

A vertikális migráció szerepe a hazai szénhidrogén-felhalmozódások feltöltődésében

KONCZ István

koncz.istvan38@chello.hu

The role of vertical migration in the charge of known hydrocarbon fields, Hungary

Abstract

By giving a general overview of hydrocarbon charge, with special focus on vertical migration, the author of this study attempts to evaluate the relationship between the hydrocarbons generated in deeper areas of a basin and accumulated in shallower parts. The selected examples — according to the available geochemical data — confirm the vertical charge of the known fields. This shows hydrocarbons along the fault zones connecting the shallower reservoirs with the effective source rocks located at the deeper parts of the basin.

Keywords: hydrocarbons, vertical migration, Hungary

Összefoglalás

A szerző áttekintést ad a tárolók szénhidrogénnel való feltöltődését eredményező migrációról, különös tekintettel a vertikális migrációra. Megkísérli a mélyebben képződött és a medence sekély részein felhalmozódott szénhidrogének közötti kapcsolat értékelését. A kiválasztott példák — a hozzáférhető geokémiai adatok szerint — megerősítik az ismert mezők szénhidrogénnel történt vertikális feltöltődését olyan vetőzónák mentén, amelyek összekötik a sekélyebben fekvő tárolókat a medence mélyebb részein elhelyezkedő effektív anyaközetekkel.

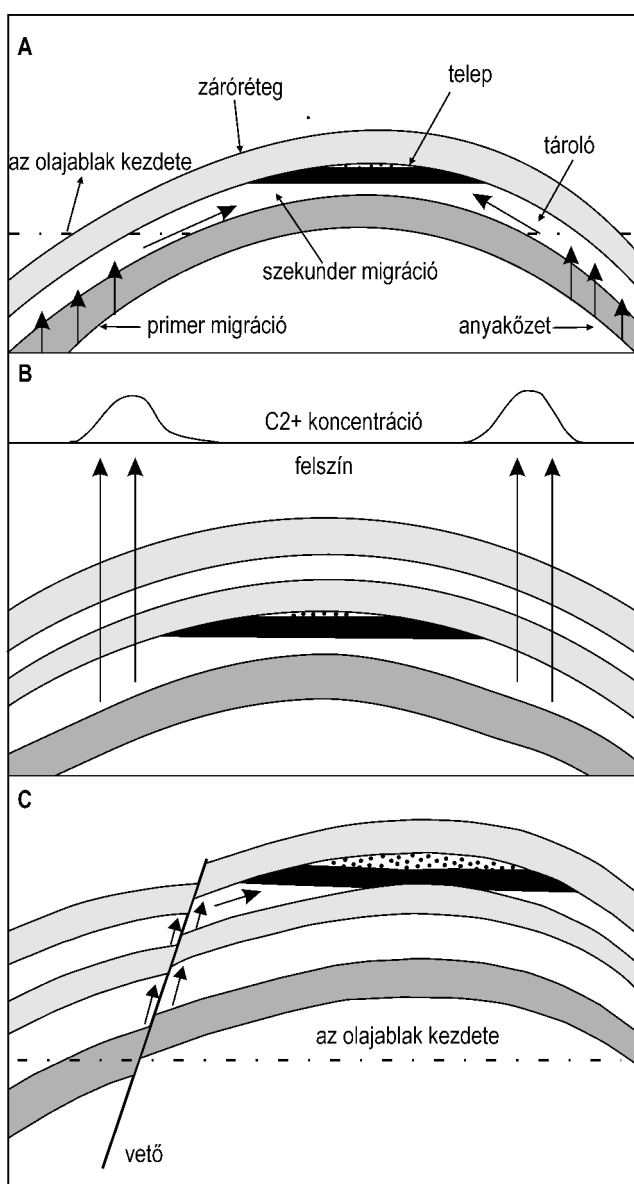
Tárgyszavak: szénhidrogének, vertikális migráció, Magyarország

Bevezetés

A migráció a szakirodalom szerint a kőolaj és a földgáz mozgását jelenti a felszín alatti kőzetekben. Ez a kifejezés abban az időszakban keletkezett, amikor felismerték, hogy a kőolaj és a földgáz nem ott képez felhalmozódásokat, telepeket, ahol létrejött: a kőolajnak és a földgáznak képződési helyéről, a kőolaj és a földgáz tárolására igen kevésbé alkalmas, tárolótérrel alig rendelkező ún. anyaközetből el kell távoznia, migrálnia, hogy a szerkezetekben felhalmozódásokat, telepeket képezhessen. A felismerés előzménye az, hogy bizonyítottá és általánosan elfogadottá vált a kőolaj és a földgáz szerves eredete. Az üledékes kőzetek szerves anyaga koncentrációjának mértékéül szolgáló szerves széntartalom (TOC — total organic carbon) a telepeket magában foglaló kőzetekben, a tárolókőzetekben igen

csekélynek bizonyult, viszont azok a finomszemcsés üledékes kőzetek, a pelitek, amelyek tárolótér hiányában nem tartalmaztak felhalmozódásokat, jelentősen nagy szerves széntartalommal rendelkeztek (HUNT & JAMIESON 1956, RONO 1958). A szerves anyag mennyisége mellett a minősége is mérvadó lehet, amelyet a Rock-Eval-analízisek eredményei között szereplő hidrogénindex jellemez, ha a szerves anyag átalakultsága még kismérvű. Nyilvánvaló, hogy érdemi mennyiségű kőolaj és földgáz ennél fogva a pelitekben képződhet, ha a pelitek az üledékképződés folyamán mélyebbre, magasabb hőmérsékletre kerülnek. Ezek a pelitek, illetve a jelentősen nagy szerves széntartalommal rendelkező kőzetek az ún. anyaközetek. Az anyaközetekben képződött szénhidrogének az ún. primer migráció során távoznak az anyaközetekkel közvetlenül érintkező durvaszemcsés, tárolótípusú kőzetekbe, amelyek

migrációs vezetősínteknek tekinthetők. A durvaszemcsés kőzetbe jutott kőolaj és földgáz az ún. szekunder migráció során kerül el a szerkezeti magaslatokhoz és/vagy a sztratigráfiai csapdákbá, ahol felhalmozódásokat képez. A szénhidrogének kőzetekben való mozgását ez esetben rétegmenti (laterális) migrációnak kell tekinteni. Az előzőekben leírt migrációs folyamatokat az 1. ábra A része szemlélteti. A szekunder migráció szállítóközege a víz, hajtóereje a földgáz és a víz, valamint a kőolaj és a víz sűrűségkülönbségéből adódik. Emellett a kőzet átteresztőképessége, a nyomásgradiens, a kőolaj és földgáz viszkozitása, valamint a kapilláris nyomás is meghatározó eleme a fluidumok mozgásképességének. A kőzet átteresztőképessége, a nyomásgradiens, a kőolaj és a földgáz viszkozitása az áramlást leíró Darcy-törvénnyel kapcsolatos, amely meghatározza



1. ábra. A migráció típusai: A – rétegmenti (laterális), B – vertikális, vetők nélkül, C – vertikális, vetőkkel

Figure 1. Migration types: A – lateral, B – vertical without faults, C – vertical with faults

azt, hogy időegység alatt mekkora térfogatú fluidum képes áthaladni egységnyi kőzetfelületen. A sűrűségkülönbségekből adódó felhajtóerő ellenében működik a kapilláris nyomás, ami ahhoz szükséges, hogy a kőzet pórusait összekötő szűkületeken átjuttassa az olajcseppeket, illetve gázbuborékokat. A kapilláris nyomás az olaj és víz, valamint a gáz és víz közötti határfelületi feszültségtől, továbbá a pórusok méreteitől függ. Az előzőekben említettek írják le a szekunder migráció folyamatait (HOBSON 1954). A kőolajjal ellentétben, amely a víztől elkülönülő fázist alkot, a földgáz és a benne lévő szénhidrogéngázok jelentős része vízben oldódik, így egyfázisú rendszert is képezhet. A felhalmozódott földgáz és kőolaj felszín felé, a nyomáscsökkenés irányában történő „elszökését” a tárolókőzetet fedő, pelitekből álló záróréteg akadályozza meg. A záró-, illetve fedőréteg pórusméretei sokkal kisebbek, mint a tárolókőzetekéi, ezért a fedőréteg kapilláris nyomása elegendően nagy ahhoz, hogy az olajcseppek és a gázbuborékok mozgását a fedőrétegen keresztül megakadályozza. A víz a benne oldott gázokkal együtt egy bizonyos mélységhatárig képes „átszivárogni” a zárórétegen. A kőolaj-, illetve földgáz-felhalmozódással érintkező víztestből a zárórétegen, illetve a zárórétegeken át a vízben oldott szénhidrogéngáz komponenseket tartalmazó rendszer képes áthatolni, sőt a felszínig jutni (1. ábra, B). Ez a rétegeket átmetsző, azaz vertikális migráció képezi az alapját a felszíni geokémiai módszerek egyikének, amely a talajon adszorbeált etán és annál nagyobb szénatomszámú gázkomponensek koncentrációjának anomálian nagy értékei révén képes jelezni a telepeket bizonyos mélységhatárig (STAHL et al. 1981). A metán koncentrációja erre azért nem alkalmas, mert a metán lehet teljes egészében vagy részben bakteriális eredetű, amely az anyakőzetek szerves anyagának hőbomlásából keletkezett, termogén eredetű szénhidrogéneket (etánt, propánt is) tartalmazó felhalmozódásoktól függetlenül jelen van a sekélyebben fekvő rétegek vizében. Ebből az is következik, hogy a vízben oldott állapotú, bakteriális eredetű metán vertikális migrációja révén megnöveli a sekélyebben lévő képződmények vizében a metánkoncentrációt. Ha a metán koncentrációja a vízben eléri, illetve meghaladja az adott viszonyok között a metán vízben való oldhatóságát, akkor gázfázis jön létre. Az ily módon kialakult kétfázisú rendszer szabad gáza azonban már nem képes a peliteken átszivárogni, és a felszín felé tovább migrálni. Az itt részletezett folyamat, a vertikális migráció révén is kialakulhattak a bakteriális metánt tartalmazó földgáztelepek, ha a rétegvizek bakteriális metántartalma eleve alacsony volt, és így telepet más módon nem hozhatott létre. Az a kérdés még megválaszolatlan maradt, hogy az anyakőzetekből miképpen tud távozni a primer migráció során a kőolaj és a földgáz. A primer migráció hajtóereje — a mozgást akadályozó kapilláris nyomáskülönbség ellenében — a tároló típusú kőzetek, a homokkövek és a velük közvetlenül érintkező anyakőzetek, a pelitek közötti nyomáskülönbség: a pelitekben egy kissé nagyobb a nyomás, mint a velük közvetlenül érintkező homokkövekben (SZALAY & KONCZ 1980). Ennek oka az, hogy a homokkövek és a pelitek eltérő ütemben tömörödnek (kom-

paktálódnak), amikor az üledékképződés során egyre mélyebbre kerülnek, és a felettük lévő kőzetekből adódó nyomásterhelés növekszik. A Délkelet-Alföld fúrásaiból származó homokkővek a 10% porozitást 3000 m mélységben érik el, a pelitek viszont már 2000 m mélységben, továbbá a pelitek 3000 m mélységben 0,1 mD (millidarcy, 10^{-16} m^2) nagyságrendű áteresztőképességgel rendelkeznek, a homokkővek ezt a nagyságrendet 5000 m mélységben érik el (SZALAY 1982). A pelitek hézagtere és fluidumátbocsátó képessége (áteresztőképessége) gyorsabban csökken, mint a homokkőveké, ami azt eredményezi, hogy a pelitekből a víz kiszorulása gátolttá válik: bennük a nyomás így egyre inkább nagyobb lesz, mint a homokkővekben, és a pelitekből a nyomáskülönbség hatására a fluidumok a pelitekkel érintkező homokkővek irányában mozognak a kapilláris nyomás ellenében, ami a pelitekben nagyobb mértékben gátolja az olajcseppek és a gázbuborékok mozgását. Ez a primer migráció hajtóerejeként működő differenciális kompaktáció azzal jár, hogy az anyakőzetekből jelentős mennyiségű víz jut az anyakőzetekkel közvetlenül érintkező homokkővekbe, mint szekunder migrációs vezetősíntekbe. Hazai viszonyok között a neogén anyakőzetek vizével együtt, oldott állapotban képes távozni a bakteriális eredetű gáz. A kompaktációs eredetű víz jelenlétében végbemenő primer migráció a kőolaj esetében igen ritka: csak abban az esetben megy végbe, ha az alacsony érettségű szerves anyagot tartalmazó anyakőzet az átlagosnál jóval kedvezőbb, kitűnő tulajdonságokkal rendelkezik. A víz kiszorulása a neogén anyakőzeteinkből 1900 m mélységre mehet végbe, mert 1900 m-nél nagyobb mélységben a pelitek áteresztőképessége oly mértékben kicsiny, hogy csak az igen lassú „szivárgást” teszi lehetővé (SZALAY & KONCZ 1980). A pelitekből történő nagymérvű szénhidrogén-eltávozás éppen ezért a pelitek felrepedéséhez köthető, amikor a túlnyomás mértéke eléri a vertikális irányú fedőkőzet-terheléssel összefüggő horizontális vagy laterális irányú feszültség és a húzószilárdság összegét (ROUCHET 1981). Neogén mélymedencéinkben az olajablak kezdete, ahol az érdemi szénhidrogén-képződés az átlagos tulajdonságokkal rendelkező neogén korú anyakőzetekben megindul, minimálisan 2400 méter mélységre tehető. Tehát, az átlagos tulajdonságokkal rendelkező anyakőzetek esetében a szerves anyag hóbomlása eredményeként képződő kőolajnak és termogén gáznak kevés az esélye arra, hogy az anyakőzetek kompaktációja során kiszoruló vízzel távozzék.

Az üledékképződés további menete során az anyakőzetekből, pelitekből nem távozik érdemi mennyiségű víz, főleg akkor nem, ha az üledékképződés olyan nagy ütemű, mint a pannóniai időszak alatt az üledékes medencéinkben: a pelitekből igen lassan szivárgó víz nem tud „lépést tartani” a gyors üledékképződés miatt megnövekvő fedőkőzet-terhelésből adódó nyomásnövekedéssel. A pelitek így tovább alig tömörödnek, alulkompaktáltakká válnak, továbbá a fedőkőzet vastagságának növekedéséből származó nyomásnövekedés a pelitek hézagterében lévő víz nyomását növeli meg: a pelit túlnyomásossá válik, a hézagteré fluiduma áramlási szempontból egyre izoláltabbá lesz. (Persze, a homok-

kővekben is megjelenik a túlnyomás, csak kisebb mérvű, mint a vele érintkező pelitekben.) Említésre méltó, hogy a pelitréteg homokkővel érintkező alsó és felső része a távozó rétegvíz miatt nagyobb mértékben tömörödik, kompaktabbá válik, ezáltal — gátat képezve — korlátozza a víz további mozgását a pelitréteggel érintkező, nagyobb áteresztőképességű homokkővek irányában. Ebből következik, hogy a pelitréteg alsó és felső részéből a képződött szénhidrogének a vízzel együtt még el tudnak távozni. A tagolatlan, vastag pelitek esetében a pelit teljes térfogatához viszonyítva a kompaktálódó felső és alsó rész kicsiny. A vékony, tagolt pelitekből így viszonylag több szénhidrogén képes távozni: primer migrációs hatások nagyobb, mint a vastag, tagolatlan peliteké (BROOKS et al. 1987). Az előzőekben részletezett folyamatnak tulajdonítható, hogy a Pannon-medence alföldi részén 2500 m-nél nagyobb mélységben már csak túlnyomásos képződmények vannak (SZALAY 1982). Izolált körülmények között a primer migráció erősen gátolt, magának a primer migráció folyamatának a megértése sok nehézségbe ütközött és ütközik (DURAND 1988). Ha a pelitek hézagterében lévő fluidum nyomása eléri a fedőkőzet-vastagságnak megfelelő ún. litostatikus nyomásnak a pelitek Poisson-aránya által megszabott hányadát, akkor az anyakőzet felrepedezik (microfracturing) (PAYNE et al. 2000, COSGROVE 2001). A felrepedés következtében a hézagteré fluidumának nagy része távozik, miközben az anyakőzet térfogata a felrepedés és fluidum-kiáramlás miatt csökken. A térfogatcsökkenés eredményeként vetők keletkezhetnek, amelyek mint vertikális migrációs csatornák továbbíthatják a szénhidrogéneket a jóval kisebb mélységben elhelyezkedő tárolókba. A felrepedés és fluidum-kiáramlás után az anyakőzet a fedőkőzet-terhelés miatt záródik (healing), és zárva marad a következő felrepedésig, ha az üledékképződés folytatódása miatt nagyobb mélységbe kerül. Az újlagos felrepedés során az előzőnél érettebb szénhidrogének távoznak. Említésre méltó, hogy a túlnyomást növeli a víz hőtágulásából és a szénhidrogén-képződésből adódó nyomástöbblet (HUNT 1990). A túlnyomás által létrejött felrepedés és fluidum-kiáramlás a kompaktációs eredetű migrációs folyamattal ellentétben független az anyakőzet tulajdonságaitól: a szerves anyagban szegényebb anyakőzetekből is távoznak szénhidrogének (KONCZ 2018a). Mind a kompaktációs, mind a túlnyomás által okozott felrepedés következtében végbemenő primer migráció alacsony hatásfokú: a képződött szénhidrogének jelentős hányada az anyakőzetben marad, ami a szerkezetekben felhalmozódott, ún. hagyományos készleteknél nagyságrendileg nagyobb, és az ún. nem hagyományos készletek forrását képezi. Ide tartozóan célszerű megemlíteni, hogy az ún. tömör homokkővek („tight sandstone”) esetében a pórusok közötti szűkületek (pórustorkok) mérete kisebb, mint $2 \mu\text{m}$ (NELSON 2009). Ilyen körülmények között csak egy fázis, a gáz áramlása lehetséges 50%-nál nagyobb gáztelítettség esetén, két fázis, a gáz és a víz áramlása nem lehetséges (SHANLEY et al. 2004).

A túlnyomás által megrepesztett pelitekből történő primer migráció során a vetőkön keresztül vertikálisan

migrálva a szénhidrogének a sekélyebben fekvő tárolókig is eljuthatnak, amelynek környezetében a szerves anyag még alig alakult át (termikusan alacsony érettségű), vagy átalakulatlan (termikusan éretlen) (I. ábra, C). Meg kell jegyezni, hogy a földgáz és a kőolaj vetőkön, töréseken át végbemenő vertikális migrációja nagyságrendekkel gyorsabb folyamat, mint a vízfázisban oldott szénhidrogén-gázok szivárgása a zárórétegek keresztül. A vetők csak függőleges metszetben mutatnak vonalszerű alakzatot, a térben viszont felületet, egyszerűbb esetben vetősíkot képeznek. A vetősík bizonyos feltételek esetén tud úgy viselkedni, mint egy nyitott törés. Például, ha kis mélységben van, vagy ha igen nagy a túlnyomás, végül akkor, amikor a vető éppen létrejön vagy felújul (DOWNEY 1994). A vetőkkel kapcsolatos megfontolások jelentős része azzal függ össze, hogy egy olyan szerkezetben, amely szénhidrogén-akkumulációt tartalmaz, és egyik záróelemét vető alkotja, megmarad-e a felhalmozódás, vagy a vetőn keresztül a kisebb mélységben lévő tárolóba, a legrosszabb esetben a felszínre kerülnek a szénhidrogének. A tárolókőzettel érintkező, azt térbelileg lehatároló vető felülete akkor zár, ha a vető felületét képező kőzet kapilláris nyomása nagyobb, mint az olajcseppekre, illetve gázbuborékokra ható felhajtóerő (SORKHABI & TSUJI 2005). Ha a vető vagy törés eléri a felszínt, olajfolyás, illetve gázkifúvás jön létre. A felszíni szeizmikus módszerek elterjedését megelőző időszakban a felszíni olajfolyások és gázkifúvások jelentették az egyedüli támpontot a siker reményében mélyítendő fúrások számára. A vetők szerepére hívta fel a figyelmet PRICE (1980). A szerző bőszegesen sorolt fel a világ minden részéről példákat a vetőkön keresztül végbe mehetett vertikális migrációra, amelynek folyamán a mély medencékben képződött szénhidrogének a sekélyebben elhelyezkedő tárolókban halmozódhattak fel. Geokémiai adatokkal azonban nem támasztotta alá feltevéseit. Ezen cikk szerzője megkísérli, hogy geokémiai adatokkal valószínűsítse a magyarországi neogén tárolók szénhidrogénjeinek migrációs kapcsolatát a mélyebben fekvő és idősebb anyakőzetek szénhidrogénjeivel. Alapvetően az alábbi három eset, illetve azok kombinációi fordultak elő:

- a) a sekélyebben fekvő tárolók szénhidrogénjei jóval érettebbek, mint a mélyebben fekvőkéi,
- b) genetikai korrelációkkal bizonyítottan a sekélyebben fekvő tárolók szénhidrogénjei a nagyobb mélységben lévő idősebb anyakőzetekből származnak,
- c) a sekélyebben fekvő tárolók környezetében lévő szerves anyag érettsége jóval alacsonyabb, mint a tárolókban felhalmozódott szénhidrogéneké.

PRICE felvetése nem talált lelkes fogadtatásra, mert a geológusok többsége a réteg menti (laterális) migráció híve maradt, és eleve szkeptikusan tekintett a vertikális migrációra (DEMAISON & HUIZINGA 1994). Pedig a vetők és törések képesek nagy olajmezőt létrehozni, továbbá a vertikális migráció során sokkal kevesebb szénhidrogén „veszik el”, mint a réteg menti, szekunder migráció folyamán (feltéve, hogy a vetők nem húzódnak a felszínig). Számítások szerint jelentős tömegű szénhidrogén képes a vetősík felülete

mentén átáramolni viszonylag rövid idő alatt (DOWNEY 1984).

A különböző anyagfajták termikus érettségének jellemzésére használt paraméterek

Az üledékes kőzetek szerves anyagának érettsége

Általánosan alkalmazott az üledékes kőzetek szerves anyaga termikus érettségének jellemzésére a vitrinitreflexió. Meg kell azonban jegyezni, hogy a vitrinitreflexió csak hozzávetőlegesen jelöli ki a szénhidrogénzónákat, például az olajképződés kezdetét. Ugyanis a vitrinitreflexió változását leíró kinetikai modellek nem közvetlenül az anyakőzetben lévő szerves anyag átalakulásának mértékét adják meg. Az anyakőzetek szerves anyagának átalakulásának mértékét az átalakulási tényező adja meg pontosabban, amelyet az anyakőzet szerves anyagához rendelhető kinetikai modell segítségével számolunk. A vitrinit a devon kortól kezdődően lehet jelen az üledékes kőzetek szerves anyagában, mert a magasabb rendű szárazföldi növényzetből származik. A vitrinitreflexió a mikroszkóppal azonosítható vitrinitzsemcse fényviszaverő képességét kifejező százalékként. Lehetőség szerint 20–100 vitrinitzsemcse reflexiójának átlagát adják meg vitrinitreflexió értéként (BOSTICK 1979). A kutatógeológusok körében elterjedt az ún. „olajablak” kifejezés, amely szerint a kőolajképződés a 0,6–1,3% vitrinitreflexió tartományhoz köthető. Az olajablak kezdetének megfelelő vitrinitreflexió azonban függ a szerves anyag (kerogén) típusától. A vitrinitreflexió 0,6% értéke főleg a III típusú (főleg gázt képző) kerogénre érvényes. Az olajképző II (főleg a IIS) típusú kerogén esetében 0,6%-nál alacsonyabb, az I típusú, szintén olajképző kerogén 0,6%-nál magasabb vitrinitreflexió értékek elérésekor kezd olajat generálni.

Magyarországon a mély, nem invertálódott neogén medencékben, ahol a folyamatos üledékképződés miatt minden képződmény jelenleg a valaha elért legnagyobb mélységben van, az „olajablak” kezdete 2400–3000 m mélység-intervallumú. A pannóniai üledékképződéshez rendelt delta- és alluviális síksági képződmények (az Újfalui és Zagyvai Formációk) szerves anyaga termikusan éretlen. Az olajablak kezdete zömmel a pannóniai üledékképződéshez tartozó mélyvízi turbidit és selfejtő képződményekben, a Szolnoki és Algyői Formációkban van. Tehát, ha a delta képződményeiben lévő tárolókőzetek olajat tartalmaznak, akkor az olajnak eleve vertikális migráció révén kellett felhalmozódnia. Noha a kinetikai modell szerint a termikus átalakulást mind a hőmérséklet, mind az idő együttesen határozzák meg, a hőmérséklet hatása az átalakulásra jóval nagyobb, mint az idő: az átalakulás mértéke exponenciálisan nő a hőmérséklettel és lineárisan az idővel. A kőolajképződés kezdete magasabb hőmérsékleten van a Pannon-medence neogén képződményeiben (SZALAY & KONCZ 1980). Ez a jelenség a hőmérséklet és az idő együttes hatását tükrözi (CONNAN 1974).

A kőzetextraktumok és az olajok nehéz részének termikus érettsége

Az üledékes kőzetek szerves anyagának hőbomlása, a katagenezis azzal jár, hogy az elágazó szénláncú ún. izoalkánoknál jóval nagyobbá válik a normál alkánok koncentrációja (TISSOT & WELTE 1984). A gázkromatogramok alapján számított nC17/P és nC18/F arányok, azaz a 17 szénatomszámú normál alkán (nC17) és a prisztán (P), valamint a 18 szénatomszámú normál alkán (nC18) és a fitán (F) aránya a termikus érettség növekedésével nő. (A prisztán 19, a fitán 20 szénatomszámú izoalkán.) A prisztán-fitán arány hatásának mérséklése céljából az nC17/P és az nC18/F arányok átlagát, a normál-izoalkán arányt (N/I) volt célszerű felhasználni a termikus érettség becslésére. Az N/I arány azonban nemcsak az érettségtől, hanem a szerves anyag (kerogén) minőségétől, típusától is függ: olajgeneráló típusú kerogén esetében ugyanazon feltételek mellett az N/I arány nagyobb. Az N/I arány nem állapítható meg gáz-kondenzátumok esetében az N/I arányban szereplő szénhidrogének alacsony koncentrációi miatt. Gyakran előfordul, hogy az említett komponensek nem is jelentkeznek a gázkromatogramokon. Továbbá az ún. biodegradált olajoknál sem értékelhető az N/I arány, hiszen a bakteriális működés során először a normál alkánok kerülnek „elfogyasztásra”.

A kőzetextraktumokat illetően 940 N/I adat került értékelésre a középső-miocén–pannóniai korú anyakőzetekből. Meg kell említeni, hogy a kőzetextraktumok autochton helyzetet képviselnek: szénhidrogénjeik ott vannak, ahol képződtek. Az N/I értékek különböző mélység-intervallumokban eltérő eloszlást mutatnak (I. táblázat). Az alacsony (N/I < 1) értékek, amelyek termikusan éretlen állapotot képviselnek, a mélység növekedésével csökkenő részarányúak: 0–2000 m között 38% az alacsony értékek hányada, 3000 m-nél nagyobb mélységben csak 7%. A magas (N/I ≥ 2), termikusan érett fokozatra utaló értékek részaránya 0–2000 m intervallumban csak 13%, 3000 m-nél nagyobb mélységben 41%. Ez a trend jelzi, hogy a kőzetextraktumok a kerogén típusával összefüggő hatás ellenére jelzik a szénhidrogének termikus érettségét.

Az olajok esetében 1290 N/I adat került értékelésre. A termikusan éretlen és érett állapotot jelző N/I értékek mélység-intervallumonkénti eloszlása a kőzetextraktumokéihoz hasonló trendet mutat a mélység növekedésével (I. táblázat). Meg kell említeni, hogy az olajok N/I értékeinek eloszlását a kőzetextraktumokéval ellentétben a vertikális migráció is befolyásolja. Ennek tulajdonítható, hogy már kis mélységben (0–2000 m) a termikusan érett fokozatot

képviselő magas N/I értékek aránya (29%) jóval nagyobb, mint a kőzetextraktumok esetében (13%).

Elég sok biomarker paraméter alkalmas lehet a termikus érettség becslésére annak ellenére, hogy értéküket a kerogén típusa is befolyásolhatja. A biomarkerek közül azt választottam ki, amelyik — amellet, hogy jelzi az érettséget — elegendő számú adattal is rendelkezik. A triaromás C20 és C21 szteránok és az összes triaromás szterán aránya (BTR) százalékban kifejezve az előzőleg említett szempontoknak megfelelt (PETERS & MOLDOWAN 1993). A gáz-kondenzátumokból nem mérhető BTR értékeket a biodegradáció nem befolyásolja, de az organofációs hatással van rá, ezért csak genetikailag egymással összefüggő olajminták esetében alkalmazható (PETERS et al. 2005).

A kőzetextraktumok esetében 570 BTR adat került értékelésre a középső-miocén–pannóniai korú kőzetekből. A 10%-nál kisebb értékek részaránya a mélység növekedésével csökken, a legalább 70% értékűeké pedig nő (I. táblázat). Ez a trend arra utal, hogy a BTR-értékek alkalmasak a termikus érettség becslésére.

Az olajoknál 590 BTR adat volt értékelhető. Az alacsony (< 10%) és a magas (≥ 70%) értékek mélységközönkénti eloszlása a kőzetextraktumokéhoz hasonló trendet mutat (I. táblázat). Érdekes módon az N/I értékektől eltérően nincs számottevő különbség a kőzetextraktumok és az olajok eloszlásadatai között ugyanabban a mélységintervallumban. Lehet, hogy ez annak a következménye, hogy az N/I és a BTR adatok nem minden esetben álltak rendelkezésre ugyanazon mintából. Mindenesetre feltűnő, hogy az olajoknál sokkal kevesebb BTR adat volt értékelhető, mint az N/I adatok esetében.

Az olajok könnyű (benzin) részének termikus érettsége

Az olajok könnyű részének termikus érettsége megállapítható az ún. izoheptán (IHP) -index segítségével (THOMPSON 1983). Az izoheptán index a 7 szénatomszámú izoalkánok és cikloalkánok aránya, amely a termikus érettség növekedésével nő. Mivel az anyakőzetek könnyű szénhidrogénjeinek analízise még nem vált általános gyakorlattá hazánkban, az IHP-index értékei nem hasonlíthatók össze az anyakőzetekével: csak az olaj-olaj korreláció hajtható végre. Gáz-kondenzátumok esetében csak az IHP-index szolgáltat információt a szénhidrogén-folyadék termikus érettségére vonatkozóan.

1200 IHP adat került értékelésre. A vertikális migrációra

I. táblázat. Az érettségjelző termikus paraméterek eloszlása (%)

Table I. Distribution of maturity-related thermal parameters (in%)

Mélység (m)	N/I				BTR			
	extraktum		olaj		extraktum		olaj	
	< 1	≥ 2	< 1	≥ 2	< 10	≥ 70	< 10	≥ 70
0–2000	38	13	19	29	43	3	19	1
2000–2500	25	22	8	53	25	4	14	5
2500–3000	14	34	5	57	5	21	4	33
≥ 3000	7	41	1	80	0	61	3	47

utal, hogy a 2000 méternél kisebb mélységben lévő tárolókőzetekben a 2-nél nagyobb, igen érett fokozatnak (THOMPSON 1983) megfelelő IHP-értékek jelentős hányadot (35%) képviselnek.

A gázok termogén komponenseinek érettsége

A gázok termogén komponenseinek, az etánnak és a propánnak szénizotóparány-különbsége alkalmas a termikus érettség becslésére (JAMES 1983, 1990). (Az etánra és a propánra való korlátozás oka az, hogy ezek a komponensek még eléggé jól mérhetők, a nagyobb szénatomszámú, szintén termogén eredetűek már kevésbé.) A módszer előnye az itt nem részletezett más módszerekkel szemben, hogy független az anyakőzet szerves anyagának, a kerogénnek típusától. A módszer alkalmazásának alapvető feltétele az, hogy az etán és a propán ugyanabból az anyakőzetből, ugyanabból a mélységből származzék, azaz kogenetikusan legyen. A metán és az etán, illetve a metán és a propán szénizotóparány-különbsége a legtöbb esetben azért nem alkalmazható, mert a metán nem kogenetikusan velük: a metán gyakran tartalmaz nem termogén, hanem bakteriális eredetű metánt is (CHUNG et al. 1988). A módszer alapja a már képződött komponensek közötti izotópkicserélődés: minél nagyobb az anyakőzet hőmérséklete, érettsége, annál intenzívebb az izotópkicserélődés, ami a komponensek szénizotóparányában meglévő kezdeti különbséget csökkenti. (A propán izotóposan mindig nehezebb a vele kogenetikusan etánnál.) Az etán és a propán szénizotóparány-különbségéből számítható a termikus érettség vitrinitreflexió-egyenértékben (VRE) kifejezve (JAMES 1990). Az ily módon számított vitrinitreflexió annak az anyakőzetnek a termikus érettségét adja meg, amelyből az etán és a propán a primer migráció során távozott. Mivel az anyakőzetekben lévő, illetve ott maradt etán és propán szénizotóparányai (még) nem ismeretek, a VRE-értékek alapján csak azt a mélységet lehet közvetve megadni, amelyből a termogén komponensek származhattak. Ennek viszont az a feltétele, hogy a vizsgált területen rendelkezésre álljon a kőzetek szerves anyagának érettségére jellemző vitrinitreflexió-mélység összefüggés.

300 mérési eredményből számított VRE-érték került értékelésre a rétegvizsgálatok gázaiból. A termogén gázok vertikális migrációja jelentős lehetett, mert 2000 méternél kisebb mélységben az adatok közel felében (48 százalékában) a vitrinitreflexió-egyenérték (VRE) 1,0% feletti volt, holott a neogén üledékes kőzetek szerves anyagának érettsége ebben a mélységtartományban még az „olajablak” kezdetére jellemző 0,6% vitrinitreflexió értéket sem érte el.

Hazai példák a szénhidrogének feltételezhető vertikális migrációjára

Budafa és Lovászi mezők

Mind a Budafa, mind a Lovászi mező többtelepes előfordulás, amelyben a felhalmozódások a mélyvízi homokkő („alsó-pannóniai”) tárolókban, 1000–1450 m mélységben

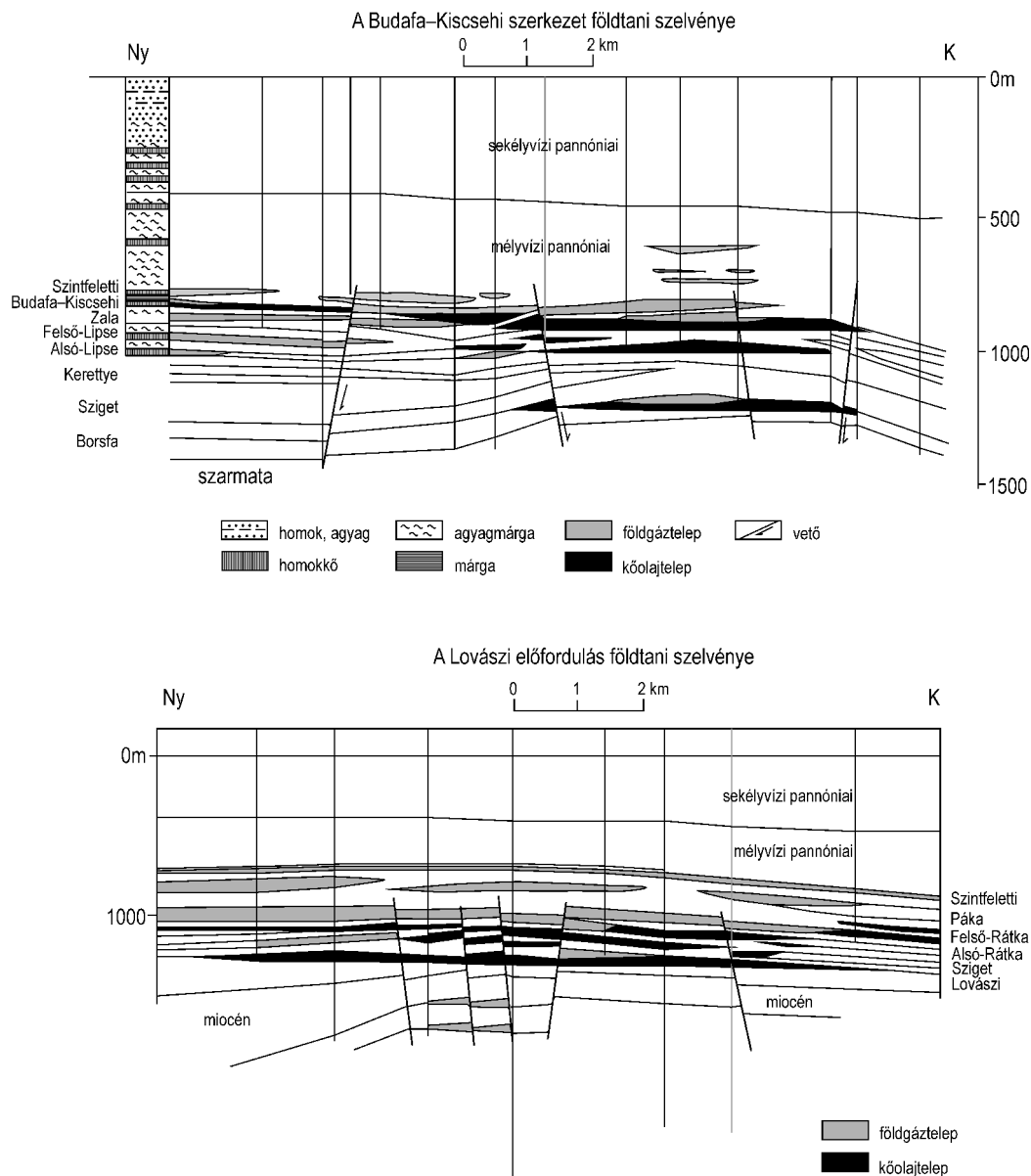
vannak. DANK (1988) feltételezte, hogy a Budafa mező olaja az idősebb miocén korú anyakőzetekben keletkezett. A bizonyító erejű olaj–anyakőzet korreláció eredményei szerint a Budafa mező olajait a középső-miocén (badeni), a Lovászi mezőét a mélyebben fekvő alsó-miocén (kárpáti) anyakőzetek hozták létre (KONCZ 2017). Indokoltan feltételezhető tehát, hogy az alsó- és középső-miocén anyakőzetekben képződött szénhidrogének vetőkön keresztül, vertikális migráció révén halmozódtak fel a mélyvízi turbidit rendszerhez, a Szolnoki Formációhoz tartozó homokkő-tárolókban. Erre utalnak a Budafa és Lovászi szerkezetek földtani szelvényei (2. ábra) (VÖLGYI et al. 1985). A szelvényeken láthatók a mélyről az említett turbidit rendszerhez tartozó tároló képződményekbe hatoló vetők.

A Budafa mező szénhidrogénjei termikusan kevésbé érettek, mint a Lovászi mezőéi, ami a generáló anyakőzetek kora és abból következően települési mélységtartománya különbözősége miatt érthető is: a termikusan érettebb Lovászi olajok a mélyebben fekvő kárpáti anyakőzetek termékei, és vertikális migrációjuk nagyobb mérvű mint a kevésbé érett Budafa olajoké, amelyek a sekélyebben lévő badeni anyakőzetekben képződtek. A Budafa olajok könnyű részének IHP-indexe maximum 0,8, a Lovászi olajoké 1,0. A BTR adatokban is hasonló a különbség: a Budafa olajok nehéz részében a BTR maximuma 21%, a Lovászi olajokéban 44%.

Összegezve: Budafa és Lovászi mezők esetében genetikai korrelációval bizonyítottan a sekélyebben fekvő, turbidit rendszerhez tartozó tárolók olajai a nagyobb mélységben lévő idősebb, alsó- és középső-miocén anyakőzetekből származnak. A tárolók szénhidrogénekkel való feltöltődése minden valószínűség szerint vetőkön keresztül, vertikális migrációval mehetett végbe.

Dráva-medence

A Dráva-medence Magyarország területére eső északi szárnyán végzett olaj–anyakőzet korrelációk eredményei azt mutatták, hogy az előfordulások szénhidrogénjei a középső-miocén anyakőzetekben keletkeztek (KONCZ et al. 2010). A termikus érettséget jelző geokémiai adatok segítségével megállapítható volt, hogy a kisebb mélységben (1000–2200 m) elhelyezkedő pannóniai tárolóképződmények szénhidrogénjei termikusan érettebbek, mint a középső-miocén tárolókban (2380, 2520 m) felhalmozódtaké (KONCZ & HORVÁTH 2008). A szénhidrogén-folyadékok geokémiai adatai szerint a deltalebenyeket alkotó, Újfalui Formációhoz tartozó tárolókban felhalmozódott fluidumok könnyű részében az IHP-indexek 1,7–2,2, a mélyvízi turbidit rendszerhez, a Szolnoki Formációhoz tartozó tárolókban 1,1–1,8 és a középső-miocén képződményekben 0,4–0,6 tartományúak voltak: azaz az előbbieket érett, az utóbbi éretlen fokozatot képviselt. A szénhidrogén-folyadékok nehéz részében a termikus érettség érdemi különbséget nem mutatott, és az érettség alacsony fokozatú volt. Ebből arra lehet következtetni, hogy a vertikális migráció két lépcsőben mehetett végbe a középső-miocén anyakőzetek túlnyomás



2. ábra. Budafa és Lovászi olajmezők keresztmetszései (VÖLGYI et al. 1985)

Figure 2. Cross sections of Budafa and Lovászi oil fields (VÖLGYI et al. 1985)

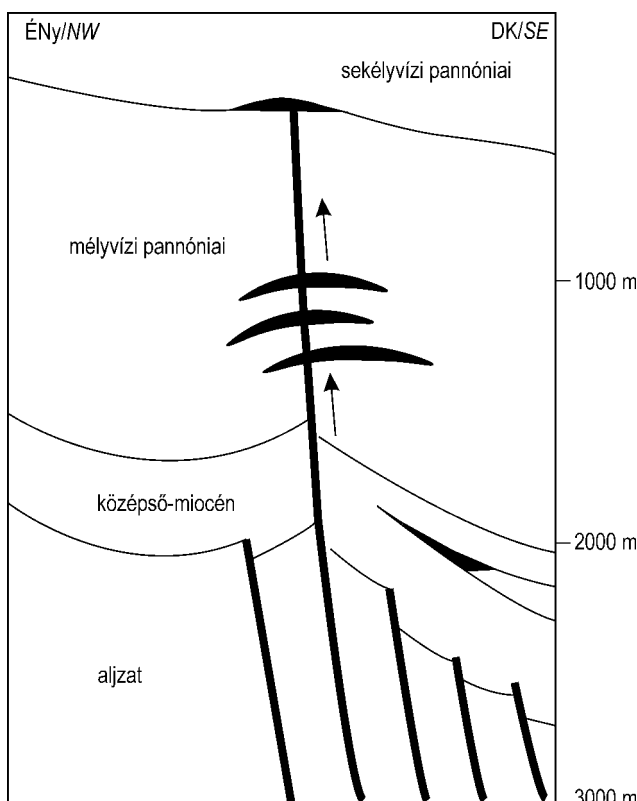
által okozott ismételt felrepedése miatt. A viszonylag alacsony érettségű nehéz részekkel jellemezhetőket első felrepedés, a pannóniai tároló képződmények fluidumait a második felrepedés hozta létre, amely érettebb könnyű résszel rendelkező szénhidrogén-folyadékokat eredményezett.

A mélyebben fekvő részekben a gázok etán és propán szénizotóparány-különbségei alapján becsült vitrinitreflexió egyenérték (VRE) 0,6–0,7%, viszont ennél kisebb mélységben 1,1%.

A területre jellemző geológiai szelvény rétegtani és tektonikai értelmezéséből kitűnt, hogy a neogén aljzattól kiinduló vetők az Újfalvi és Zagyvai Formációkhoz tartozó képződményekig hatoltak, amelyeken keresztül a pannóniai üledékképződéshez rendelt tároló képződmények vertikális migráció révén feltölthetők (3. ábra) (KONCZ & HORVÁTH

2008). A geológiai szelvényen a neogén aljzatot fedő középső-miocén képződmények, köztük anyaközetek is, 2000–3000 m tartományban vannak, de a Dráva-medence mélyebb részére, Horvátország területére esik a középső-miocén anyaközetek fő tömege.

Összegezve megállapítható, hogy a Dráva-medence északi, magyarországi szárnyán a vertikális migrációra két, geokémiai szempontból megalapozott jelenség utal: a sekélyebben fekvő tárolók szénhidrogénjei érettebbek, mint a mélyebben fekvőkéi, továbbá genetikai korrelációkkal bizonyítottan a sekélyebben fekvő tárolók szénhidrogénjei a nagyobb mélységben lévő idősebb, középső-miocén anyaközetekből származnak. A szemléltetett geológiai szelvényen pedig jól láthatók azok a vertikális migrációs csatornák, vetők, amelyek lehetővé tették a sekélyebben elhelyezkedő tárolók szénhidrogénnel való feltöltődését.



3. ábra. A Görgeteg-Babócsa szerkezet vázlatos keresztmetsvénye (KONCZ & HORVÁTH 2008)

Figure 3. Schematic cross section of Görgeteg-Babócsa structure (KONCZ & HORVÁTH 2008)

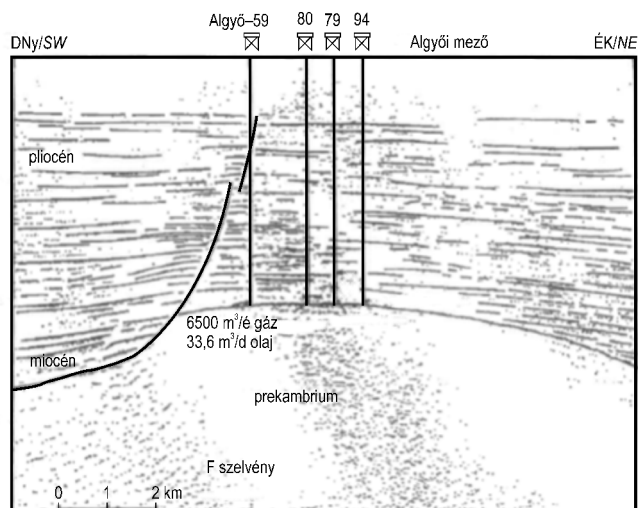
Algyő

Algyőn 69 telep vált ismertté az Újfalui Formációban elhelyezkedő tárolóktól a mélyvízi turbidit rendszerhez (a Szolnoki Formációhoz) tartozókon át a kristályos-metamorf aljzattal összefüggő alkonglomerátumig. A földtani készletek zöme, 80 százaléka az Újfalui és Zagyvai Formációkban lévő tárolókban helyezkedik el. Az olajok nehéz részében mért eredetjelző biomarkerek azt mutatták, hogy az algyői telepek olajszénhidrogénjei nem származhatnak a szerkezeti magaslattól keletre lévő Makói-árokból (SAJGÓ 1984). Bizonyítható volt, hogy a kitűnő anyakőzet-tulajdonságokkal rendelkező, Újfalui és Zagyvai Formációkhoz tartozó képződmények sem lehetnek a felhalmozódások anyakőzetei (KONCZ & ETLER 1994). Az olaj-anyakőzet korreláció eredményei szerint a felhalmozódások szénhidrogénjei a középső-miocén anyakőzetekben képződtek (KONCZ 2018b). Ennek alapján érthetővé vált, hogy a középső-miocén képződményeket nem tartalmazó Makói-árokból miért nem származhattak az algyői telepek szénhidrogénjei (SZUROMI-KORECZ et al. 2004).

Korai felismerés volt, hogy az olajok nehéz részében lévő biomarker-vegyületek érettsége a mélység növekedésével csökken (SAJGÓ 1984). Az a tapasztalat, hogy a szénhidrogén-folyadékok nehéz részei a legkisebb mélységben a legérettebbek, arra enged következtetni, hogy a kisebb mélységben lévő, Újfalui és Zagyvai Formációkhoz tartozó tárolók szénhidrogénjeit illetően a vertikális migráció a

legnagyobb mértékű lehetett. A szénhidrogén-folyadékok könnyű részei azonban egyöntetűen igen érettek: IHP értékeik 2,0 feletti, és ennek megfelelően igen érett fokozatúak. A nehéz és a könnyű részek érettségében mutatkozó különbségek alapján feltételezhető, hogy a telepek feltöltődése legalább két lépcsőben mehetett végbe (KONCZ 2018b). Az első lépcső a középső-miocén anyakőzetek első felrepedéséhez köthető, amelyet a túlnyomás megfelelő mértéke idézhetett elő (KONCZ 2018a). Ebben a stádiumban a kevésbé érett szénhidrogének kerültek vertikális migráció révén a felhalmozódási övezet mélyebben fekvő tárolókba. A második felrepedés nagyobb mélységben következhetett be, és jóval érettebb és könnyebb szénhidrogéneket továbbíthattott a megnövekedett hosszúságú vető révén a sekélyebben lévő tárolókba is. A telepek gázaiban lévő etán és propán szénizotóparány-különbségei alapján becsült érettség 0,8–1,1% vitrinitreflexiónak felel meg. A vitrinitreflexió-mélység összefüggések felhasználásával becsülhető volt az a mélységtartomány, amelyben a gázkomponensek képződtek. A becslés 3500–4500 m tartományt valószínűsített. Az előzőek alapján nagymérvű vertikális migrációt kell feltételezni: a mélyen fekvő középső-miocén anyakőzetekben képződött szénhidrogéneket az Újfalui és Zagyvai Formációkban elhelyezkedő tárolókig vezethette olyan, a neogén aljzattól kiinduló vető, amelyet a 4. ábra szemléltet (KÓKAI & POGÁCSÁS 1991).

Az algyői szerkezet telepeinek szénhidrogénjei a vertikális migráció mindhárom jellemzőjét képviselik. A sekélyebben fekvő és az Újfalui–Zagyvai Formációkhoz tartozó tárolók olajainak nehéz része jóval érettebb, mint a mélyebben fekvőké. Genetikai korrelációkkal bizonyítottan a sekélyebben fekvő tárolók szénhidrogénjei a nagyobb mélységben lévő középső-miocén anyakőzetekből származnak. A készletek zömét magában foglaló és az Újfalui–Zagyvai Formációkhoz tartozó tároló képződmények termikusan igen érett szénhidrogéneket tartalmaznak, viszont a



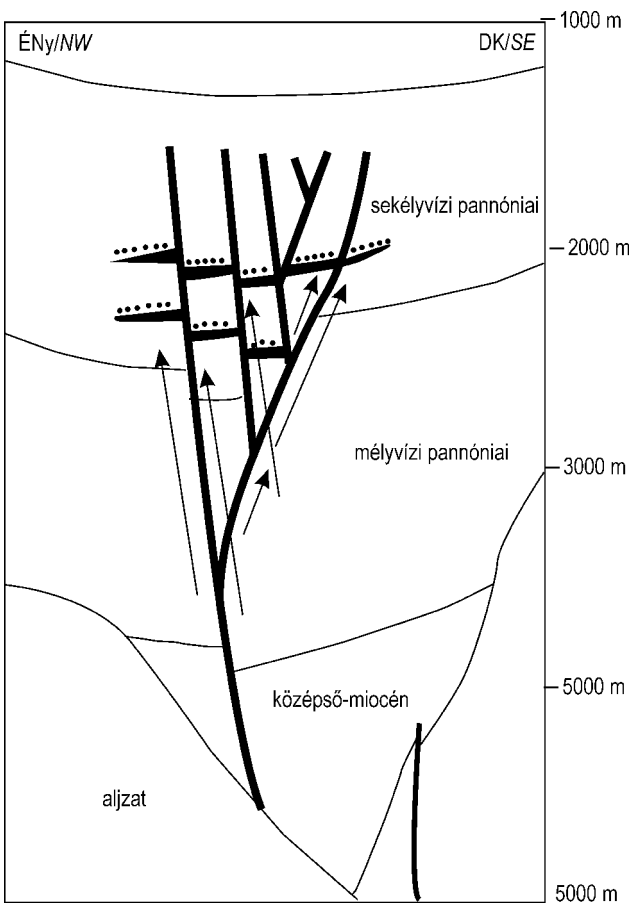
4. ábra. Az algyői szerkezet interpretált szeizmikus szelvénye (KÓKAI & POGÁCSÁS 1991)

Figure 4. Interpreted seismic section of Algyő structure (KÓKAI & POGÁCSÁS 1991)

telepek környezetében lévő kőzetek szerves anyaga éretlen, legfeljebb a 0,5% vitrinitreflexiónak megfelelő értettséget érte el (HETÉNYI et al. 1993).

Derecskei-süllyedék

Az Újfalui–Zagyvai Formációkhoz tartozó képződmények tárolókőzeteiben gáz–gázkondenzátum telepeket tártak fel. Az etán és propán szénizotóparány-különbségéből számított vitrinitreflexió egyenérték 1,2%. Ezt az érettséget a 3100 m mélységben lévő, mélyvízi turbidit rendszerhez tartozó képződmények érték el. A felhalmozódások környezetében az érettség nem éri el a 0,6% vitrinitreflexiónak megfelelőt. Tehát jelentős mérvű vertikális migráció révén halmozódhatott fel a 3000 méternél mélyebben képződött gáz az Újfalui–Zagyvai Formációkhoz tartozó tárolókőzetekben. A földtani szelvényen egy vetőzóna látszik, amelyen keresztül a vertikális migráció végbemehetett (5. ábra) (BALÁZS et al. 2016).



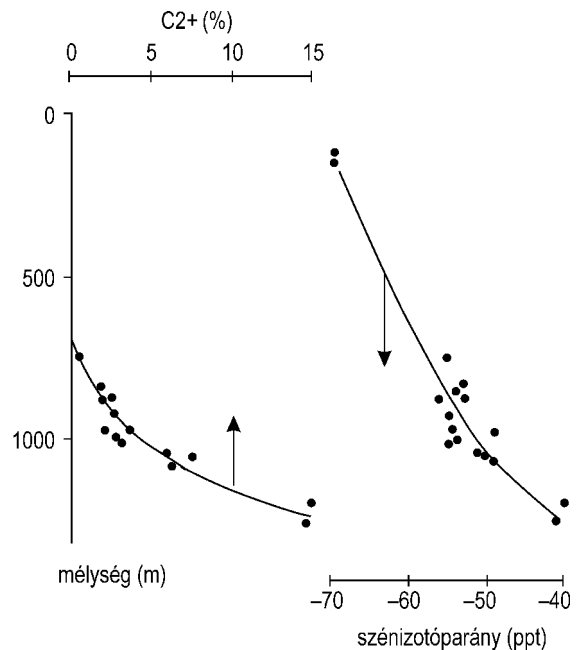
5. ábra. A Derecskei-süllyedék vázlatos keresztmetszelve (BALÁZS et al. 2016)
Figure 5. Schematic cross section of Derecske depression (BALÁZS et al. 2016)

Hajdúszoboszló

A Hajdúszoboszlón felfedezett többtelepes gáz-előfordulás 450–1260 m mélységtartományban helyezkedik el. A tárolókőzetek kora a mezozoos (felső-kréta) flistól a

felső-pliocén összetlig terjed. Vetőket nem mutattak ki. A metán szénizotóparánya és a gázok C2+ tartalma a mélység növekedésével jellegzetes trendet mutat: a metán izotóposan nehezebbé válik, és a C2+ tartalom nő (6. ábra). Az említett trend a termogén eredetű gázok vertikális migrációjának tulajdonítható (KONCZ, megjelenés alatt). A vertikális migráció ez esetben valószínűleg nem vetőkön keresztül ment végbe, hanem a vízben oldott állapotú termogén gázok migrálhattak a kisebb nyomású, sekélyebben elhelyezkedő tárolókba a még nem eléggé tömörödött, laza zárórétegeken át. A felvázolt kép a bakteriális eredetű gáz és az alulról felfelé szivárgó termogén gáz elegyedésének következtében állhatott elő. (A bakteriális eredetű metán alacsony koncentrációjú lehetett a vízben, és csak azért tudott gázfázist képezni, mert a termogén metán megnövelte a víz gáztartalmát egészen addig, amíg a helybeni viszonyoknak megfelelő vízben való oldhatóságot elérte, illetve meghaladta.)

Egy hajdúszoboszlói fúrásban, 800–1800 m mélység-



6. ábra. A Hajdúszoboszló gáz mező szénizotóparány és C2+ trendjei
Figure 6. Stable Carbon Isotope Ratio and C2+ trends of Hajdúszoboszló gas field

intervallumban az etán és a propán szénizotóparány-különbségéből számított vitrinitreflexió egyenérték elég magas, 1,1–1,2% volt, ami a jelzett mélységhez képest igen éretnek tekinthető. Lehetséges, hogy a hajdúszoboszlói gáztelepek termogén komponensei a neogén aljzatot képző flisből származnak.

Diszkusszió

A szénhidrogén-felhalmozódásoknak a vertikális migráció révén végbemehetett képződése viszonylag korán felvetődött (PRICE 1980). Ennek ellenére a geokémiai para-

méterek, valamint a genetikai korrelációk eredményeinek felhasználása a vertikális migráció valószínűsítésére nem vált általánossá.

Az előzőekben részletezett példák szerint a fliszóna felső-kréta–paleogén korú képződményeinek (Hajdúszoboszló), a középső–miocén anyaközeteknek (Budafa és Lovászi mezők, Dráva-medence, Algyő) és az idősebb pannóniai korú anyaközeteknek (Derecskei-süllyedék) a szénhidrogénjei képeztek felhalmozódásokat a pannóniai képződmények tárolóközeteiben. Ezek a felhalmozódások réteg menti (laterális) migráció révén nem jöhettek létre. A felhalmozódások környezetében lévő kőzetek szerves anyagánál a telepek szénhidrogénjei termikusan jóval érettebbek.

Következtetések

Az előzőekben részletezett példák arra utalnak, hogy a pannóniai képződményekhez tartozó tárolóközetekben olyan szénhidrogén-felhalmozódások vannak, amelyek vertikális migráció révén jöhettek létre. A vertikális migráció az esetek többségében vetőkön keresztül mehetett végbe. A vetők egy része a neogén aljzati képződményekből indulóan a sekélyebben elhelyezkedő tároló képződményekig hatolt, és feltehetően tektonikus eredetű. A másik részük valószínűleg a középső–miocén üledékes kőzetekből indult a kőzetek túlnyomás által okozott felrepedése, ezt követő térfogatsökkenése következményeként, és — esetleg több, időben elkülönülő fokozatban — elérte a sekély tárolókat. A vetők hiányában is megvalósulhatott a vertikális migráció Hajdúszoboszló esetében.

Irodalom — References

- BALÁZS, A., MATENKO, L., HORVÁTH, F. & CLOETHING, S. 2016: The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constrains from the analysis of the Pannonian Basin. — *Tectonics* **35/6**, 1526–1559. <https://doi.org/10.1002/2015tc004109>
- BOSTICK, N. H. 1979: Microscopic measurements of catagenesis of solid organic matter in sedimentary rocks to aid exploration for petroleum to determine former basin temperatures — a review. — In: SCHOLLE, P. A. & SCHLUGER, P. R. (eds): *Aspects of diagenesis: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* **26**, 17–43. <https://doi.org/10.2110/pec.79.26.0017>
- BROOKS, J., CORNFORD, C. & ARCHER, R. 1987: The role of hydrocarbon source rocks in petroleum exploration. — *Marine Petroleum Source Rocks, Geological Society Special Publication* **26**, 17–46. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1987.026.01.02>
- CHUNG, H. M., GORMLY, J. R. & SQUIRES, R. M. 1988: Origin of gaseous hydrocarbon in subsurface environments: Theoretical consideration of carbon isotope distribution. — *Chemical Geology* **71**, 97–103. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90108-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90108-8)
- CONNAN, J. 1974: Time-temperature relation in oil genesis: geological notes. — *AAPG Bulletin* **58/12**, 2516–2521. <https://doi.org/10.1306/83d91beb-16c7-11d7-8645000102c1865d>
- COSGROVE, J. W. 2001: Hydraulic fracturing during formation and deformation of a basin: A factor in the dewatering of low-permeability sediments. — *AAPG Bulletin* **85/7**, 737–748. <https://doi.org/10.1306/8626c997-173b-11d7-8645000102c1865d>
- DANK, V. 1988: Petroleum Geology of the Pannonian basin, Hungary: An overview. — In: *The Pannonian basin: A study in basin evolution, AAPG Memoir* **45**, 319–331.
- DEMAISON, G. & HUIZINGA, B. J. 1994: Genetic Classification of Petroleum Systems Using Three factors: Charge, Migration, and Entrapment. — In: MAGOON, L. B. & DOW, W. G. (eds): *The Petroleum System — From Source to Trap. AAPG Memoir* **60**, 73–89.
- DOWNEY, M. W. 1984: Evaluating seals for hydrocarbon accumulation. — *AAPG Bulletin* **68**, 1752–1763. <https://doi.org/10.1306/ad461994-16f7-11d7-8645000102c1865d>
- DOWNEY, M. W. 1994: Hydrocarbon Seal Rocks. — In: MAGOON, L. B. & DOW, W. G. (eds): *The Petroleum System — From Source to Trap. AAPG Memoir* **60**, 159–164.
- DURAND, B. 1988: Understanding of HC migration in sedimentary basins (present state of knowledge). — *Organic Geochemistry* **13/1–3**, 445–459. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-037236-5.50052-x>
- HETÉNYI, M., KONCZ, I. & SZALAY, Á. 1993: Organic geochemical evaluation of the Makó–3 borehole. — *Acta Geologica Hungarica* **36/2**, 211–222.
- HOBSON, G. D. 1954: *Some fundamentals of Petroleum Geology*. — Oxford University Press, London – New York – Toronto. <https://doi.org/10.1017/s001675680006653x>
- HUNT, J. M. & JAMIESON, G. W. 1956: Oil and organic matter in source rocks of petroleum. — *AAPG Bulletin* **40**, 477–488. <https://doi.org/10.1306/5ceae3e8-16bb-11d7-8645000102c1865d>
- HUNT, J. M. 1990: Generation and Migration of Petroleum from Abnormally Pressured Fluid Compartments. — *AAPG Bulletin* **74/1**, 1–12. <https://doi.org/10.1306/0c9b21eb-1710-11d7-8645000102c1865d>
- JAMES, A. T. 1983: Correlation of Natural Gas by Use of Carbon Isotopic Distribution Between Hydrocarbon Components. — *AAPG Bulletin* **67/7**, 1176–1191. <https://doi.org/10.1306/03b5b722-16d1-11d7-8645000102c1865d>
- JAMES, A. T. 1990: Correlation of Reservoired Gas Using the Carbon Isotopic Compositions of Wet Gas Components. — *AAPG Bulletin* **74/9**, 1441–1458. <https://doi.org/10.1306/0c9b24f7-1710-11d7-8645000102c1865d>
- KÓKAI, J. & POGÁCSÁS, GY. 1991: Hydrocarbon plays in Mesozoic nappes, Tertiary wrench basins and interior sags in the Pannonian basin. — *First Break* **9/7**, 315–334.

- KONCZ, I. & ETLER, O. 1994: Origin of oil and gas occurrences in the Pliocene sediments of the Pannonian basin, Hungary. — *Organic Geochemistry* **21/10–11**, 1069–1080. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0146-6380(94)90070-1)
- KONCZ, I. & HORVÁTH, ZS. 2008: Probable migration mechanisms of hydrocarbons in Drava Basin. — *27th International Petroleum & Gas Conference and Exhibition, Siófok, Abstracts*, PO1
- KONCZ I., LUKÁCS T., HORVÁTH ZS., GELLÉRT B., KAJÁRI M., COTA L., BALEN M. & BIGUNAC D. 2010: Az alsópannon és középsőmiocén anyaközetek organikus fáciése a Dráva-medence északi szárnyán. — *Medencefejlődés és geológiai erőforrások: víz, szénhidrogén, geotermikus energia; a Magyarhoni Földtani Társulat vándorgyűlése, Szeged, GeoLitera* 121–122.
- KONCZ I. 2017: Budafa és Lovászi mezők olajának származása. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat – Kőolaj és Földgáz* **150/5**, 6–9.
- KONCZ I. 2018a: A túlnyomás szerepe szénhidrogén-telepeink létrejöttében. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat – Kőolaj és Földgáz* **151/1–2**, 6–10.
- KONCZ I. 2018b: Az algódi telepek szénhidrogénjeinek eredete és migrációs modellje. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat – Kőolaj és Földgáz*, **151/5–6**, 17–23.
- KONCZ I.: Bakteriális eredetű metánt tartalmazó földgáztelepeink. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat – Kőolaj és Földgáz*, (megjelenés alatt)
- NELSON, P. H. 2009: Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones, and shales. — *AAPG Bulletin* **93/3**, 329–340. <https://doi.org/10.1306/10240808059>
- PAYNE, D. F., TUNCAY, K., PARK, A., COMER, J. B. & ORTOLEVA, P. J. 2000: A Reaction–Transport–Mechanical Approach to Modeling the Interrelationships Among Gas Generation, Overpressuring, and Fracturing: Implications for the Upper Cretaceous Natural Gas Reservoirs of the Piceance Basin, Colorado. — *AAPG Bulletin* **84/4**, 545–565. <https://doi.org/10.1306/c9ebce4b-1735-11d7-8645000102c1865d>
- PETERS, K. E. & MOLDOWAN, J. M. 1993: *The Biomarker Guide*. 247 p.
- PETERS, K. E., WALTERS, C. C. & MOLDOWAN, J. M. 2005: *The Biomarker Guide*. — Cambridge University Press, I–II, 1155 p. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107326040.012>
- PRICE, L. C. 1980: Utilization of vertical oil migration in deep basins. — *Journal of Petroleum Geology* **2/4**, 353–387. <https://doi.org/10.1306/bf9ab5b7-0eb6-11d7-8643000102c1865d>
- RONOV, A. B. 1958: Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the presence of petroleum). — *Geochemistry* **5**, 497–509.
- ROUCHET, J. 1981: Stress Fields, a Key to Oil Migration. — *AAPG Bulletin* **65/1**, 74–85. <https://doi.org/10.1306/2f919774-16ce-11d7-8645000102c1865d>
- SAJGÓ, CS. 1984: Organic geochemistry of crude oils from Southeast Hungary. — *Organic Geochemistry* **6**, 560–578. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(84\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0146-6380(84)90079-2)
- SHANLEY, K. W., CLUFF, R. M. & ROBINSON, J. W. 2004: Factors controlling prolific gas production from low-permeability sandstone reservoirs: Implication for resource assessment, prospect development, and risk analysis. — *AAPG Bulletin* **88/8**, 1083–1121. <https://doi.org/10.1306/03250403051>
- SORKHABI, R., TSUJI, Y. 2005: The Place of Faults in Petroleum Traps. — In: SORKHABI, R. & TSUJI, Y. (eds): *Faults, fluid flow, and petroleum traps*. — *AAPG Memoir* **84**, 1–31.
- STAHL, W., FABER, E., CAREY, B. D. & KIRKSEG, D. L. 1981: Near-Surface Evidence of Migration of Natural Gas from Deep Reservoirs and Source Rocks. — *AAPG Bulletin* **65**, 1543–1550. <https://doi.org/10.1306/03b59611-16d1-11d7-8645000102c1865d>
- SZALAY Á. & KONCZ I. 1980: Szénhidrogén-képződési és migrációs folyamatok a délkeletalföldi és a Dráva süllyedékekben. — *Kőolaj és Földgáz* **13 (113)/6**, 177–186.
- SZALAY Á. 1982: A rekonstrukciós szemléletű földtani kutatás lehetőségei a szénhidrogén-perspektívák előrejelzésében a DK-Alföldi neogén süllyedékek területén. — *Kézirat*, kandidátusi értekezés.
- SZUROMI-KORECZ, A., SÜTŐ-SZENTAI, M. & MAGYAR, I. 2004: Biostratigraphic revision of the Hod-I well: Hungary's deepest borehole failed to reach the base of the upper Miocene Pannonian Stage. — *Geologica Carpathica* **55**, 475–485.
- THOMPSON, K. F. M. 1983: Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons. — *Geochimica Cosmochimica Acta* **47/2**, 303–316. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90143-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90143-6)
- TISSOT, B-P. & WELTE, D. H. 1984: *Petroleum Formation and Occurrence*. — Springer-Verlag, 185 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8>
- VÖLGYI L., SZERECZ F., HAJDÚ D., KURUCZ B., MÉSZÁROS L., NÉMETH G., FÖLDEÁK P.-NÉ, SZENTGYÖRGYI K.-NÉ, HORVÁTH R., KOVÁCS Zs., TORMÁSSY VARGA É., DALLOS E.-NÉ, NAGY M.-NÉ, & SZÜCS L. 1985: *Magyarország kőolaj- és földgáz-előfordulásai (1935–1985)*. Kézirat beérkezett: 2019. 03. 21.