

## Medenceközponti földgáz-előfordulás elemzése a Makói-árokban

BADICS Balázs<sup>1</sup>, UHRIN András<sup>2</sup>, VETŐ István<sup>3</sup>, BARTHA Attila<sup>4</sup>, SAJGÓ Csanád<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Statoil Global Exploration, Grenseveien 21, Forus, N-4035 Stavanger, Norway; e-mail: balb@statoil.com

<sup>2</sup>Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>3</sup>geológus szakértő, H-1026 Budapest, Balogh Ádám utca 18/c

<sup>4</sup>Schlumberger, 10001 Richmond Avenue, Houston, 77042, Texas, USA

<sup>5</sup>Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatóintézete, H-1112 Budapest, Budaörsi út 45.

### *Assessment of the basin-centered gas accumulation in the Makó Trough*

#### Abstract

The worldwide interest in unconventional hydrocarbon accumulations has increased continuously over the last decade, largely due to a growing demand for natural gas, and equally important, because of the availability of a growing range of advanced oilfield technologies. For these reasons the thermally mature, shaly sediments of the deep Makó Trough of the Pannonian Basin have become a new target for exploration companies looking for unconventional natural gas resources. So far the exploration efforts from TXM, MOL and ExxonMobil have been unsuccessful; no economic flow rate has yet been tested from any of the wells. This study focuses primarily on the hydrocarbon potential of the effective source rocks in the Makó Trough using state-of-the-art 3D basin and petroleum system modelling technology. The thermal and maturity history, and the timing of the hydrocarbon generation from the effective source rocks were investigated. Thus the generated volumes of hydrocarbons could be estimated, and then compared with the volumes needed to fill the assumed pore space of unconventional reservoirs.

In order to reduce the uncertainty related to source rock parameters like the total organic carbon content (TOC), hydrogen index (HI), and source rock thickness, a number of simulation runs were carried out in addition to the reference model. Furthermore, using the Monte Carlo sampling method the variations for each input parameter were determined; these variations were based on triangular distribution in order to facilitate the calculation of the generated volume of hydrocarbons for different probability confidences, for three drainage areas.

The estimated mean volume of gas generated (primarily from the Endrőd Formation) was calculated as 490–650 billion Sm<sup>3</sup> (the are volumes always given at atmospheric pressure). This is much less than the necessary volume of at least 14 000 billion Sm<sup>3</sup> needed to fill all the pore-spaces in the Szolnok Formation sand layers alone, and thus not enough to justify the existence of a basin-centred gas accumulation. Therefore the Makó Trough is unlikely to contain a large basin-centred, tight gas-sand accumulation. The Endrőd Marl is only a medium quality, mixed oil- and gas-prone source rock with average immature TOC values of 0.75% in most wells, and only in the Hód-I and Makó-7 wells does this value reach 1.5%. These values are far below the average TOC values of the proven shale-gas systems of the USA and Canada. The very high pressures and temperatures, and the high clay content represent additional negative factors for the Endrőd Marl as a potential shale-gas accumulation.

*Keywords: Makó Trough, basin-centred tight gas-sand accumulation, Endrőd Formation, 3D basin and petroleum system modelling*

#### Összefoglalás

A nem hagyományos szénhidrogén-előfordulások iránti érdeklődés napjainkban folyamatosan növekszik. Ez részben a földgáz iránti fokozott keresletnek, részben az egyre korszerűbb fúrástechnikai, rétegrepszési megoldások elérhetőségének köszönhető. Emiatt kerültek a figyelem középpontjába a Magyarországon déli részén található Makói-árok agyagos-homokos alsó-pannóniai üledékei. A TXM, a Mol és az ExxonMobil eddigi fúrásos kutatása azonban egyelőre nem hozott értékelhető eredményt: ipari jelentőségű földgázt egyik fúrásból sem sikerült kitermelni. Jelen tanulmányunk célja a Makói-árok szénhidrogén-potenciáljának felmérése a legmodernebb háromdimenziós medence- és szénhidrogén-rendszer-modellezés eszközeivel. Vizsgálataink a terület anyakőzeteinek, süllyedés- és hőtörténetének, valamint a szénhidrogén keletkezés idejének meghatározására irányultak. Ezáltal lehetségessé vált a keletkezett szénhidrogén mennyiségének becslése, és annak összehasonlítása a Makói-árokban esetlegesen található medenceközponti földgáz-előfordulás pórusterével. Az anyakőzetek legfontosabb tulajdonságainak (vastagság, teljes szerves széntartalom [TOC], hidrogénindex [HI]) a keletkezett szénhidrogén mennyiségére gyakorolt hatását Monte Carlo szimulációt alkalmazó modellezéssel vizsgáltuk, hogy a földtani bizonytalanság által eredményezett valószínűségi eloszlást megismerhessük.

A Makói-árokban található tápterületeken összesen 490–650 milliárd  $\text{Sm}^3$  (a térfogatok mindig légköri nyomáson megadva) földgáz keletkezhetett, főként az Endrődi Formáció Tótkomlósi Tagozatából és legalsó, korábban prepannoniainak vélt részéből. Ezzel szemben csak a Szolnoki Formáció homokrétegeinek szabad pórustere ugyanazon a területen 14 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ , tehát látható, hogy a rendelkezésre álló szabad póruster kitöltéséhez a keletkezettnél sokkal nagyobb mennyiségű földgázra lenne szükség. Esetünkben a kellő mennyiségnek csupán 5–10%-a keletkezhetett. Ezért nem valószínű, hogy a Makói-árokban hatalmas kitermelhető földgázkészletet rejtő medenceközponti földgáz-előfordulás található. Az Endrődi Marga „fair” minőségű, kevert gáz- és olajnyakőzet, átlagosan mindössze 0,75% TOC-tartalommal. Ez az érték csak a Hód-I és Makó-7 fúrások egyes szakaszain éri csak el az 1,5%-ot. A fenti adatok jóval elmaradnak az ismert, gazdaságosan kitermelhető egyesült államokbeli és kanadai agyag-gáz rendszerek TOC-értékeitől. A Makói-árok területén a szóban forgó mélységben uralkodó rendkívül magas hőmérséklet és nyomás, valamint az Endrődi Marga magas duzzadó agyag tartalma további hátrányos tényezőket jelentenek.

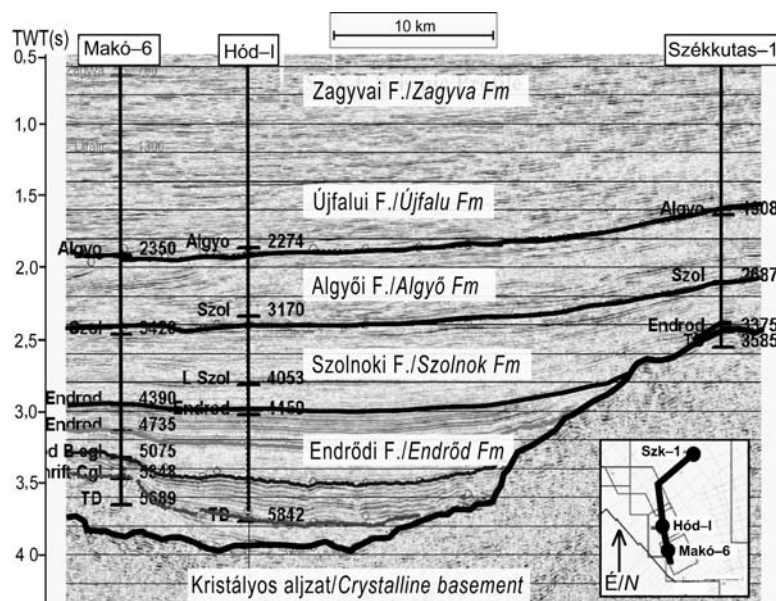
Tárgyszavak: Makói-árok, medenceközponti földgáz-előfordulás, Endrődi Formáció, 3D medence- és szénhidrogénrendszer-modellezés

## Előzmények

Az utóbbi években nagy figyelmet kapott a Makói-árok mind a nemzetközi olajipari fórumokon, mind a magyar sajtóban. A Makói-áróban esetlegesen található medenceközponti földgáz-előfordulás (angolul BCGA = basin-centered gas accumulation) több cég figyelmét is felkeltette. A kanadai Falcon leányvállalataként működő TXM Kft., később a Mol, és a világ legnagyobb olajvállalata, az amerikai ExxonMobil is végzett próbafúrásokat a területen — egyelőre sikertelenül, mivel gazdaságos gázkitermelést nem sikerült elérni.

Az ún. medenceközponti földgáz-előfordulás elvi lehetőségét LAW (2002) dolgozta ki, amely szerint ezen nem hagyományos földgáz-előfordulások általában regionálisan nagy kiterjedésű, ám kis permeabilitással rendelkező, gázzal telített homokkövek, amelyekben túlnyomás uralkodik és nincsen kitérképezhető gáz-víz határuk. LAW (2002) szerint az ilyen földgázmezők nem köthetők szerkezeti vagy rétegtani csapdákhoz, hanem a teljes üledékes öszlet földgázzal telített rendszert képez.

A Magyarországon esetlegesen megtalálható medenceközponti földgáz-előfordulások első elméletét SPENCER et al. (1994) dolgozták ki a Békési-medencére, majd LAW (2002) a Makói-árokra. Hasonló elképzelés már SZALAY (1988) munkájában is megjelent, a túlnyomás kutatása kapcsán. Az elméleteket gyakorlati fúrások kutatás követte, és a 2004–2007 években a Makói-árok a Falcon magyarországi leányvállalatának, a TXM-nek a kutatási területe lett. A TXM koncepciója szerint (SCOTIA GROUP 2006), a Makói-árkot kitöltő alsó-pannoniai Szolnoki Formáció mélyvízi turbidites homokrétegei, az Endrődi Formáció márgái, valamint az ezek fekvését képező Békési Konglomerátum és az árok legalsó üledékeit jelentő, korábban badeninek gondolt, ám szintén az alsó-pannoniaiba tartozó „szinrift” üledékek pórustere teljesen telítve van földgázzal, és ez hatalmas, akár 1200 milliárd  $\text{Sm}^3$  kitermelhető földgázkészletet reprezentálhat (1. ábra). A TXM fúrásaiban ezen üledékeket átfúrva végig nagy háttérgáz értékek jelentkeztek, reményt adva a nem hagyományos földgáz-előfordulás jelenlétére. Gazdaságos mennyiségű földgáz-



1. ábra. Szeizmikus időszelvény a Makói-árkon és a fontosabb fúrásokon keresztül

Figure 1. Seismic time cross-section across the Makó Trough showing the most important wells

termelésre azonban sem a TXM által fúrt Makó-4, -6 és -7, Székkutas-1, Pusztaszer-1 és Magyarcsanak-1, sem a Mol, az ExxonMobil és a TXM alkotta konzorcium által fúrt Földeák-1 és Hódmezővásárhely-1 fúrásokban sem került sor, még rétegreosztás után sem.

Az alsó-pannóniai formációkat többen a közeli hagyományos kőolaj- és földgázmezők anyakőzeteként azonosították (SZALAY & KONCZ 1991, KONCZ & ETLER 1994, KONCZ et al. 1999, LAW 2002, MAGYAR et al. 2006), egyelőre azonban még senki sem bizonyította szerves geokémiai módszerekkel az alsó-pannóniai Endrődi Márga, mint anyakőzet és az algyői mező olajának kapcsolatát. Ezzel szemben SAJGÓ (1984) már jóval korábban megállapította a Makó-3 és Hód-1 extrahált szerves anyagának biomarkerei és az algyői olajok biomarkereinek összehasonlítása alapján, hogy az alsó-pannóniai üledékek nem lehetnek az algyői olaj nagy részének anyakőzetei.

A területről nagyszámú fúrás rétegsora, szerves geokémiai és hőmérsékleti adat, valamint térkép állt rendelkezésre a magyar és a nemzetközi földtani irodalomban, ezért lehetőség nyílt a Makói-árok anyakőzeteinek hő- és éréstörténeti vizsgálatára, a keletkezett szénhidrogén mennyiségek térfogati probabilisztikus becslésére, valamint a keletkezett mennyiség és az árkot kitöltő alsó-pannóniai formációk pórustérfogatának összehasonlítására.

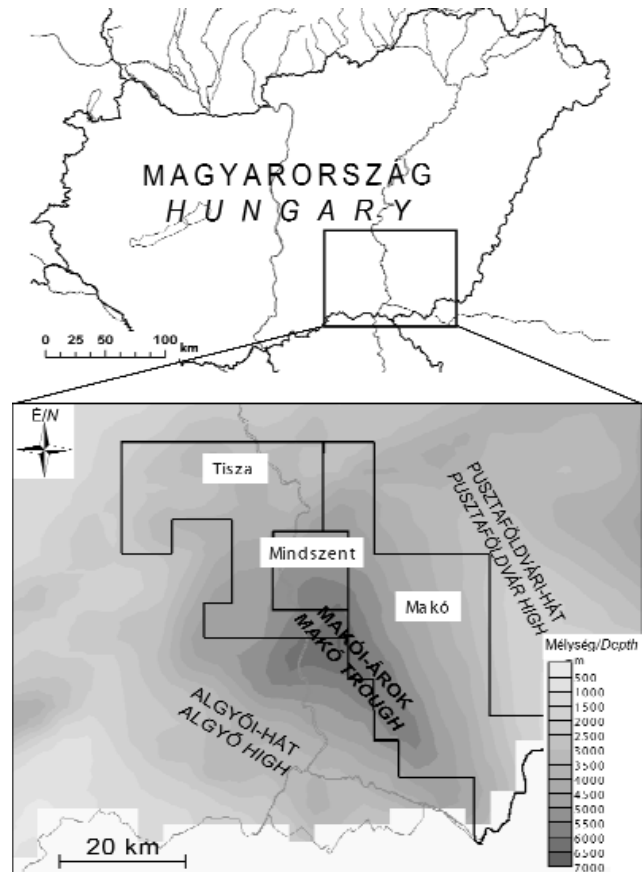
Jelen munka a szerzők kutatási tevékenységének része, eredménye és véleménye. A Statoil, a Schlumberger, az MTA és a MÁFI nem nyújtott adatot, pénzügyi vagy egyéb támogatást a munkához, nem vett részt benne. A Mol Nyrt., az ExxonMobil és a TXM Kft. semmilyen adatot nem adott a munkához, melyben csak előzőleg publikált, szabadon hozzáférhető adatok és térképek kerültek felhasználásra.

## Módszerek

Munkánk célja a Makói-árokban előforduló lehetséges anyakőzetek meghatározása, ezen képződmények süllyedés-, hő- és éréstörténeti modellezése, a szénhidrogénképződés idejének meghatározása, a keletkezett szénhidrogén-mennyiség valószínűségi térfogatbecslése, valamint a keletkezett mennyiség és az árkot kitöltő alsó-pannóniai formációk pórustérfogatának összehasonlítása volt.

A vizsgált terület (2. ábra) a Makói-árkon kívül magában foglalja az Algyői-hát, a Pusztaföldvári-hát és a Kiskunsági-árok területeit, a lehetséges anyakőzetek, migrációs viszonyok és a terület szénhidrogén-rendszereinek pontosabb megértése végett. Az általunk vizsgált 86×127 km-es területet nyugatról a Kiskunhalasi-árok, keletről a Békésmédenca határolja; északon Kecskemét vonaláig, délen az országhatárig terjed.

A munka első fázisa az elérhető irodalom és fúrási információ összegyűjtése és rendszerezése volt. A szerves geokémiai adatok egy részét már korábban publikálták (pl. SAJGÓ 1980, 1984; HORVÁTH et al. 1988; SZALAY & KONCZ 1991; HETÉNYI 1992; HETÉNYI et al. 1993; LAW et al. 2009), míg a fúrási adatok nagy részéhez a Magyar Bányászati és



2. ábra. A pre-kainozoos aljzat mélysége méterben, a Makói-árok, Algyői- és Pusztaföldvári-hát, valamint a bányatelkek elhelyezkedésével

Figure 2. Depth map of Base Cenozoic in metre, showing the location of Makó Trough, Algyő and Pusztaföldvár Highs, and the production licenses of the area

Földtani Hivatal adattárában és az IHS adatbázisában (IHS International Exploration and Production Database) lehetett hozzájutni. Az összegyűjtött adatok rendszerezésével létrehoztuk saját adatbázisunkat a Makói-árok geológiájáról, amely az összes fúrást, szerves geokémiai és hőmérsékleti adatot tartalmazta.

A rendelkezésre álló adatok alapján fel lehetett állítani a terület fejlődéstörténetének földtani modelljét. Ennek során azonosítottuk a lehetséges anyakőzeteket, elsősorban a szakirodalomban és kütönyvekben közölt adatok, valamint a szerves geokémiai tárgyú jelentések alapján. A vizsgált területen belül, magában a Makói-árokban 11 mélyfúrás harántolta az alsó-pannóniai képződményeket. A Kiskunságban, az Algyői- és a Pusztaföldvári-háton azonban több száz fúrás érte el ezeket a képződményeket; közülük 52-ben állt rendelkezésre hőmérsékletadat, 16-ban a szerves anyag mennyiségét, típusát és érettségét mutató ún. Rock-Eval-adat, és 25 fúrásban a szerves anyag érettségét mutató vitrinitreflexió (Ro) érték.

## Földtani környezet

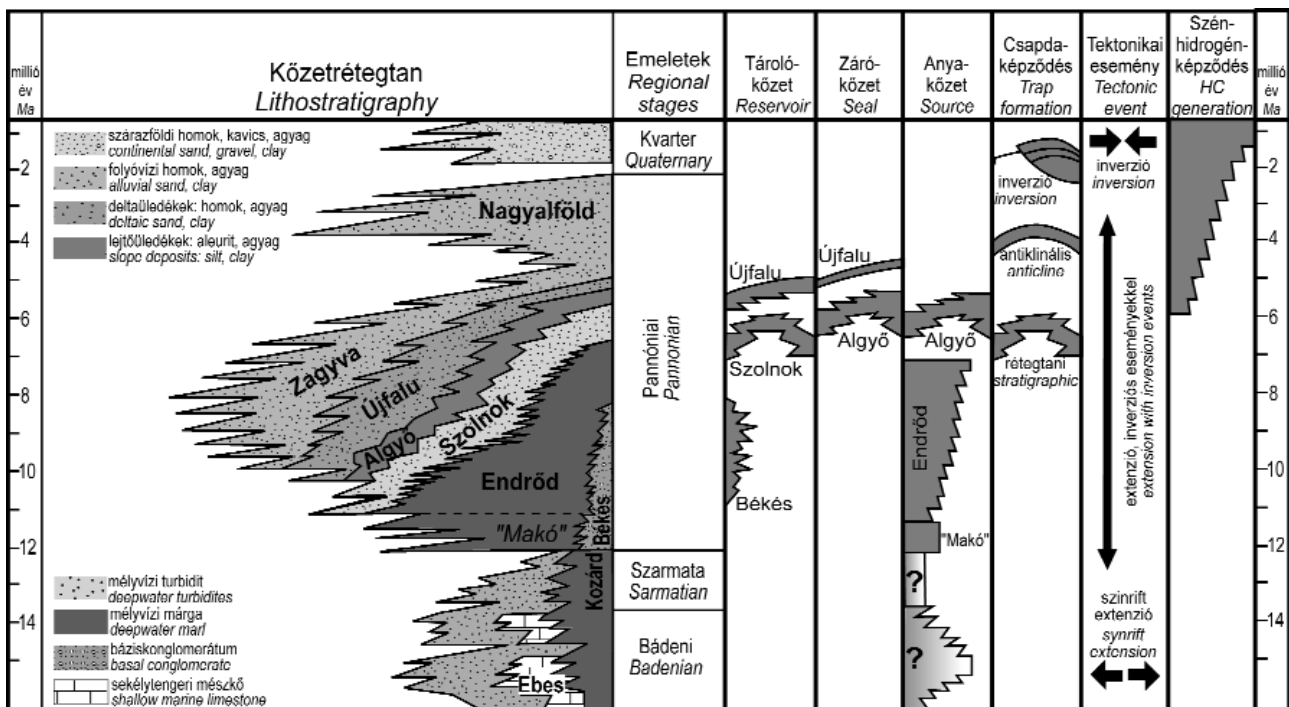
A Makói-árok a Pannon-medence fejlődésének színrift fázisában, tehát az irodalomban általánosan középső-

miocén korúnak tekintett extenzió során (HORVÁTH & RUMPLER 1984, HORVÁTH 1988, BERGERAT 1989, NEMCOK et al. 2006) alakult ki azáltal, hogy lapos szögű normálvetők mentén a Pusztaföldvár–Battonyai-egység lecsúszott az Algyői-hátról (TARI et al. 1999). A Pannon-medence szinrift süllyedékeinek (pl. Dráva-árok, Somogyi-árok, Budafai-árok) nagy részében megtalálhatók a kárpáti–badeni korú üledékek (BÉRCZI et al. 1988, HÁMOR et al. 2001), a vizsgált délkelet-alföldi területen azonban ezek jelenléte csupán a Kiskunhalasi-árokban bizonyított (RUMPLER & HORVÁTH 1988). Korábban a Makói-árokban mélyült Hód–I jelű fúrás rétegsorának alsó szakaszát is badeni korúnak vélték (BÉRCZI 1988), de ez SZUROMI-KOECZ et al. (2004) vizsgálatai alapján kora-pannóniainak bizonyult. Jelentős vastagságú üledékoszlet korát módosította badeniről kora-pannóniára a Makó–2 fúrás újvizsgálata is (MAGYAR 2009).

Emiatt vita tárgyává vált, hogy előfordulnak-e egyáltalán a Makói-árokban kárpáti–badeni korú üledékek (1. és 3. ábra). Újabb fúrások és szeizmikus szelvények értékelése alapján úgy tűnik, hogy ezek vastagsága mindenképpen

települése, ill. szeizmikus képe alapján szinriftnek tekintett sorozat fedi az aljzatot. A Makó–6 fúrás ebben a szinrift sorozatban állt meg, amit ott az alsó-pannóniába soroltak (BADA G. szóbeli közlése).

A vizsgált területet mintegy 10–12 millió éve a Pannon-tó vize öntötte el. A Pannon-tóban három fő környezeti egység különült el: a mélymedence, a lejtő és a self (JUHÁSZ 1992; JUHÁSZ et al. 2006, 2007a, b; MAGYAR 2009; POGÁCSÁS et al. 2010), melyek üledékei adott helyen ebben a sorrendben települnek egymás fölé, köszönhetően a lejtő progradációjának (1. és 3. ábra). A mélymedence aránylag állandó, több száz méter mély vízzel borított környezet volt. Az itt lerakódó üledék minőségét a pelágikus karbonát és a szárazföldi eredetű hordalék aránya és ez utóbbi szemcsmérete határozta meg. Az üledékforrástól távoli vagy kiemelt területeken, ahová nem, vagy legfeljebb szuszpenzióban érkezett szárazföldi eredetű üledék, uralkodóan mészmárga képződött (Endrődi Formáció Tótkomlói Tagozata; GAJDOS et al. 1983, JUHÁSZ 1992). Ez a Makói-árok központi területein 200–300 m vastag. A lebegtetve szállított szárazföldi hordalék arányának növekedése márga,



3. ábra. A Makói-árok krono- és litosztratiográfiája, lehetséges anya-, tároló és záróközetei, a csapdaképződés és szénhidrogén keletkezés ideje (MAGYAR et al. 2006 és jelen munka alapján)

Figure 3. Chrono- and lithostratigraphy of the Makó Trough, its potential source-, reservoir- and seal rocks, the timing of trap-formation and hydrocarbon generation (based on MAGYAR et al. 2006 and the present work)

jóval csekélyebb, mint a Kiskunhalasi-árokban, és valószínűleg csak az árok keleti oldalán, azaz a Pusztaföldvári-hát nyugati szárnyán található meg, az Algyői-hát keleti szárnyán már nem. Az újabb mélyfúrások közül csupán a Pusztaszer–1 harántolt badeni üledéket, a Székkutas–1-ben a triász aljzatra közvetlenül pannóniai képződmények települnek, míg a Makó–7-ben a korábban badeninek vélt, ám az új eredmények tükrében alsó-pannóniainak tűnő,

majd agyagmárga (Endrődi Formáció Nagykőrüi Tagozata) képződéséhez vezetett (JUHÁSZ 1992). Ahogy a medence feltöltődése előrehaladt, tehát a progradáló lejtő közelebb került az adott területhez, megjelentek az agyagmárgában a kőzetlisztes és finomhomokos, vékonypados turbiditek betelepülései (Endrődi Formáció Vásárhelyi Tagozata). Az agyagmárga rétegsor a Makói-árokban 300–400 m vastag, míg annak peremei felé kivékonyodik. Az Algyői-hát szár-



nyain, a Makói-árok délnyugati részén eleinte jelentős üledékforrások voltak a tektonikus félárkok kiemelt, szigetként a tó szintje fölé nyúló tömbjei, melyeken a tópart mentén az abráziós Békési Konglomerátum képződött. A félárkok meredek mestervetői mentén breccsa, konglomerátum és durva homok halmozódott át a már mélyülő medence finomszemű üledékeibe is (Endrődi Formáció Dorozsmai Tagozata) egészen addig, míg a kiemelt blokkot el nem borította a tó (MAGYAR 2009). A Hód-I fúrásban ez a durvahomok-konglomerátum öszlet 500 m vastagságot ér el.

Itt szükséges megemlítenünk, hogy amennyiben a már említett, több helyen a medencealjzatra települő színrift üledék korát pannóniaiak tekintjük, ezt is az Endrődi Formációba kell sorolnunk. A pannóniaiként értelmezett színrift öszletre emiatt szokás a hivatalosan jelenleg nem elfogadott „Makói Tagozat” megjelölést alkalmazni (BADA G. szóbeli közlése). Mivel a fentebb leírt tagozatok képződésének idejére a színrift öszlet már részben invertálódott, a vastagabb színriffel rendelkező rétegsorokban (pl. Makó-6) jellemzően jóval vékonyabb a „klasszikus” Endrődi Formáció, mint máshol (pl. Makó-7, Hód-I). A progradáló lejtő közelebb kerülésével a Vásárhelyi Tagozat képződését mindenütt a Szolnoki Formáció lerakódása váltotta fel. Ez utóbbi formáció lerakódása során a lebegtetett üledékek „háttér szedimentációját” újra és újra finomhomokos turbidit képződése szakította meg. A Szolnoki Formáció vastagsága a Makói-árok központi részein az 1100 métert is eléri.

A lejtő néhány fokos szögben emelkedett a medencéből a self felé; a durvább szemcsék általában áthaladtak ezen a zónán gravitációs üledékfolyások formájában, ezért a lejtő üledékei (Algyői Formáció) uralkodóan agyagból, aleuritből állnak. A progradáció során kialakult, egymást követő lejtőfelszínnek jól tanulmányozhatók a szeizmikus szelvényeken is. Ezek alapján becsülhető legpontosabban a Pannon-tó egykori vízmélysége, mint a lejtő felső vége (a selfperem) és a lejtőláb közötti függőleges távolság. Ennek értéke — ami adott helyen értelemszerűen közel azonos az Algyői Formáció vastagságával — jellemzően néhány száz méter (MAGYAR 2009, UHRIN et al. 2009a), de a Makói-árokban néhol az 1000 métert is megközelíti (POGÁCSÁS et al. 1988).

A progradáció további előrehaladtával, miután a selfperem elérte területünket, elkezdtek lerakódni a deltafronti, majd a deltasíksági képződmények. Ezen, immár a selfre jellemző környezetek üledékeiből áll az Újfalu Formáció. MAGYAR (2009) szeizmikus horizontok követésén alapuló rekonstrukciójából kiderül, hogy a vizsgált terület északnyugati (a fő üledékforrás irányába eső) szegélyén a lejtőt a selfkörnyezet több mint 8 millió éve, míg délkeleti részén csupán 5 millió éve váltotta fel (4. ábra). A selfüledékek fölél a Zagyvai Formáció alluviális síkságon képződött, a mederövekben részben homokos, az ártereken aleuritös-agyagmárgás üledékei, majd a Nagyalföldi Formáció hasonló jellegű, ám tarka agyagban gazdag rétegsora, legvégül kvarter üledékek települnek.

## Neogén anyaközetek

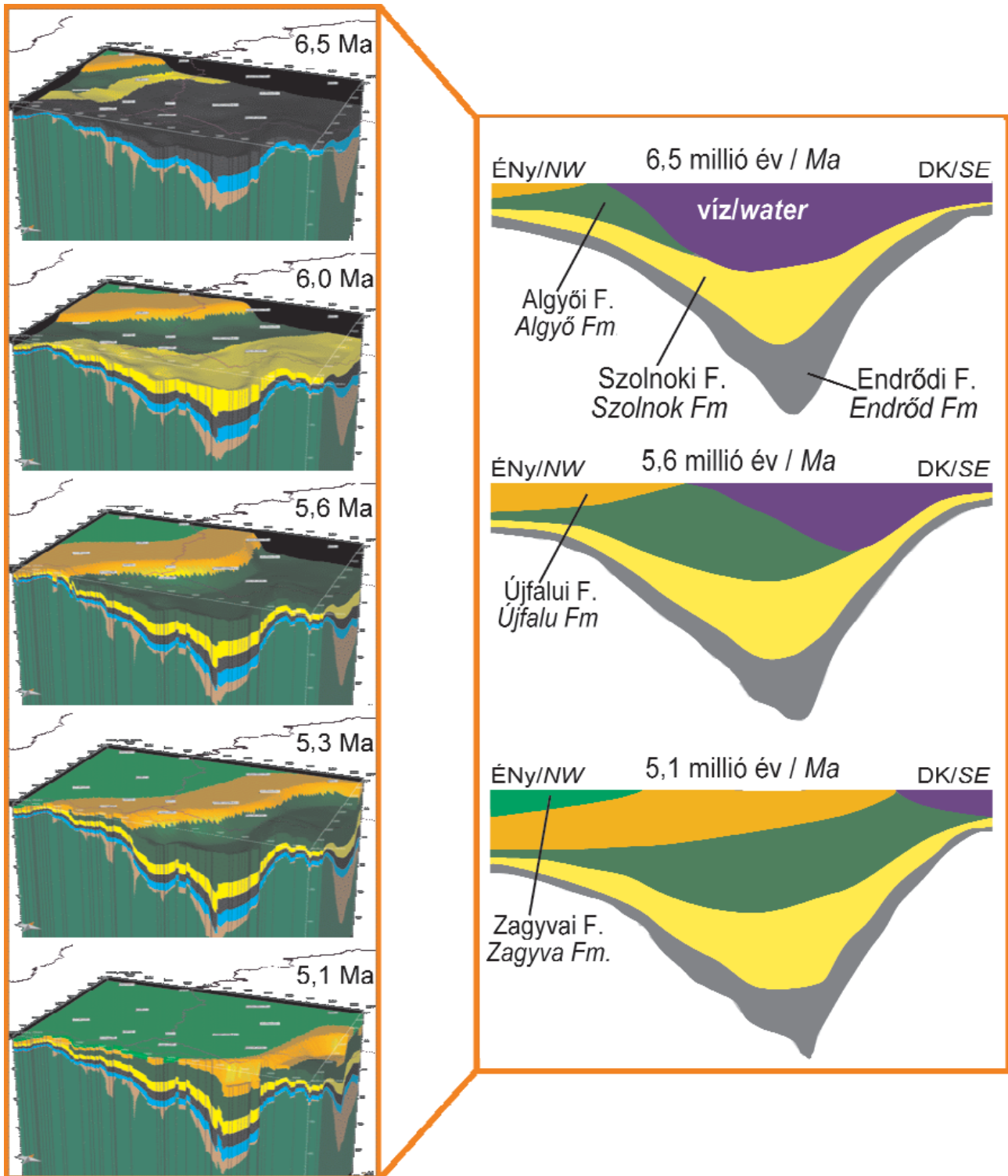
Miután a Makói-árokban feltételezett BCGA gázkészlet nyilvánvalóan csak az árkot kitöltő üledékekben keletkezhetett, alapvető fontosságú lenne az üledékkitöltés kezdeti szénhidrogén-potenciáljának (HCpot) az ismerete, azonban az árok mély zónájából Rock-Eval-adatok nem állnak rendelkezésre. A keletkezett gáz tömegének becsléséhez ezért csak a Hód-I magmintáin, ill. a Makó-7 furadékmintáin mért összes szerves szén (TOC) tartalomból, a Hód-I magmintáin mért vitrinitreflexióból (Ro%) és ezek kerogénjének H/C atomi arányaiból (5. és 6. ábrák) indulhatunk ki.

A vitrinitreflexiók értékek (6. ábra) tanúsága szerint az érdemleges termikus szénhidrogén képződés csak 3650 m mélységben, a Szolnoki Formáció felső részében kezdődik el. A Szolnoki Formáció TOC-tartalma a Hód-I fúrásban 0,7% alatt marad. Figyelembe véve azt is, hogy az árok és környéke neogén üledékeit feltáró fúrásokból rendelkezésre álló Rock-Eval-adatok szerint ez a formáció általában IV-es és III-as típusú, 30–70 mg HC/g TOC HI-vel jellemezhető kerogén tartalmaz, a Szolnoki Formáció az árok mély zónájában nem tekinthető anyaközetnek.

A Makó-7-ben harántolt Endrődi Márga átlagos TOC tartalma LAW (2009) adatai alapján 0,95%, ami a jelentős érettséget figyelembe véve 1,3% eredeti TOC-nek feleltethet meg. SZUROMI-KORECZ et al. (2004) szerint a Hód-I alsó 800 méteres szakaszán harántolt képződmények lerakódása során az üledék felhalmozódás drasztikusan lelassult a karbonáttartalom feldúsulásával párhuzamosan (5. ábra). Mindez nyilvánvalóan a szárazulatról történő törmelékbeszállítás drasztikus csökkenését tükrözi. Ugyanakkor a karbonát- és a TOC-tartalom eléggé erős pozitív korrelációt mutat. Ebből az Endrődi Márga karbonátban gazdag alsó része („Makói Tagozat” és Tótkomlói Mész márga Tagozat) kerogénjének uralkodóan vízi eredetűre következtetünk. Az 50 m / M évnél gyorsabb felhalmozódás miatt az üledék viszonylag gyorsan az intenzív bakteriális lebontás zónája alá süllyedt, így a szerves anyag nagy eredeti hidrogéntartalmának jó részét megőrizhette. Mindebből az árok mély zónájában kifejlődött Makói Tagozat és Tótkomlói Mész márga Tagozat *fair* („elég jó”) olaj anyaközet voltára következtetünk.

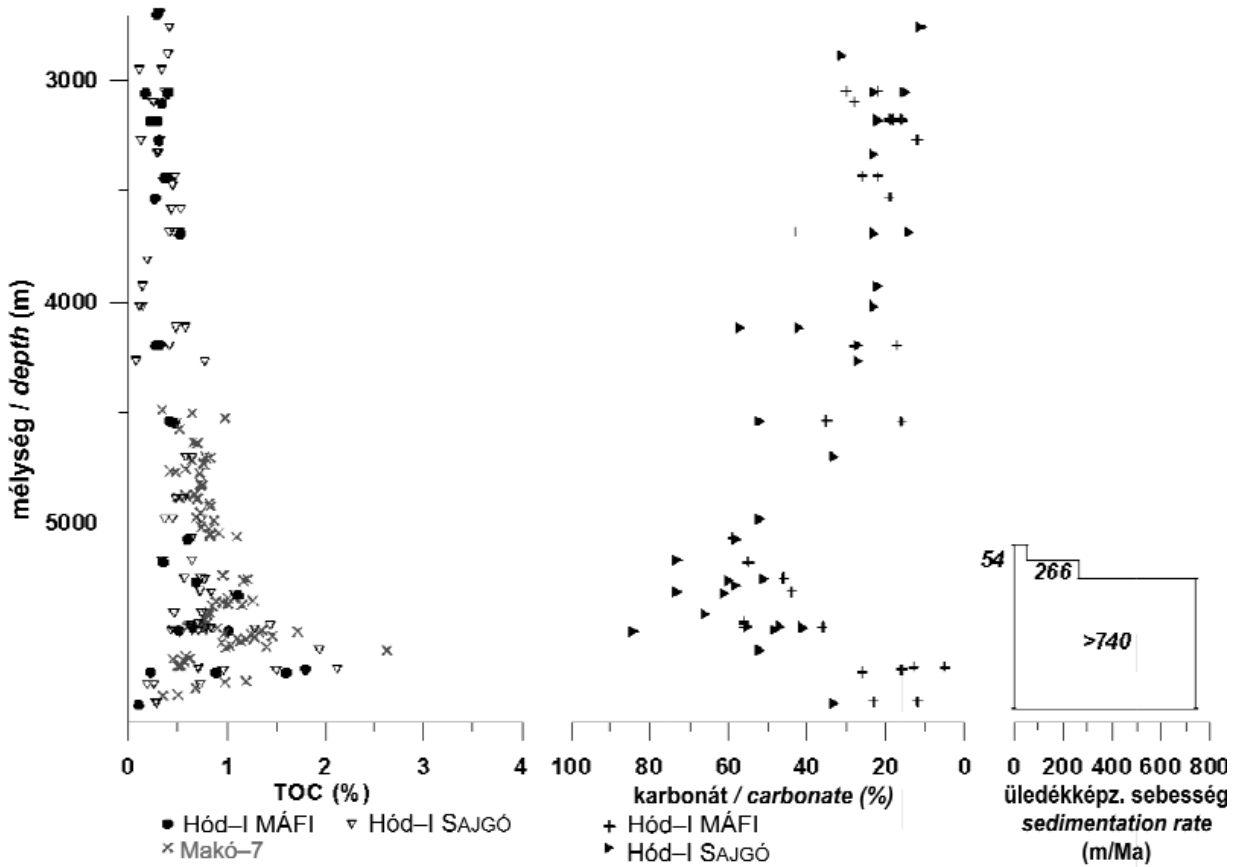
Ez a feltételezés jó összhangban van azzal, hogy MAGYAR et al. (2001) szerint az olajiparban a Tótkomlói Mész márga Tagozatot *fair* anyaközetként tartják számon. Ezt a vélekedést megerősíti az a tény, hogy a Szentés-ÉK-1 fúrás által harántolt Endrődi Márga alján az összes szerves széntartalom (TOC) megemelkedik 1%-ig, a hidrogénindex (HI) pedig 140 mg HC/g TOC-értékre. Mivel itt a vitrinitreflexió (Ro) már 0,85%, a kerogén éretlen állapotában a HI nagyobb lehetett 140 mg HC/g TOC-nél, tehát az Endrődi Márga alsó része *fair* olaj anyaközet volt.

Az 5500 m alatt harántolt „Makói Tagozat” TOC-tartalma igen nagy szórást mutat (0,1–2,7%). SAJGÓ et al. (1988) és VETŐ et al. (2009) szilárd bitumen jelenlétét említik a „Makói Tagozat”-ból, ill. az Endrődi Márga aljáról.



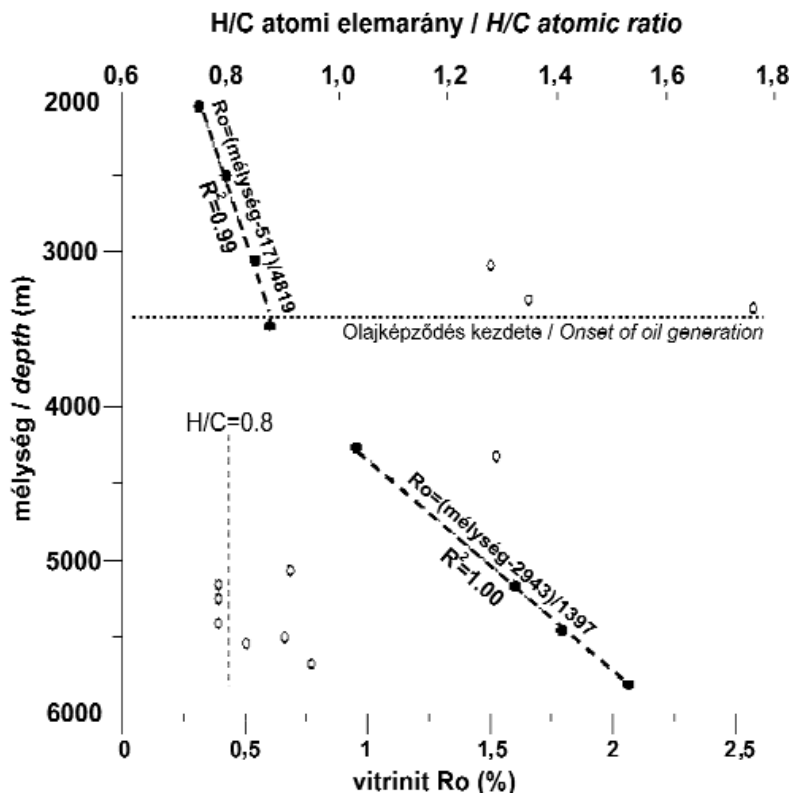
4. ábra. A Makói-árok progradációval történő feltöltődése térben (balra) és szelvényben (jobbra)

Figure 4. Progradational basin filling of the Makó Trough at different basin evolution stages: in 3D (left) and 2D (right)



5. ábra. TOC- és karbonáttartalom a mélység függvényében a Hód-I és a Makó-7 fúrásokban: Hód-I TOC és karbonát VETŐ (1974) és SAJGÓ (1984) szerint, Makó-7 TOC LAW (2009) szerint, üledékképződési sebesség SZUROMI-KORECZ et al. (2004) szerint

Figure 5. TOC and carbonate content with depth in the Hód-I and Makó-7 wells with estimated sedimentation rates. Hód-I TOC and carbonate values from VETŐ (1974) and SAJGÓ (1984), Makó-7 TOC from LAW (2009), estimated sedimentation rate from SZUROMI-KORECZ et al. (2004)



6. ábra. A vitrinitreflexió növekedése a mélységgel a Hód-I fúrásban SAJGÓ et al. (1988) szerint (4000 m felett CASTANO, 4000 m alatt HORVÁTH Z. méréseit vettük figyelembe)

Figure 6. Vitrinite-reflectance (%Ro) with depth in the Hód-I well, based on SAJGÓ et al. 1988. (Above 4000 m from CASTANO, below 4000 m from HORVÁTH Z.)

Lehetséges, hogy a „Makói Tagozat”-ban mért magas TOC-értékek a szilárd bitumen jelenlétét (is) tükrözik. Ez megnehezíti az egység anyakőzet jellegének megítélését.

A másik fontos szempont, hogy a „Makói Tagozat” nyílt pórusaiban jelentős a szénhidrogén- (bitumen-) tartalom (SAJGÓ et al. 1983), összehasonlítva a Hód-I fúrás fentebb említett mintáival. A medencefejlődés és a szerves fácies alakulása több párhuzamosságot mutat. Az alábbi mutatók: prisztán/fitán (pr/ph), prisztán/n-C17 (pr/n-17), C30-hopánok/C29-szteránok (h/st), bisztorhopán/hopán (bh/h), oleanán/hopán (o/h), C27- $\beta\beta$ /C29- $\beta\beta$  szteránok ( $\beta\beta$ 27/ $\beta\beta$ 29), C27- $\nabla\nabla$ -20R/C29- $\nabla\nabla$ -20R szteránok ( $\nabla\nabla$ 27/ $\nabla\nabla$ 29), C27-diaszteránok/összes C27-szterán (dst/st) változásai alapján a Hód-I fúrás 40 magmintájában vizsgált mélységtartományt (2051–5810 m) öt szerves fáciesrészre bontottuk (1. táblázat).

1. táblázat. A Hód-I fúrás magjaiban mért biomarker paraméterek alapján felállított mélységi zonáció SAJGÓ et al. (1983) szerint.

Table 1. Biomarker facies zones, based on the biomarker parameters measured in the cores of the Hód-I well, based on SAJGÓ et al. (1983)

| Medencerészek (+formációk)                    | Mélység m | Biomarker fácies  | Biomarker paraméterek                                    | Mélység (1 magok sorszámja) |
|---|-----------|---|--|-----------------------------|
| Deltasíkság (felső Újfalui F.)                | 2050–2500 | magasabbrendű növényi túlsúly                                   | nagy h/h (kiv.: 1. mag)<br>nagy o/h (kiv.: 1. és 2. mag) | 2051–2760 (1–6.)            |
| Deltafront (alsó Újfalui F.)                  | 2760–3200 | mélységgel csökkenő magasabbrendű növényi túlsúly               | nagy pr/n-17 és h/st                                     | 2890 3690 (7–19.)           |
| Lejtő A (felső Algyői F.)                     | 3270–3690 |   |  |                             |
| Lejtő B (alsó Algyői F.)                      | 3690–4270 | hozzájárulás: szárazföldi ~ vízi eredetű                        | kis pr/ph (0.75), és dst/st maximum                      | 3810–4269 (20–26.)          |
| Mélymedence A (Endrődi F., Dorozsmai T.)      | 4285–5070 | szárazföldi ~ vízi eredetű                                      | nagy o/h és dst/st                                       | 4270–5410 (27–36.)          |
| Mélymedence B (Endrődi F., Tótkomlói T.)      | 5170–5420 |   |  |                             |
| Bazális (Endrődi F., „Makói T.” és Békési F.) | 5450–5820 | domináns vízi eredetű, mély, zavartalan víz, redukzív viszonyok | pr/ph minimum  | 5410–5810 (37–45.)          |

### Közeleli szénhidrogén-előfordulások geokémiai jellemzői

A kőolajok érettségének tanulmányozása során (SAJGÓ 1984, 1993, 2000) az árok térségében a következő csoportokat különítette el valószínűsített keletkezési hőmérsékletek alapján, növekvő érettségi sorrendben (a zárójelben feltüntetett fúrások kőolajait példaként megadva): 130–135 °C (Pf–114, A–119), 150–155 °C (Psz–29, Pf–177, Mh–14), 165–170 °C (A–476), 180–190 °C (T–26, Uszi–1) és 210–215 °C (Makó–1, Makó–2, F–61, Zomb–16). A felsorolt hőmérséklettartományokhoz a Hód-I fúrásban az alábbi vitrinireflexió tartományok tartoznak: 0,63–0,66%, 0,77–0,83%, 0,90–0,93%, 1,07–1,17% és 1,67–1,75%.

A térség kőolajai három eredetjelző mutató alapján: [oleanán/hopán, C30mor+hop/C29- szterán (moretán+hopán/C29 szabályos szteránok: 4 vegyület) és prisztán/fitán] három genetikai csoportba sorolhatók.

Az első csoportba 25 olaj került (köztük 11 db algyői, 3 db szeged-móravárosi, 2 db dorozsmai, illetve az F–61, Zomb–16, Psz–29 és Pf–177 fúrásokból származók). Ezen csoport tagjaira jellemző a viszonylagosan nagy oleanán-

tartalom, ami arra utal, hogy anyakőzeteik legfeljebb felső-kréta korúak, vagy annál fiatalabbak (az oleanán felső-krétánál idősebb üledékekben nem fordul elő), és eredetükben a szárazföldi magasabb rendű növények hozzájárulása nem elhanyagolható. E csoport olajai viszonylag dúsak szteránokban, ami arra utal, hogy az olajok anyakőzeteihez az algaeredetű hozzájárulás jelentősebb, mint a bakteriális. Az 1 alatti prisztán/fitán hányados redukzív felhalmozódási körülményekre utal.

A második csoportba került 23 olajra (pl. Pf–114, Bat–70, Bat–K–63, Makó–1, Kasz–D–8, Csa–3) kisebb relatív oleanán- és szterántartalom, valamint 1 feletti (1,02–5,72) prisztán/fitán hányados jellemző. Ez arra utal, hogy kevesebb a magasabb rendű növényekből és algákból származó szerves anyag, és több a bakteriális hozzájárulás, mint az előző csoport esetében, a felhalmozódás pedig

mérsékelt oxidatív (pr/f=1–2: 17 olaj), illetve oxidatív (pr/f>2: 6 olaj) körülmények között zajlott le.

A harmadik csoportba csak négy olaj (Mh–14, T–26, Uszi–1 Makó–2) került. Ezek az olajok nem tartalmaznak oleanánt, ami arra utal, hogy mezozoos eredetűek is lehetnek. Mérsékelt oxidatív körülmények között rakódtak le, a bakteriális hozzájárulás esetükben jelentősebb, mint az alga eredetű.

Az első csoport olajai nem hasonlítanak a Hód-I vizsgált magmintáihoz a fenti mutatók alapján (köztük: a Pusztaföldvár Földvár-alsó és a Pusztaszőlős Szőlős-szint olajai sem). A második és harmadik csoportból a Pusztaföldvár, Tótkomlós, Csanádapáca Békés-szintbeli és a Battonya, Mezőhegyes, Tótkomlós Battonya-szintbeli olajok valószínűleg az árokból származnak.

### 3D medencemodell

A keletkezett szénhidrogén-mennyiségek pontos becsléséhez ismerni kell az effektív anyakőzetek érésének alakulását az idő függvényében, vagy más néven az érés-

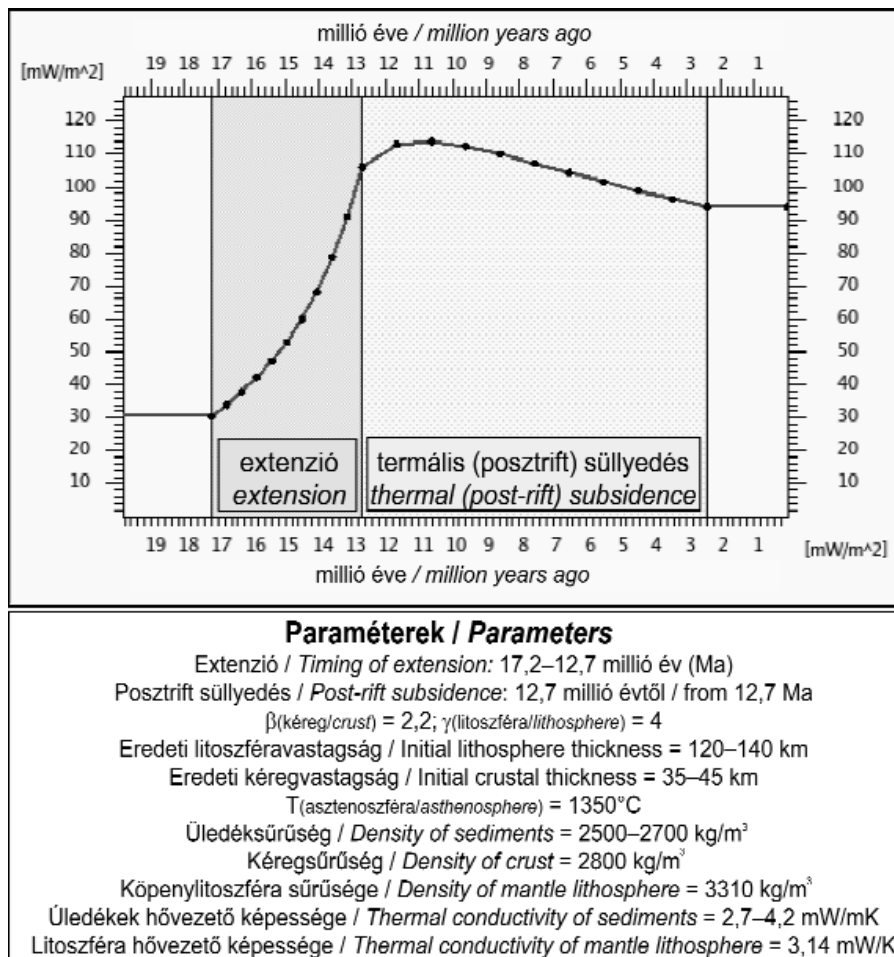


történetet, melyet a medencét kitöltő kőzetek tulajdonságai (hővezetőképesség, hőkapacitás, radioaktív hőtermelés) mellett az üledékgyűjtőn átáramló hőmennyiség határoz meg. A kalkulációk elvégezhetőek külön-külön minden egyes fúrásban egydimenziós, illetve az egész modellterfogaatra vonatkozóan egy igényesebb előkészítést kívánó, de pontosabb becslést kínáló háromdimenziós alkalmazást használva.

A modellterfogaton átáramló hőmennyiséget az üledékes öszlet, valamint a felső kéreg felszínén uralkodó hőmérsékleti viszonyok határozzák meg. Mindkét határfeltétel kalkulációjához megoldást kínál a modellezés során alkalmazott PetroMod szoftvercsomag. A felszíni hőmérsékleteket a paleo-földrajzi szélességekben bekövetkezett változás alapján származtatja (WYGRALA 1989), míg a kéreg felszínének hőmérsékletét és a bazális hőáramot a módosított McKENZIE-modell alapján, a kéreg és a felső köpeny megnyúlásának figyelembe vételével számolja (MCKENZIE 1978, JARVIS & MCKENZIE 1980, HELLINGER & SCLATER 1983) a riftesedési és a termális süllyedés szakaszainak elkülönítésével (7. ábra).

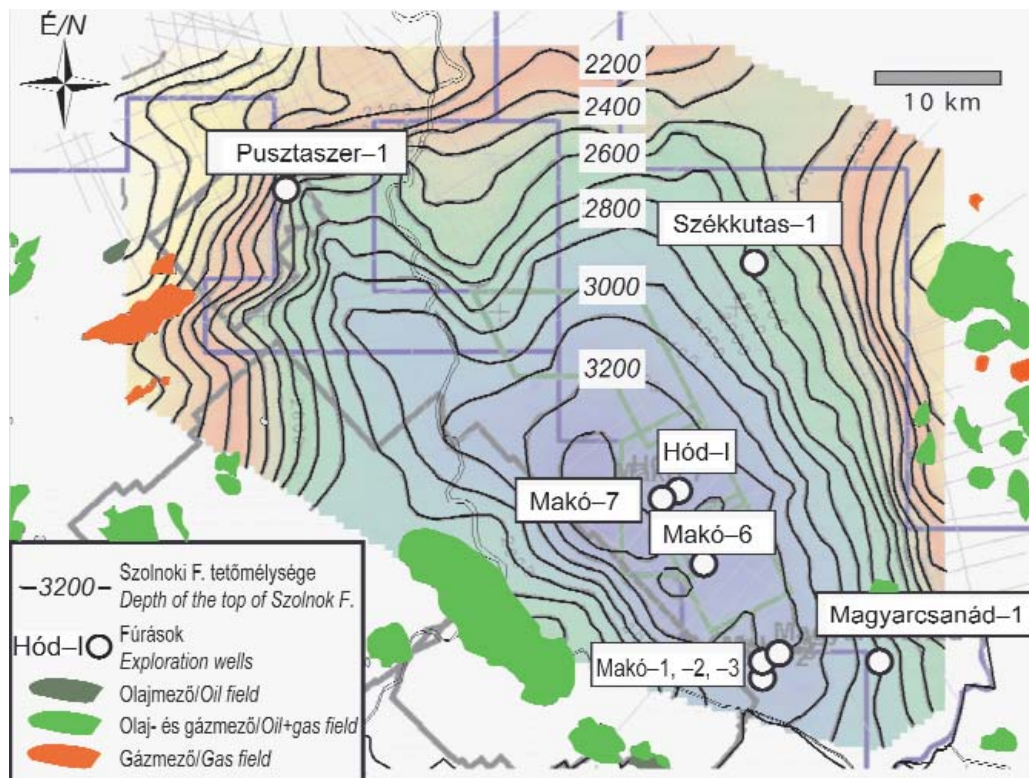
A háromdimenziós medencemodell publikált térképek alapján készült. A Makói-árok központi területeiről a SCOTIA GROUP (2006) jelentése szolgáltatja a 2D és 3D szeizmika alapján készült nagy felbontású mélységtérképeket a Szolnoki Formációról (8. ábra), az úgynevezett Felső Endrőd (Nagykörüi Tagozat) és Alsó Endrőd (Tótkomlói Tagozat) „formációkról”, a Dorozsmai Tagozattal összevont Békési Konglomerátumról, valamint a korábban badeninek, ma már alsó-pannóniai korúnak vélt „Makói Tagozat”-ról.

A MÁFI egész országot lefedő 1987-es alaptérképei (tercier aljzatmélység, alsó-pannóniai és felső-pannóniai talpmélység), valamint a kvarter vastagságtérkép (RÓNAI 1985, 1986) alapján a 3D medencemodell a Makói-árkon kívüli területekre is kiterjeszthetővé vált. A vizsgált területen levő, publikált rétegsorral rendelkező 160 mélyfúrás segítségével lehetett létrehozni az 1 km-es felbontású 3D medencemodell, amely összesen 15 vastagságtérképet tartalmaz, a Kiskunhalasi-árokban bizonyítottan meglévő kárpáti üledékektől egészen a kvarterig (1. és 9. ábra). A Pannon-tó progradációval történő feltöltődését MAGYAR

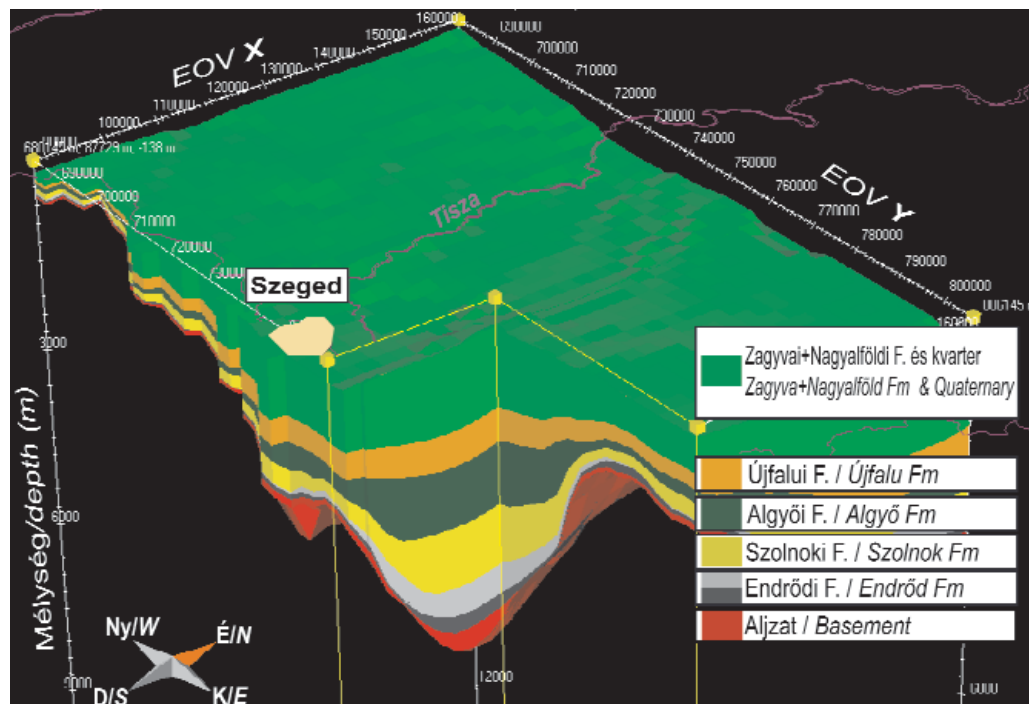


7. ábra. A neogén extenzió hőtörténetének modellezési paramétereit (DÖVÉNYI & HORVÁTH 1988, DÖVÉNYI 1994 és LENKEY 1999 nyomán), és a modell szerinti hőáram alakulása a medencefejlődés során

Figure 7. Parameters for modelling the thermal evolution during Neogene extension (based on DÖVÉNYI & HORVÁTH 1988, DÖVÉNYI 1994 és LENKEY 1999), with a diagram showing the variations of the calculated heat flow in the course of basin evolution



8. ábra. A Szolnoki Formáció tetőtérképe méterben a SCOTIA GROUP (2006) jelentése alapján, a fontosabb fúrások feltüntetésével  
 Figure 8. Depth map of the top of Szolnok Formation in metres, based on the report of SCOTIA GROUP (2006), with the most important hydrocarbon exploration wells of the area



9. ábra. A Makói-árok 3D medence-modelljének perspektívikus képe  
 Figure 9. Perspective view of the Makó Trough 3D basin model

(2009) térképei alapján lehetett a területen időben és térben rekonstruálni (4. ábra), felhasználva, hogy szeizmikus szelvények tanúsága szerint a progradáló lejtő szélessége egy-egy adott időpillanatban 10 km körül lehetett. UHRIN et

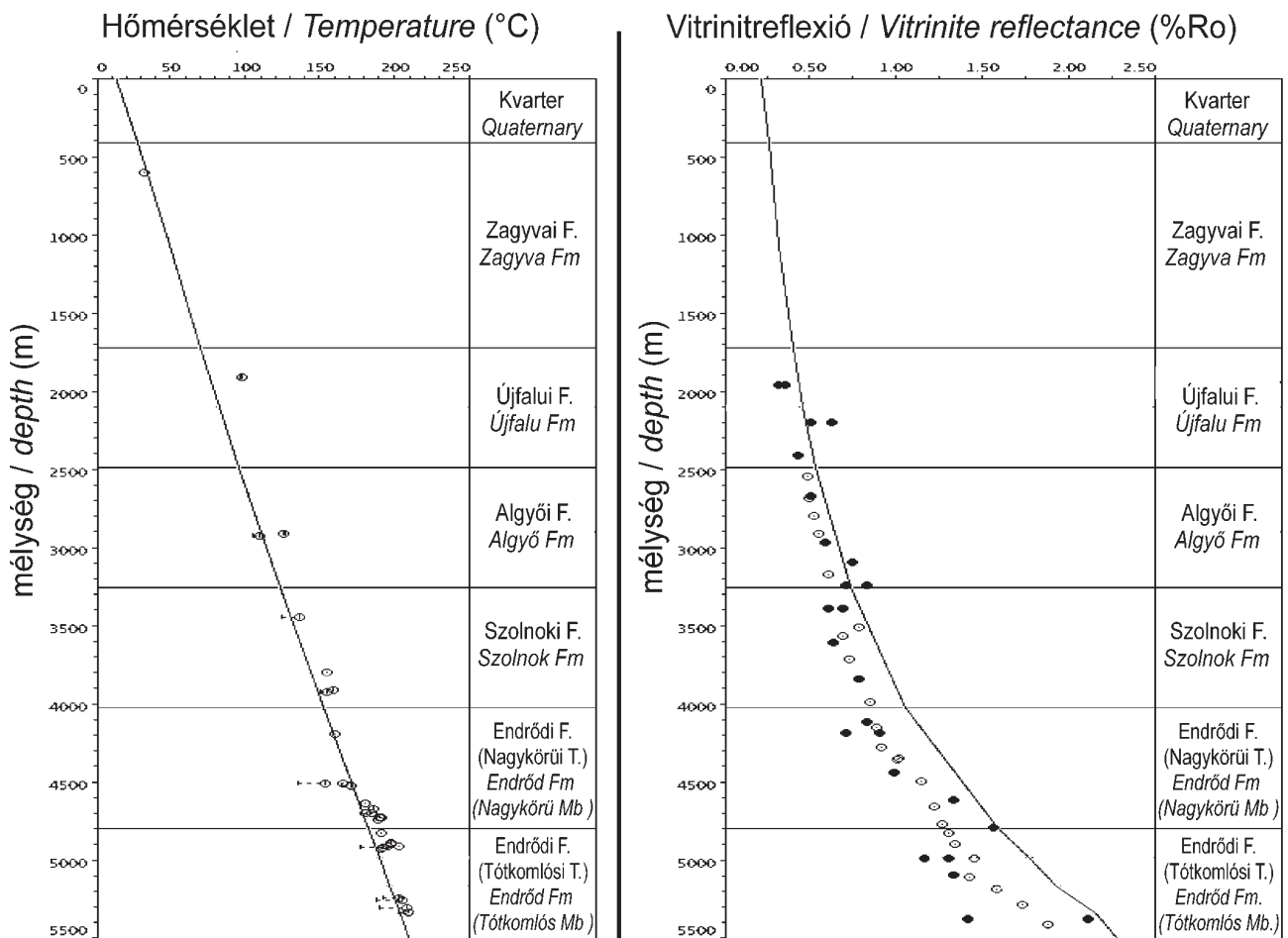
al. (2009b) dunántúli szeizmikus értelmezéseinek analógiája alapján feltételeztük, hogy az első turbiditák akkor jelentek meg, amikor a lejtő az adott területet 50–60 km-re megközelítette.

A Makói-árok 3D modelljének süllyedés-, hő- és éréstörténeti szimulációját a PetroMod szoftvercsomaggal végeztük el, melyben a vastagság-, fácies- és paleo-víz-mélység térképek alkották a bemenő adatokat a fúrások rétegsorai alapján meghatározott fáciestérképekkel együtt. A szoftver a jelenlegi geometria, valamint a modellhez hozzárendelt geológiai korok alapján a SZALAY (1982, 1988) által szerkesztett kompaktációs görbéket felhasználva dekompaktálta a rétegsort, majd időben előrehaladva az üledékek lerakódását modellezve számította ki a jelenlegi vastagságokat, valamint porozitást, permeabilitást és nyomásértékeket.

A hő- és éréstörténeti modellezéshez ismert volt a felszínen és fúrásokban mérhető nagy hőáram (DÖVÉNYI 1994), és a jelenlegi felszíni éves átlagos középhőmérséklet (12 °C). A területen a Pannon-medence egészéhez hasonlóan az átlagosnál nagyobb a hőáram: a vastag pliocén és kvarter üledékek által hűtött területeken, mint a Tisza és Maros jelenlegi lefutását jelentő területeken, a felszíni mért hőáram 70–80 mW/m<sup>2</sup>, a pliocén inverzióval jellemezhető területeken (Battonya–Pusztaföldvári- és Algyői-hát, Kiskunság) pedig a 100–110 mW/m<sup>2</sup> értéket is elérheti.

A hő- és éréstörténet kalkulációja DÖVÉNYI & HORVÁTH (1988), DÖVÉNYI (1994), ROYDEN & DÖVÉNYI (1988) és LENKEY (1999) publikált adatainak a figyelembe vételével történt (7. ábra), a McKenzie-féle módosított kéregmegnyúlási modell alkalmazásával (JARVIS & MCKENZIE 1980). Az aktív riftesedés feltehetőleg 17,2 és 12,7 millió év között zajlott le, amit poszt-rift termális süllyedés, majd 5 millió évtől enyhe medenceinverzió követett. A kéregmegnyúlást 2,2-szeresnek, a felsőköpeny megnyúlását 4-szeresnek véve adódott a legmegfelelőbb egyezés a mért és számított hőmérséklet, illetve a vitrinitreflexió adatok között.

Ezen paraméterek alapján a középső-miocénig uralkodó átlagos hőáram gyorsan emelkedett 100–110 mW/m<sup>2</sup>-re a középső-miocén során, a maximumot körülbelül 12–10 millió év között érte el, majd lassan csökkenni kezdett. A jelenlegi hőáram nem sokkal kisebb a riftesedés során elért maximumnál. A legjobb egyezést a mért és modellezett vitrinitreflexió értékek között a Hód-1 fúrásban 80 mW/m<sup>2</sup>, az Üllés-DK-1 fúrásban 110 mW/m<sup>2</sup> jelenlegi hőáram értékekkel lehetett elérni (10. ábra).



10. ábra. A Hód-1 fúrás mért (pontok) és számított (folytonos vonal) hőmérséklet (Celsius) és vitrinitreflexió (%Ro) értékei  
 Figure 10. Measured (points) and calculated (lines) of present-day temperature (Celsius) and vitrinitereflexion (%Ro) in the Hód-1 well



## Eredmények

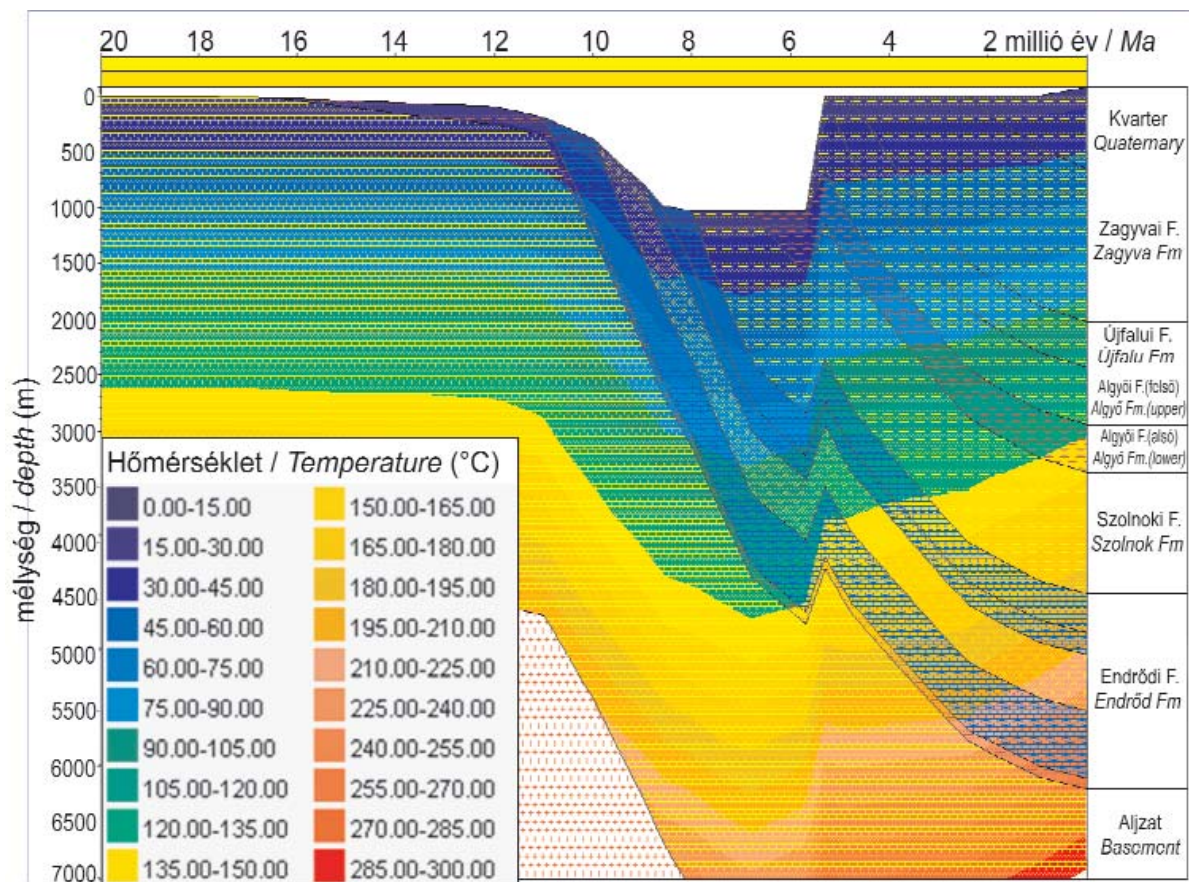
### Süllyedés- és éréstörténet, jelenlegi érettség

A háromdimenziós medencemodell szerint az árok központi részein (pl. Hód–1 fúrás és környéke) 17 és 12 millió év között nagyon sekély vízi, illetve szárazföldi körülmények uralkodtak, és üledékhézag keletkezett. 12 millió évtől kezdődően egyre nagyobb vízmélység mellett előbb az Endrődi Márga „Makói Tagozata”, majd az Algyői-hátról áthalmozott Békési Konglomerátummal összefogazódó Dorozsmai Tagozat rakódott le, melyet végül a Tótkomlói Tagozat 800–1000 m-es vízmélységben leülepedett mészmárgái követtek. A területet 6,8 millió évvel ezelőtt érthette el a progradáló sorozat (az Algyői Formáció deltalejtője) Pusztaszer térségében. Modellünk szerint a progradáló sorozat lerakódása 5,7 millió évvel ezelőtt elérte Mindszent vidékét, majd 5,3 millió évvel ezelőtt Makó környékét. Ezt minden bizonnyal 1–2 millió évvel megelőzte az Endrődi Formáció Nagykörüi Tagozatába tartozó agyagmárgák, majd a Szolnoki Formációba sorolt vastag finomhomokos turbiditék képződésének kezdete. A deltalejtő képződésének lerakódása után az Újfalui Formáció deltafront- és

deltasíkság-homokjai rakódtak le, végleg feltöltve a Pannon-tó e részét (4. ábra).

Az Endrődi Márga potenciális anyaközetetei előbb a Szolnoki Formáció temette be és juttatta az olajképződési zónába 8 és 6 millió év között, majd a vastag Újfalui, Zagyvai és Nagyalföldi Formáció lerakódásának eredményeként került a gázképződési zónába 5 millió évtől kezdődően. Az Endrődi Formáció legalsó részei jelenleg 250–270 °C hőmérsékleten, a szárazgáz-képződési zóna alsó határán helyezkednek el az árok legmélyén (11. ábra).

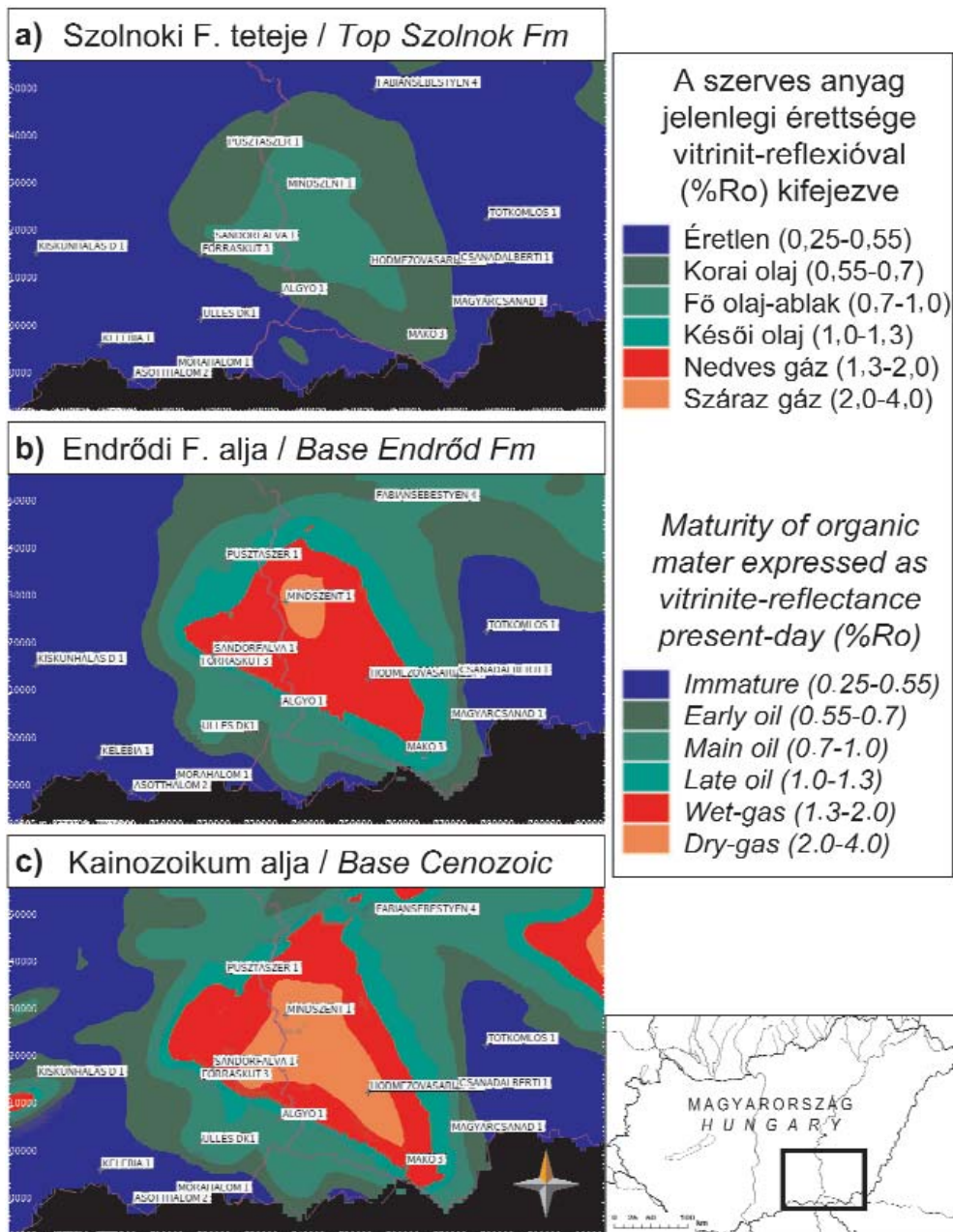
A jelenlegi hőmérséklet- és érettségjelző adatokhoz kalibrált modell számított paraméterei alapján meg lehetett szerkeszteni az effektív anyaközetretek szerves anyagának jelenlegi érettségét szemléltető térképeket (12. ábra). A Makói-árok központi részein az árkot kitöltő legidősebb Endrődi Márga alja már elérte a szárazgáz-képződési zónát. A szárnyakon, ugyanezen képződés a nedvesgáz-, az Algyői- és a Battonya–Pusztaföldvár-háton pedig az olajképződési zónában található. Az Endrődi Márga teteje csak az árok központi részein van a szárazgáz-képződés zónájában, az Algyői-háton, valamint a Pusztaszer–1, Fábiánsebestyén–4 és Magyarcsanak–1 fúrások körzetében jelenleg még az olajképződési zónában található. A Szolnoki Formáció csak a Makói-árok legmélyebb részein van az olajképződési zónában, a többi



11. ábra. A Hód-1 fúrás betemetődés- és süllyedéstörténete a hőmérséklet (Celsius), illetve az olaj- (sárga) és gázképződési zónák (piros) feltüntetésével

Figure 11. Burial and subsidence history of the Hód-1 well with the indication of temperatures (C) and the oil (in yellow)- and gas-generation (in red) zones





12. ábra. A szerves anyag jelenlegi érettsége a vizsgált területen: a) a Szolnoki Formáció tetején b) az Endrődi Formáció talpán c) a kainozoos ősszlet talpán

Figure 12. Maps showing the present-day calculated maturity at the a) top of Szolnok Formation b) base of Endrőd Formation c) base of Cenozoic succession

területen éretlen. A fiatalabb formációk mind éretlenek, így termikus úton nem keletkezhetett belőlük szénhidrogén. Az eredmények összhangban vannak HORVÁTH et al. (1988) eredményeivel.

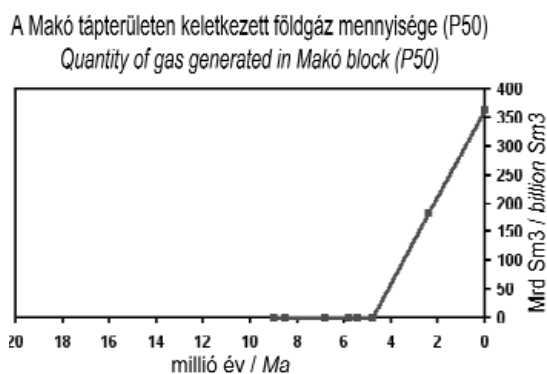
#### Keletkezett szénhidrogén-mennyiségek

Mivel a mért TOC- és HI-értékek szórása jelentős, egyszerű átlagolásuk nem adhat megfelelő értékeket, tehát a TOC-, HI-, és kőzetvastagság-értékek eloszlását is figyelembe kell vennünk. A háromszög- vagy lognormális-el-

oszlást feltételező probabilisztikus számítás jobban figyelembe veszi a természetes változékonyságot, és ezeket a Monte Carlo-szimuláció révén kezelni, így pontosabb becslést tesz lehetővé. A 16 fúrásból rendelkezésre álló TOC- és Rock-Eval-értékek, valamint a terület fejlődéstörténeti áttekintése alapján TOC-térképeket lehetett szerkeszteni az Endrődi Formációra és annak Makói, Dorozsmai, Tótkomlói és Nagykörűi Tagozataira, figyelembe véve a mért TOC-adatok között laterálisan és vertikálisan mutató különbségeket. A legnagyobb becslt eredeti éretlen TOC-értékekkel a „Makó Tagozat” rendelkezhetett, de valószínűleg csak az árok központi részein (Hód-1 és

Makó–7 fúrások), hiszen a többi fúrás TOC-átlagai jóval kisebbek (Fábiánsebestyén–3 és –4, Szentes-ÉK–1). Figyelembe kell vennünk azonban azt is, hogy a Hód–I és a Makó–7 fúrásokban harántolt Makói Tagozat mintáin mért TOC-tartalom egy meg nem becsülhető hányada szilárd bitumenhez kötött.

Számításainkban azon a területen becsültük meg a feltételezett anyagozetből, az Endrődi Márgából keletkezett földgáz mennyiségét, amelyik a TXM által megadott 1200 milliárd  $\text{Sm}^3$ -nyi kitermelhető készletet tartalmazhatta, azaz a három ismert területű bányatelken (2. ábra). A TXM adata, illetve saját számítások alapján a Mindszent bányatelek 210  $\text{km}^2$ , a Tisza 955  $\text{km}^2$ , a Makó 1374  $\text{km}^2$  területű.



Keletkezett földgázmennyiség területenként (P50)  
Quantity of gas generated in each block (P50)

|           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| Makó      | 350 Mrd/billion $\text{Sm}^3$ |
| Tisza     | 80 Mrd/billion $\text{Sm}^3$  |
| Mindszent | 60 Mrd/billion $\text{Sm}^3$  |

13. ábra. A Makó tápterületen 50%-os valószínűséggel (P50) keletkezett földgáz becsült mennyisége a medencefejlődés során (grafikon) és az egyes tápterületeken napjainkig keletkezett földgázmennyiség

Figure 13. Estimated quantity of gas generated with probability 50% (P50) in the Makó block in the course of basin evolution (graph) and the quantity of gas generated in each block with P50 until present-day

Száz szimulációs futtatás alapján a probabilisztikus, Monte Carlo-módszer szerinti véletlen mintavételezéssel történő térfogatszámítás szerint a teljes keletkezett gázmennyiség (a térfogatot légköri nyomáson megadva):

a) 90%-os valószínűséggel (P90) legalább 70 milliárd  $\text{Sm}^3$

b) 50%-os valószínűséggel (P50) legalább 490 milliárd  $\text{Sm}^3$

c) a futtatások átlaga alapján 650 milliárd  $\text{Sm}^3$

d) 10%-os valószínűséggel (P10) pedig legalább 6000 milliárd  $\text{Sm}^3$

a három tápterületen összesen (13. ábra).

A keletkezett kőolaj mennyisége nagyon bizonytalan, hiszen főleg a Makói és Tótkomlói Tagozatok csak becsülhető arányú olajképző kerogénjéből keletkezhetett, mintegy 100–200 millió  $\text{Sm}^3$ , amelynek egy része elmigrálhatott, és csak 20–30%-a maradhatott a kőzetben és krakkolódhatott.

### A medenceközponti földgáz (BCGA) pórusterfogati jellemzői

A rendelkezésre álló vastagság- és mélységtérképek alapján nemcsak a keletkezett gázmennyiséget lehetett kiszámolni, hanem a Makói-árokban rendelkezésre álló szabad pórusteret is, amelynek sikeresen kitermelhető medenceközpontú földgáz-előfordulás esetén a földgáznak teljesen ki kell töltenie — ellenkező esetben a kis koncentrációjú földgázt nem lehet kitermelni. A szabad pórusterfogatot szintén a három bányatelek területére számoltuk ki, egyszerű térfogati számítással:

szabad pórusterfogot ( $\text{Sm}^3$  légköri nyomáson) = bruttó kőzet-térfogat (vastagságtérkép alapján)  $\times$  net/grossz (a homok aránya a formációban)  $\times$  átlagos porozitás (%)  $\times$  (1–tapadó víztelítettség)  $\times$  gázexpanzió.

A Makói-árok három bányatelkére vonatkozó kőzet- és szabad pórusterfogot számítások eredményei a 2. táblázatban láthatók. A Szolnoki Formáció átlagosan közel 1000 m-es vastagsága miatt csak a Szolnoki Formáció homokjaiban levő szabad póruster nagysága közel 14 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ ; a három

2. táblázat. A feltételezett medenceközponti földgáz-előfordulás bruttó kőzet- és pórusterfogatának alapadatai (bruttó kőzettérfogat, net/grossz, porozitás, kötött víztelítettség, gázexpanziós faktor) a SCOTIA GROUP (2006) jelentése alapján

Table 2. Data of the the presumed basin-centered gas accumulation: gross rock volume, net/gross, porosity, water saturation, expansion factor based on the report of SCOTIA GROUP (2006)

| Egység (A Scotia-jelentés térképei alapján)                      | „Szolnok”                                       | „Felső Endrőd”                                 | „Alsó Endrőd”                                 | „Békési Konglomerátum”                       | Szinrift („Makó Tagozat”)                    |
|--|---|--|---|--|--|
| Terület ( $\text{km}^2$ )  | 2539  | 2539   | 2539  | 2539   | 2539   |
| Bruttó kőzet-térfogat (milliárd $\text{m}^3$ )                   | 1931  | 1075   | 854   | 177  | 451  |
| Net/grossz (a homok aránya)                                      | 0,4   | 0,2  | 0,2   | 0,65   | 0,7  |
| Porozitás  | 0,1 (homok)<br>0,07 (agyag)                     | 0,14 (homok)<br>0,07 (agyag)                   | 0,14 (homok)<br>0,07 (agyag)                  | 0,14 (homok)<br>0,07 (agyag)                 | 0,07 (homok)<br>0,05 (agyag)                 |
| Kötött víztelítettség  | 0,4 (homok)<br>0,7 (agyag)                      | 0,35 (homok)<br>0,7 (agyag)                    | 0,35 (homok)<br>0,7 (agyag)                   | 0,3 (homok)<br>0,7 (agyag)                   | 0,3 (homok)<br>0,7 (agyag)                   |
| Gáz-expanziós faktor   | 300   | 300  | 330   | 340  | 345  |
| Szabad pórusterfogot (Milliárd $\text{Sm}^3$ , légköri nyomáson) | 13904 (homok)<br>7300 (agyag)<br>21204 (teljes) | 5870 (homok)<br>5400 (agyag)<br>11270 (teljes) | 5133 (homok)<br>4738 (agyag)<br>9871 (teljes) | 3840 (homok)<br>443 (agyag)<br>4283 (teljes) | 5343 (homok)<br>700 (agyag)<br>6043 (teljes) |

bányatelken található Szolnoki, Felső és Alsó Endrődi, Békési Konglomerátum és „szinrift” számolt szabad pórusterfogata csak a homokrétegekben összesen 34 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ ; a homok és agyagrétegekben együttvéve akár 52 000 milliárd  $\text{Sm}^3$  is lehet. Mivel a LAW (2002) modell szerinti medenceközponti földgáz-előfordulás esetén az összes szabad pórusterfogatot ki van töltve gázzal, ennyi földgáznak kellett volna képződnie a tápterületen.

## Diszkusszió

### *A keletkezett szénhidrogén és a pórusterfogot összevetése*

A Makói-árokban található Mindszent, Tisza és Makó bányatelkek tápterületein összesen 490–650 milliárd  $\text{Sm}^3$  földgáz keletkezhetett főleg az Endrődi Formáció Tótkomlói és Makó Tagozataiból. Ezzel szemben csak a Szolnoki Formációban található homokrétegek szabad pórusterfogata 14 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ , viszont a Szolnoki, Felső és Alsó Endrődi, Békési Konglomerátum és „szinrift” számolt szabad pórusterfogata csak a homokrétegekben összesen 34 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ ; a homok és agyagrétegekben együttvéve akár 52 000 milliárd  $\text{Sm}^3$  is lehet. Tehát látható, hogy a rendelkezésre álló szabad pórusterfogathoz ennél sokkal nagyobb mennyiségű földgázra lenne szükség. Modell-számításaink szerint a kellő mennyiségnek csupán 5–10%-a keletkezhetett.

### *A Makói-árok összehasonlítása gazdaságosan termeltethető shale-gáz rendszerekkel*

Az eddig feltárt és gazdaságosan kitermelhető *shale-gáz* rendszerek (pl. Barnett, Haynesville, Marcellus, Motney) az USA-ban és Kanadában mindig bizonyíthatóan nagy eredeti TOC (TOCo) értékeket tartalmaznak: az átlagos eredeti TOC mindig 2% feletti, de jellemzően inkább 4–6%. A kerogénjük eredetileg olajképző, II. típusú, és az eredeti HI (HIo) nagyobb, mint 250 mg HC/g TOC. A shale-gáz ugyanis az eredetileg olajképző kerogénből keletkezett, ám a rendszert elhagyni képtelen, adszorbeált olaj termikus krakkolódásából létrejött gázt jelenti. A gazdaságosságához elengedhetetlen még a repeszhetőséghez szükséges 20 m-nél nagyobb vastagság, a nagy kvarc és kis duzzadóagyagtartalom, valamint az invertált helyzet — a fúrások gazdaságossága miatt (JARVIE et al. 2006).

Az Algyői és Szolnoki Formációk nagyon kis átlagos TOC-értékekkel rendelkeznek, nem tekinthetők anyakőzetnek, így agyag-gáz rendszereknek sem.

Az Endrődi Formáció agyag- és mészmárga részei, valamint a csak a Makó-7-es fúrásban feltárt szin-rift „Makói Tagozat” átlagosan kis (0,75–0,95%), de helyenként nagyobb (1,3–1,5%) eredeti TOC-t (TOCo) tartalmazott, viszont a kerogén nagy része eredetileg is főleg szárazföldi növényi eredetű, gázképző kerogén lehetett a területen előforduló egyéb fúrások (pl. Fábianszabvány-4) adatai

szerint. A Makó-7 fúrás alapján az eredetileg olajképző kerogén mennyisége a Makói Tagozat felső 100 m vastag részén éri el a maximumot, 20–30%-ot. Tehát elvileg ez a 100–150 m vastag egység jelenthet egy potenciális agyag-gáz előfordulást a Makói-árokban. Azonban az Endrődi Márgában átlagosan nagy a karbonát-, és a duzzadóagyagtartalom, valamint a hőmérséklet és a nyomás, ami rendkívül nehéz körülményeket támaszt a gazdaságos kitermeléshez. A SCOTIA GROUP (2006) jelentése és az általunk végzett számítások szerint is a három említett bányatelken a „Makó Tagozat”-ban esetlegesen előforduló agyag-gáz kitermelhető készlete csupán 42–750 milliárd  $\text{Sm}^3$  lehet 50%-os becslésű földtani készletszámítás alapján (SCOTIA GROUP 2006, 2008).

### *A Makói-árok és a „tight-gas” rendszerek*

Az amerikai és kanadai ismert, gazdaságosan kitermelhető „kötött-homokkő tárolókőzetű gáztelepek” (tight-gas) a Makói-árok alsó-pannóniai homokköveihez hasonlóan szintén kis porozitással (<14%) és permeabilitással (<0,1 mD), valamint abnormális nyomással rendelkeznek, viszont mindig nagy a gáztelítettségük (a szabad pórusterfogathoz 80–60%-a). A korábbi elgondolásokkal (LAW 2002) ellentétben a telepek nem töltik ki a teljes üledéktér fogatot, hanem kis amplitúdójú antiklinálisokban, vagy erősen diagenetizált, vetőkkel szabdaltszerű rétegtani csapdáknál találhatók. Tehát a földgáz koncentráltan, a gáz-víz határ felett, egy konvencionális csapdában van jelen (CUMELLA et al. 2008, HARRIS et al. 2009). Nem igaz tehát — szemben LAW (2002) korábbi állításával — hogy nincsen alattuk víztartó réteg. A jelenleg is termelő rendszerek esetében azok invertált helyzete gazdaságosabbá teszi a költséges fúrás és rétegrepszést.

A Makói-árok Zagyvai és Újfalu Formációjának homokkövei igen vastagok, ám jól kitermelhető csapdát magában az árokban nem alkotnak, nincsen tehát a keletkezett földgázt fókuszáló földtani struktúra, amelyhez kapcsolódva a földgáz felhalmozódhatna. A Szolnoki Formáció homokjai igen nagy vastagságot és térfogatot reprezentálnak, amelyek nem lehetnek földgázzal telítettek (lásd térfogati számításaink eredményeit), hiszen korántsem keletkezett annyi földgáz a tápterületeken, amennyire szükség lett volna a csak a Szolnoki Formáció homok rétegeiben levő 14 000 milliárd  $\text{Sm}^3$ -nyi szabad pórusterfogathoz való feltöltéséhez. A karotázsszelvényeken is látszik (pl. Fábianszabvány-4, Makó-3, Hód-1), hogy szabad víztelítettség van a homokrétegekben, a gáztelítettség csekély, tehát nem lehet sikeres belőlük a gáztermelés, még repesztés után sem.

## Következtetések

A Makói-árok neogén kőzetei főleg gyenge minőségű, gázképző anyakőzetek. A 3D medencemodellrekonstruálta a terület fejlődéstörténetét, a süllyedés-, hő- és éréstörténetet. Az anyakőzetek térfogati probabilitásos



elemzésével sikerült kiszámolni a keletkezett szénhidrogének mennyiségét. A Makói-árokban, a három bányatelek területén, 490–650 milliárd Sm<sup>3</sup> földgáz keletkezhetett, de ez messze nem elég ahhoz, hogy az összes rendelkezésre álló pórusteret kitöltve „BCGA” (Basin Centered Gas Accumulation) jöhessen létre. Az Endrődi és Szolnoki Formáció homokjainak összvastagsága és térfogata igen nagy, ám ezek a homokok nem lehetnek földgázzal telítettek, hiszen korántsem keletkezett annyi földgáz a tápterületeken,

amennyi feltölthetné a 32 000–54 000 milliárd Sm<sup>3</sup>-nyi szabad pórusteret.

### Köszönetnyilvánítás

Munkánk elkészítésében nagy segítséget nyújtottak DÖVÉNYI Péter termikus adatbázisának adatai, és POGÁCSÁS György javaslatai és segítsége.

### Irodalom — References

- BERGERAT, F. 1989: From pull-apart to the rifting process: the formation of the Pannonian Basin. — *Tectonophysics* **157**, 271–280.
- BÉRCZI, I. 1988: Preliminary sedimentological investigation of a Neogene depression in Great Hungarian Plain. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: a study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 107–116.
- BÉRCZI, I., HÁMOR, G., JÁMBOR, Á. & SZENTGYÖRGYI, K. 1988: Neogene sedimentation in Hungary. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: a study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 57–69.
- CUMELLA, S. P., SHANLEY, K. W. & CAMP, W. K. 2008: Understanding, exploring and developing tight-gas sands. — *2005 Vail Hedberg Conference, AAPG Hedberg Series*, 250 p.
- DÖVÉNYI P. 1994: A Pannon-medence litoszférájának geofizikai vizsgálata. — *Doktori értekezés*, ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest, 127 p.
- DÖVÉNYI, P. & HORVÁTH, F. 1988: A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data for the Pannonian basin. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 195–233.
- GAJDOS I., PAP S., SOMFAI A. & VÖLGYI L. 1983: *Az alföldi pannóniai (s.l.) képződmények litosztratógráfiai egységei*. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 70 p.
- HÁMOR, G., POGÁCSÁS, Gy. & JÁMBOR, Á. 2001: Paleogeographic/structural evolutionary stages and the related volcanism of the Carpathian-Pannonian Region. — *Acta Geologica Hungarica* **44**, 193–222.
- HARRIS, N. B., TING-WEI, K., PHILP, R. P., STROKER, T. & GOVERT, A. 2009: Natural gas compositions from large tight-gas-sand Fields in the Rocky Mountains: A Clue to How these Reservoirs Fill. — *AAPG Search and Discover Article #90093, 2009 GCAGS 59th Annual Meeting, Shreveport, Louisiana*.
- HELLINGER, S. J. & SCLATER, J. G. 1983: Some comments on two-layer extensional models for the evolution of sedimentary basins. — *Journal of Geophysical Research* **88**, 8251–8270.
- HETÉNYI, M. 1992: Organic geochemistry and hydrocarbon potential of Neogene sedimentary rocks in Hungary. — *Journal of Petroleum Geology* **15**, 87–96.
- HETÉNYI, M., KONCZ, I. & SZALAY, Á. 1993: Organic geochemical evaluation of the Makó–3 borehole. — *Acta Geologica Hungarica* **36**, 211–222.
- HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1984: The Pannonian basement: extension and subsidence of an Alpine orogene. — *Acta Geologica Hungarica* **27**, 147–154.
- HORVÁTH, F. 1988: Neotectonic behavior of the Alpine-Mediterranean region. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 49–57.
- HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZALAY, Á. & ROYDEN, L. H. 1988: Subsidence, thermal and maturation history of the Great Hungarian Plain. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 355–372.
- JARVIE, D. M., HILL, R. J., RUBLE, T. E. & POLLASTRO, R. M. 2006: Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment. — *AAPG Bulletin* **91/4**, 475–499.
- JARVIS, G. T. & MCKENZIE, D. 1980: Sedimentary basin information with finite extension rates. — *Earth and Planetary Science Letters* **48**, 42–52.
- JUHÁSZ Gy. 1992: A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. — *Földtani Közlemények* **122**, 133–165.
- JUHÁSZ Gy., POGÁCSÁS Gy., MAGYAR I. & VAKARCS G. 2006: Integrált sztratógráfiai és fejlődéstörténeti vizsgálatok az Alföld pannóniai s.l. rétegsorában. — *Földtani Közlemények* **136**, 51–86.
- JUHÁSZ Gy., POGÁCSÁS, Gy. & MAGYAR, I. 2007a: Óriáskanyon-rendszer szeli át a pannóniai üledékeket? — *Földtani Közlemények* **137**, 307–326.
- JUHÁSZ, Gy., POGÁCSÁS, Gy., VAKARCS, G. & MAGYAR, I. 2007b: Tectonic vs. climatic control in the evolution of fluvio-deltaic systems in a lake basin; Eastern Pannonian Basin. — *Sedimentary Geology* **202**, 72–95.
- KONCZ, I. & ETLER, O. 1994: Origin of oil and gas occurrences in the Pliocene sediments of the Pannonian Basin, Hungary. — *Organic Geochemistry* **21**, 1069–1080.
- KONCZ, I., LUKÁCS, T. & MOLNÁR, C. S. 1999: Carbon isotopic evidences of genetic heterogeneity in a multiple-zone oil field, Hungary — *19th International Meeting on Organic Geochemistry, Istanbul, Turkey, Abstracts Part II. Istanbul, Tubitak Marmara Research Center, Earth Sciences Research Institute*, 605–606.



- LAW, B. E. 2002: Basin-centered gas systems. — *AAPG Bulletin* **86**, 1891–1919.
- LAW, B. E., EDWARDS, J., WALLIS, R., SUMPTER, M., HOYER, D., BADA, G. & HORVÁTH, A. 2009: Development of abnormally high pore pressures in a geologically young, basin centered oil and gas accumulation, Makó Trough, Hungary. — *AAPG Annual Convention and Exhibition June 7–10, 2009 Denver, Colorado*.
- LENKEY, L. 1999: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. — *PhD thesis*, Vrije Universiteit, Amsterdam, 215 p.
- MAGYAR I., JUHÁSZ Gy., SZUROMINÉ KORECZ A. & SÜTŐ-SZENTAI, M. 2001: A pannóniai Tótkomlói Mészmárga Tagozat kifejlődése és kora a Battonya–pusztaföldvári-hátság környezetében. — *Földtani Közlemények* **133**, 521–540.
- MAGYAR, I., FOGARASI, A., VAKARCS, G., BUKÓ, L. & TARI, G. 2006: The largest hydrocarbon field discovered to date in Hungary: Algyő. — In: GOLONKA, J. & PICHA, F. J. (eds): *The Carpathians and their foreland: geology and hydrocarbon resources. AAPG Memoir* **84**, 619–632.
- MAGYAR I. 2009: A Pannon-medence ősföldrajza és környezeti viszonyai a késő-miocénben őslénytani és szeizmikus rétegtani adatok alapján. — *MTA doktori értekezés*, 132 p.
- MCKENZIE, D. 1978: Some remarks on the development of sedimentary basins. — *Earth and Planetary Science Letters* **40**, 25–32.
- NEMCOK, M., POGÁCSÁS, Gy. & POSPISIL, L. 2006: Activity timing of the main tectonic systems in the Carpathian–Pannonian region in relation to the rollback destruction of the lithosphere. — In: GOLONKA, J. & PICHA, F. J. (eds): *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. AAPG Memoir* **84**, 743–766.
- POGÁCSÁS, Gy., LAKATOS, L., RÉVÉSZ, I., UJSZÁSI, K., VAKARCS, G., VÁRKONYI, L. & VÁRNAI, P. 1988: Seismic facies, electro facies and Neogene sequence chronology of the Pannonian Basin. — *Acta Geologica Hungarica* **31**, 175–207.
- POGÁCSÁS, Gy., JUHÁSZ, Gy., MÁDL-SZŐNYI, J., SIMON, Sz., LUKÁCS, Sz. & CSIZMEG, J. 2010: Wrench tectonics control on Neogene–Quaternary sedimentation along the Mid-Hungarian Mobile Belt. *Geophysical Research Abstracts* **12**, EGU2010-14602-1, EGU General Assembly 2010.
- RÓNAI A. 1985: Az Alföld negyedidőszaki földtana. — *Geol. Hung. ser. Geol.* **21**, 446 p.
- RÓNAI A. 1986: A magyarországi kvarter képződmények kifejlődése és szerkezeti helyzete. — *Földtani Közlemények* **116**, 31–43.
- ROYDEN, L. H. & DÖVÉNYI, P. 1988: Variations in extensional styles at depth across the Pannonian Basin system. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 235–257.
- RUMPLER, J. & HORVÁTH, F. 1988: Some representative seismic reflection lines from the Pannonian Basin and their structural interpretation. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 153–171.
- SAJGÓ, Cs. 1980: Hydrocarbon generation in a super-thick Neogene sequence in South-east Hungary. A study of the extractable organic matter. — In: DOUGLAS, A. G. & MAXWELL, J. R. (eds): *Advances in Organic Geochemistry 1979*. Pergamon Press, London, 103–113.
- SAJGÓ, Cs. 1984: Organic geochemistry of crude oils from south-east Hungary. — *Organic Geochemistry* **6**, 569–578.
- SAJGÓ Cs. 1993: Biológiai markervegyületek hazai alkalmazása a szénhidrogénkutatásban. — *Kandidátusi értekezés*, Budapest, 305 p.
- SAJGÓ, Cs. 2000: Assessment of generation temperatures of crude oils. — *Organic Geochemistry* **31**, 1301–1323.
- SAJGÓ, Cs., MAXWELL, J. R., MACKENZIE, A. S. 1983: Evaluation of fractionation effects during the early stages of primary migration. — *Organic Geochemistry* **5**, 65–73.
- SAJGÓ Cs., HORVÁTH A. Z. & LEFFLER, J. 1988: An organic maturation study of the Hód–I borehole, Pannonian Basin. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 297–310
- SCOTIA GROUP INC. 2006: Resource estimate Mako Trough, Hungary. — [http://www.falconoilandgas.com/pdf/sedar\\_scotia\\_mako.pdf](http://www.falconoilandgas.com/pdf/sedar_scotia_mako.pdf)
- SCOTIA GROUP INC. 2008: Resource estimate Mako Trough, Hungary. — [http://www.falconoilandgas.com/pdf/Resource%20Estimate\\_3\\_31\\_2008.pdf](http://www.falconoilandgas.com/pdf/Resource%20Estimate_3_31_2008.pdf)
- SPENCER, C. W., SZALAY, A. & TATÁR, A. 1994: Abnormal pressure and hydrocarbon migration in the Békés basin. — In: TELEKI, P. G., MATTICK, R. E. & KÓKAY, J. (eds): *Basin analysis in petroleum exploration*. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publications, 201–219.
- SZALAY, A. 1982: A rekonstrukciós szemléletű földtani kutatás lehetőségei a szénhidrogénperspektívák előrejelzésében. — *Kandidátusi értekezés*, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 146 p.
- SZALAY, A. 1988: Maturation and migration of hydrocarbons in the southeastern Pannonian Basin. — In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A study in basin evolution. AAPG Memoir* **45**, 347–354
- SZALAY, A. & KONCZ, I. 1991: Genetic relations of hydrocarbons in the Hungarian part of the Pannonian basin — In: SPENCER, A. M. (ed.): *Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons*. **1**, 317–322. Oxford University Press, Oxford, the European Association of Petroleum Geoscientists.
- SZUROMI-KORECZ, A., SÜTŐ-SZENTAI, M. & MAGYAR, I., 2004: Biostratigraphic revision of the Hód–I well: Hungary's deepest borehole failed to reach the base of the Upper Miocene Pannonian stage. — *Geologica Carpathica* **55**, 475–485.
- TARI, G., DÖVÉNYI, P., DUNKL, I., HORVÁTH, F., LENKEY, L., STEFANESCU, M., SZAFIÁN, P. & TÓTH, T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data. — In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geological Society, Special Publications* **156**, 215–250.
- UHRIN A., MAGYAR I. & SZTANÓ O. 2009a: Az aljzatdeformáció hatása a pannóniai üledékképződés menetére a Zalai-medencében. — *Földtani Közlemények* **139**, 273–282.
- UHRIN, A., MAGYAR, I. & SZTANÓ, O. 2009b: Shelf margin evolution and lake level changes in the Late Miocene Lake Pannon. — *6th Annual Conference of SEPM-CES, Kraków, Poland. Abstracts and Field Guide*, 40–41.
- VETŐ I. 1974: Beszámoló jelentés a „Szénhidrogén anyagközet vizsgálatok” tárgyú állami kutatási megbízás 1973. évi teljesítéséről. — *Kézirat*, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal Adattára.

- VETŐ, I., FÖLDVÁRI, M., SAJGÓ, Cs., THAMÓ-BOZSÓ, E. & VARGA-BARNA, Zs. 2009: Association of H<sub>2</sub>S-ankerite-late pyrite suggests active thermochemical sulphate reduction below 5 km in the Pannonian basin, S Hungary. — *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* **155**, p.171.
- WYGRALA, B. P. 1989: Integrated study of an oil field in the southern Po Basin, Italy. — *PhD thesis*, University of Cologne, Germany, 217 p.
- Kézirat beérkezett: 2010. 08. 04.