 1999–2005 were of the utmost importance. They provide a firm base for the stratigraphical and sedimentological interpretation of Late Miocene successions below the Holocene mud of Lake Balaton. Repetition of seismic facies units and progradational geometries are understood as variations of lithology and palaeo-environments when compared to sedimentary cycles in nearby outcrops. In addition to the previous methods, the principles of high-resolution sequence stratigraphy were applied, thus few-metre-thick sedimentary sequences seen in outcrops and detected on ultra-high resolution seismic images were interpreted as fifth to sixth order units, i.e. lacustrine parasequences. Stratigraphic, sedimentological and seismic data are integrated to reveal the evolution of Late Miocene lacustrine-deltaic depositional systems.

Additional field geophysical methods were applied to disentangle stratigraphic and sedimentological problems. Stratigraphic position of various lithological units was mapped by geoelectric measurements in the Tapolca Basin. Gravel bodies with anomalous direction of transport and progradation were detected and mapped by an orthogonal network of quasi-3D GPR lines (a pilot study in Hungary). In order to obtain quick and quantified lithological information comparable to standard well-log data, gamma ray logging was carried out in two major outcrops of the Tihany Formation, then as a control, radiation of those beds producing the minimum and maximum signals was also measured in laboratory conditions.

Contributions from our co-authors — geologists and geophysicists — are greatly appreciated; the project could not have been accomplished successfully without their cooperation and team support. Some of the papers are based on graduate theses of our talented students at the Department of Geology, Eötvös Loránd University, Budapest. We thank the Hungarian Scientific Research Fund, OTKA project no. 37724, for providing financial help to our work.

SZTANÓ Orsolya, MAGYAR Imre