

A cikk szerzőjének előszava

Félreértések elkerülése végett rögtön az elején szögezzük le, Kedves Olvasó, a cikk szerzője maga is geofizikus. Diplomáját 1993-ban a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerezte. Bár egyetemi tanulmányai alatt is hallgatott geokémia kurzusokat, tudása legjavát a MOL Rt. dolgozójaként dr. KONCZ Istvántól sajátította el. Az alább olvasható dolgozat megszületésének első indíttatása a szerző birtokába jutott geokémiai ismeretek rendszerezése volt. Szerencsés véletlennek mondható, hogy a kutatásban élő területet elemző téma felkerült az 1995. május 18–19-én Egerben megrendezett Ifjú Geofizikusok An-kétjának programjára.

Az előadás mindenekelőtt azt tűzte ki célul, hogy ízelítőt adjon a geokémikusok munkájáról, és a szakembereket a társtudományok szénhidrogén-kutatásban való alkalmazására ösztönözze. A szerző véleménye szerint a prezentáció nem új, önálló tudományos eredmények bemutatásával, mint inkább egyedi hangvételével és stílusával vívta ki az elismerést. Annak oka, hogy a cikk több szempontból rendhagyó, az, hogy az előadó igyekezett minden lehetséges aspektust megtartani a sajátos hangulatból. A zsűri a cikk íróját Legjobb Előadói-díjjal jutalmazta, ami a Svájcban megrendezésre került GAP diákkonferencián való részvétel volt.

Mielőtt azonban Ön is értékelné dolgozatomat, Kedves Olvasó, engedje meg, hogy köszönetet mondjak munkatársaimnak, akik bátorítottak, megosztották velem tapasztalataikat, és az első lépésektől kezdve segítséget nyújtottak a szakmai kérdések megválaszolásában, az ábrák szerkesztésében, rajzolásában.

Végül, de nem utolsósorban hadd mondjak köszönetet a Magyar Geofizikusok Egyesületének az elmé-nyekben gazdag svájci utazás előkészítéséért.

Ujjé! Megvan a tároló szerkezet! — kiáltotta a geofizikus hosszú napok fáradságos munkája után, és aznap este meglegedetten tért nyugovóra. De ez itt nem a történet vége, Kedves Olvasó. Az alantas bonyodalmak csak erre a pillanatra vártak.

Hősünk másnap reggel furcsa zajra ébredt. Ám mire belebújt papucsába, és az ajtóhoz botorkált, már csak egy fehér boríték éktelenkedett a küszöb alatt. A levélnek természetesen nem volt feladója. A geofizikus döbbenet olvasva saját szavait rögtön az első sorban:

Ujjé! Megvan a tároló szerkezet!
Na jó, de...
Van-e anyaközet?
Legendá-e a szerves ANYAG?
Milyen TÍPUSÚ a szerves anyag?
Megfelelő-e a **termikus érettség**?
Lehetséges-e a migráció?

Hiába próbálta elhessegetni őket, a megválaszolatlan kérdések szüntelenül a fülében duruzsoltak. Kétségbeesésében a hatóságokhoz fordult segítségért, kutatnak fel, ki volt az anonim feladó, hátha így közelebb kerülhetne a nyugtalanító problémák megoldásához. Az illetékesek nem tétlenkedtek, és még aznap előállították a gyanúsítottakat. Két kőzetmintát, és két üvegcsé olajat. A gyanúsítottak a geofizikus által tanulmányozott Somogyudvarhely—Tarany—Nagyatád kutatási területről származtak (1. ábra).

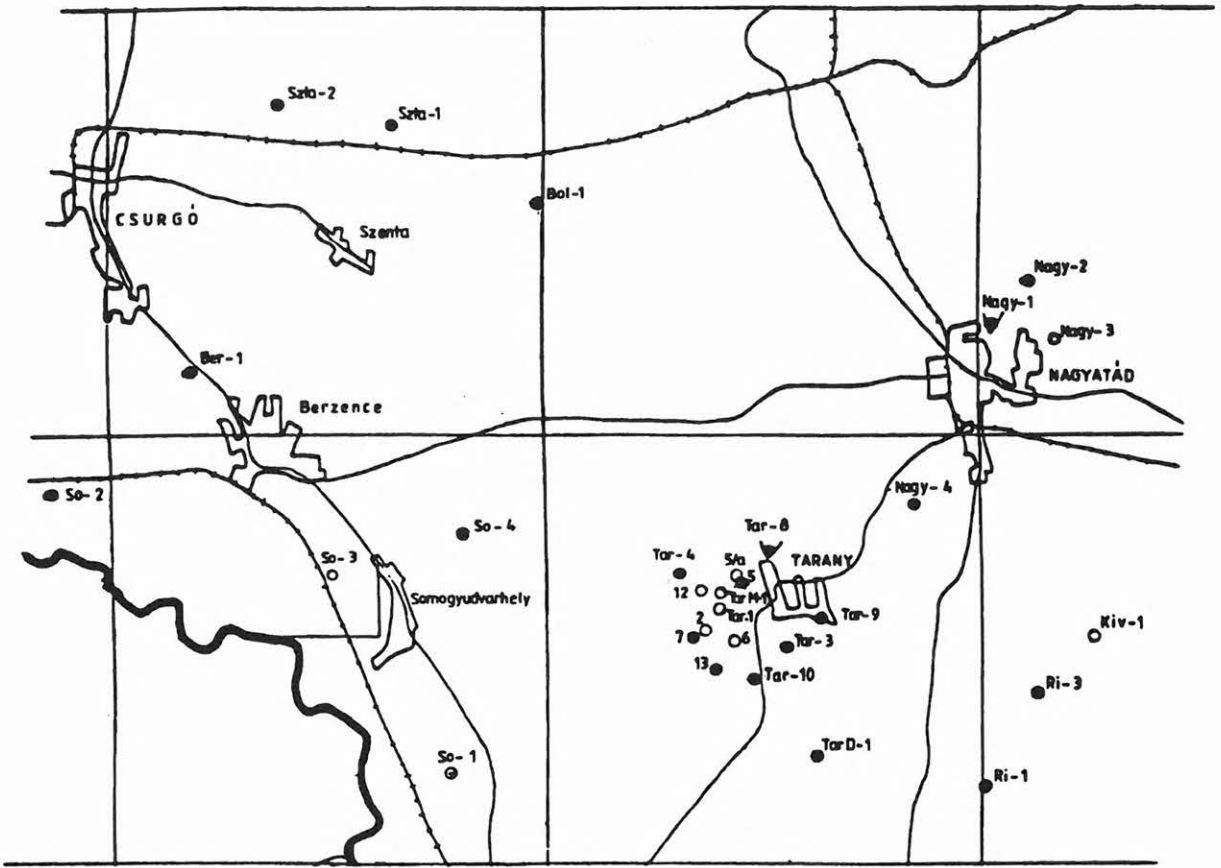
Ám a tisztviselők minden igyekezete ellenére a hagyományos kihallgatási módszerek semmi eredményt nem hoztak. Akkor úgy döntöttek, értesítik a „modern kor inkvizitorait”, a geokémikusokat.

Az inkvizítorok azon nyomban munkához láttak. Miután megtanakodták a tennivalókat, elsőként a kőzeteket fogták vattalóra. A két minta közül az egyik illetősége szerint hallgasson Nagyatád névre, a másikat nevezzük Taranynak. A máglyacsoport, mely a tradicionális eszközök híve volt, a szerves széntartalom kisavazása után 1000–1100 °C hőmérsékleten széndioxidáégette a minták szerves széntartalmát. A felszabaduló gázt adszorbeálva és tömegét megmérve regisztrálták az első geokémiai paramétert: a szerves széntartalmat (C_{org}). Nagyatádnak magas, 29,14 mg/g, míg Taranynak alacsony, 8,38 mg/g volt a szerves széntartalma.

Tudvalevő, hogy a szerves anyag két legfontosabb átalakulási terméke a kerogén és a bitumen. A szerves anyagban eredendően legnagyobb mennyiségben a szerves oldószerekben oldhatatlan kerogén van jelen. A szerves oldószerekben oldható bitumen már zömében a kerogén termikus bomlásának (katagenézisének) terméke. A kerogén a szerves anyag autochton hányadát képezi, míg a bitumen a migrációra képes részt alkotja. A vizsgálatok az utóbbi, kloroformban oldható bitumentartalom (S_k) meghatározásával folytatódottak. A Tarany neve mellé írt 9,93 mg/g több, mint négyszer akkora volt, mint Nagyatád vallomásában a 2,42 mg/g S_k érték.

A geokémikusok a fenti két paraméterből megalkottak egy harmadik mennyiségi jellemzőt: a bitumen együtthatót (koefficiens) $\beta = S_k/C_{org}$. Tarany 1,18 g/g bitumen együtthatója a legnagyobbak közül való volt, míg Nagyatád 0,08 g/g koefficiense egyértelműen autochton bitumentartalomra utalt.

Az inkvizítorok máglyacsoportjával párhuzamosan azonban tevékenykedett egy másik csapat is, akik oxigén kizárása mellett a lassú tűzön sütögetés módszerét, az úgynevezett Rock-Eval analízist alkalmazták. Azt figyelték, vajon a kőzetminták mely hőmérséklet-tartományokra a legérzékenyebbek, és ezeken a hőmérsékleteken milyen információkat szolgáltatnak. A vattalók folyamatosan mérték a pirolízis során keletkező szénhidrogén mennyiségét (S_1), amely első lépésben 300 °C körüli hőmérséklet-intervallumban csúcsosodott ki. Ez volt az az érték, ahol a mintában lévő szabad szénhidrogének feladták a



1. ábra. A geofizikus által tanulmányozott terület

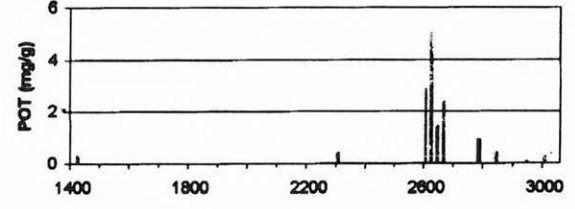
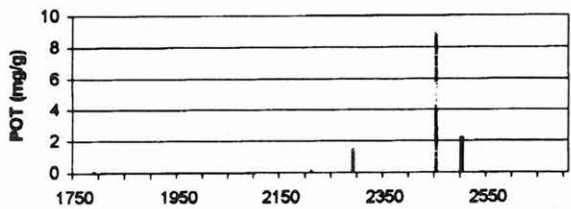
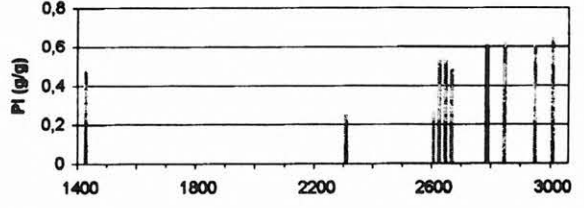
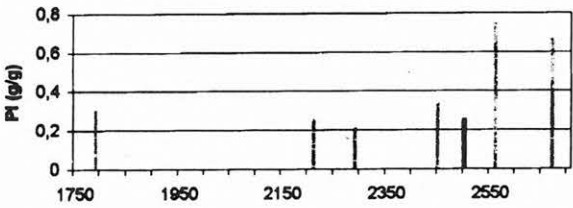
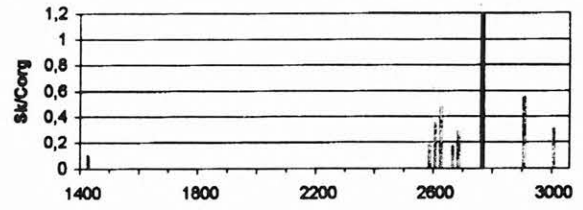
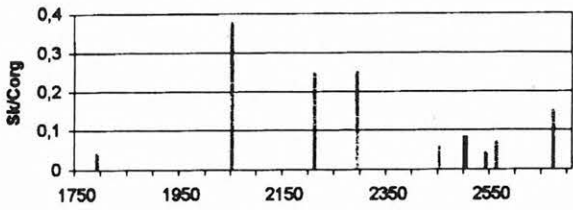
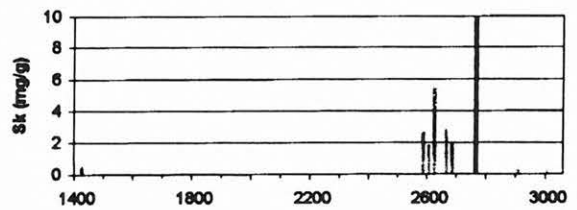
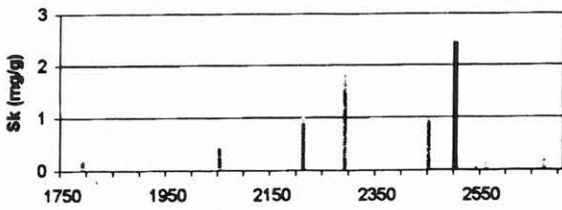
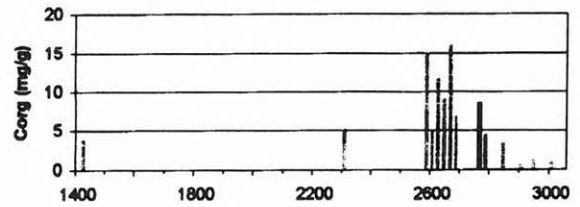
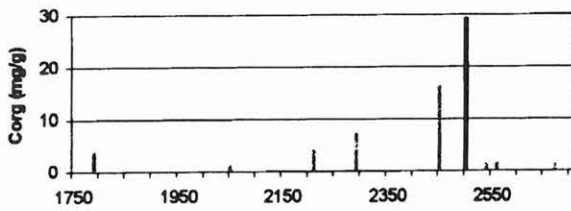
küzelmet, és elbomlottak. A második pirolízis lépcsőben 400 °C közelében növekedett meg ismét a szénhidrogén mennyisége. Az utóbbi hőmérséklet-hez tartozó S_2 csúcs azt a kerogénrészt indikálta, amelyből megfelelő mélységben, illetve a szükséges nyomás- és hőmérsékletviszonyok között további szénhidrogének keletkezhetnek volna. A geokémikusok regisztrálták azt a T_{max} -szal jelölt hőmérsékletet is, ahol a második pirolízis lépcsőben legnagyobb volt a szénhidrogén-képződés sebessége. A csúcsok alatti területeket szimbolizáló S_1 és S_2 mennyiségek alapján határozták meg a negyedik és ötödik geokémiai paramétert: a szénhidrogén-potenciált ($POT = S_1 + S_2$), illetve a produktivitási indexet ($PI = S_1/POT$). A szénhidrogén-potenciál értéke Nagyatádnál 2,17 kg/t, míg Tarany esetében a legalsó POT -tartományba eső 0,87 kg/t volt. Minél nagyobb ez a számérték, annál valószínűbb, hogy a kőzetminta anyakőzetet reprezentál. Nagyatádra vonatkozóan 0,25 g/g produktivitási indexet, Taranyt illetően pedig 0,60 g/g produktivitási indexet állapították meg. A kiugróan magas 0,60 g/g határozottan migrációs eredetű szerves anyag jelenlétére utal.

A laikus geofizikus izgatottan figyelte az eseményeket. A szigorú tekintetű inkvizítorok először vonultak vissza döntéshozatalra. Összevetve az eddigi vizsgálatok eredményeit a főinkvizítor a nyilvánosságot ekképpen tájékoztatta:

- Nagyatád minta lépjen elő! Mind szerves széntartalma, mind szénhidrogén-potenciálja anyakőzet jellegű képződmény feltételezését indokolja. Bitumentartalma autochton eredetű. A továbbiakban a potenciális anyakőzetek közé sorolom.
- Tarany minta lépjen elő! Bizonyosságot nyert, hogy sem szerves széntartalma, sem szénhidrogén-potenciálja alapján nem tesz eleget az anyakőzetek kritériumainak. Kloroformban oldható bitumentartalma, bitumen egyúthatója és produktivitási indexe egyértelműen oldható szerves anyagának allochton jellegére utal. További kutatás tárgyát képezi, vajon Ön a potenciális tárolókőzetek, vagy a migrációs vezetősínek jeles képviselője.

A jegyzőkönyvbe bekerült a vizsgálatok eredményeit megjelenítő két ábra, mely az újonnan nyilvántartásba vett mintákon kívül az ugyanazon helyről származó, korábban analizált kőzetek geokémiai paramétereit is bemutatta (2. ábra, 3. ábra). Vastag fekete vonal jelöli az előállított Nagyatád és Tarany kőzetmintákat.

Az elvégzett mérések alapján a geokémikusok új kvantitatív jellemzőt határoztak meg: a hidrogén indexet ($HI = S_2/C_{org}$). Tarany neve mellé 79 mg/g, Nagyatád neve mellé pedig 60 mg/g HI érték került. A számok egyértelműen III. típusú szerves anyagot jeleztek. Ez az a kategória, ahol egységnyi tömeg kőzetre vonatkoztatva a legkevesebb szénhidrogén



2. ábra. Nagyatád

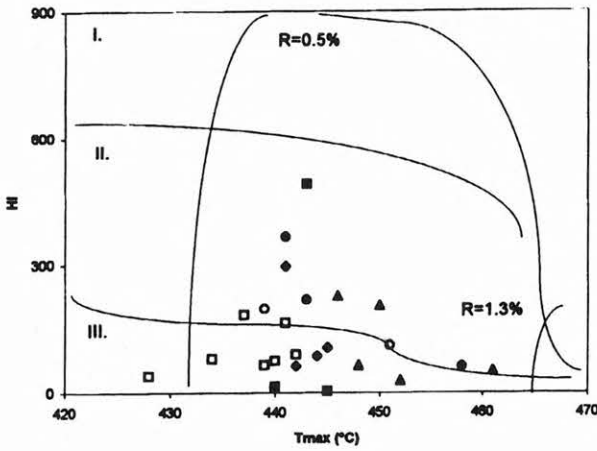
3. ábra. Tarany

képződik, és a szerves anyag (C_{org}) egységnyi tömegét alapul véve a keletkező szénhidrogén legnagyobb hányada gáz fázist képvisel. Többnyire III. típusú szerves anyagot tartalmaznak hazánkban az alsópannon márgák, agyagmárgák és az alsópannon, valamint miocén mészmárgák is. A hidrogén indexeket a korábban definiált T_{max} hőmérsékletek függvényében ábrázoló diagram szemléletesen különíti el a kerogéntípusokat (4. ábra).

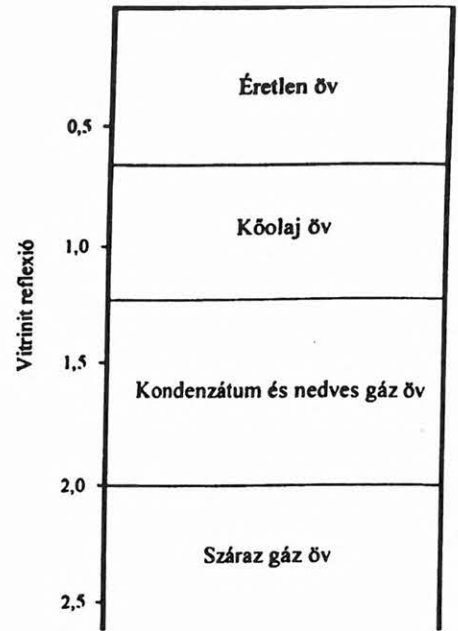
A szárazföldi (terrigén) eredetű szerves anyag legfontosabb alakos alkotórésze a vitrinit. A máglyacsapat mellett a modern kor technikai vívmányait is felvonultató inkvizítorcsoport reflexiók mikroszkópja alatt a kőzetminták vékonycsiszolatain a vitrinit szemcsék fényvisszaverő képességét tanulmányozta. A mérések eredményeképpen születtek meg az R_m

vitrit reflexió értékek. A vitrinit reflexió, a T_{max} hőmérséklet, illetve Nagyatád esetében a kiértékelhető produktivitási index a szerves anyag termikus érettségéről nyújtanak információt számunkra. A geokémikusok megállapították: mindkét kőzetminta a kőolajképződés fő fázisának megfelelő stádiumban van, amelyben a kerogén hőbomlása során főként kőolaj-szénhidrogének keletkeznek, amennyiben a szerves anyag típusa ezt lehetővé teszi.

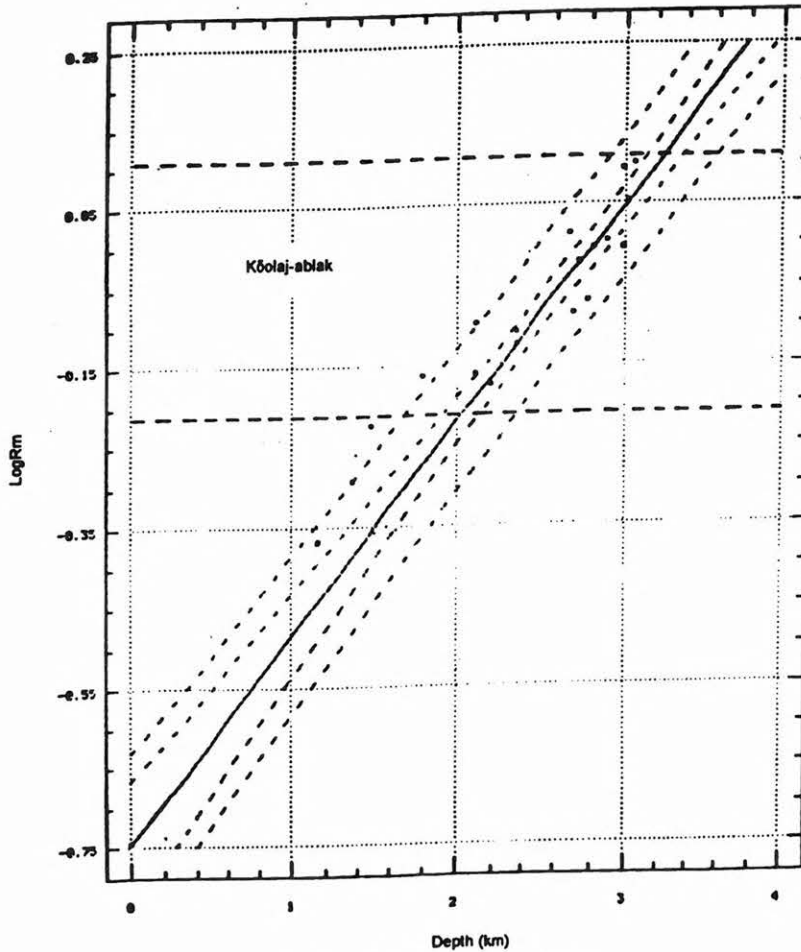
Mikor a későbbiek során egyszer a geofizikus a vizsgálati jegyzőkönyvet lapozgatta, demonstratív ábrára lett figyelmes. Alkotói a koordináta-rendszerben egy adott fúrás magmintáin mért vitrinit reflexió értékek logaritmusát ábrázolták a mélység függvényében. A pontokra egyenest illesztettek, és a két paraméter közötti empirikus összefüggést meg-



4. ábra. Kerogéntípusok



5b. ábra. Szénhidrogén-genetikai állapotok [TISSOT-WELTE nyomán 1978]



5a. ábra. Vitrinit reflexió diagram

állapítva kijelölték a kőolaj-ablak alsó és felső határát, figyelembe véve a képződési fázisoknak megfelelő vitrinit reflexió tartományokat. A kőolajképződés fő fázisának megfelelő mélységben nyílik a kőolaj-ablak. Az így készült diagramok lehetőséget

nyújthatnak termikus folyamatok követésére is az egyenes gradiensét, illetve annak változását vizsgálva (5a., 5b. ábra).

A jegyzőkönyv összesített táblázatát közölt a két minta mérési adatsorára vonatkozóan (1. táblázat).

	Nagyatád	Tarany
C_{org} (mg/g)	29,14	8,38
S_k (mg/g)	2,42	9,93
β (g/g)	0,08	1,18
POT (kg/t)	2,17	0,87
PI (g/g)	0,25	0,60
R_m	0,58	0,84
HI (mg/g)	60	79

Ezzel befejeződött a kőzetminták analízisa. Engedjünk meg magunknak egy kis pihenőt, Kedves Olvasó! A büfében feketekávé illata lengedez, ínycsiklandozó pizzák sülnék a faszenes kemencében, és geofizikusunk gondolataiba merülve hallgatja az ismert melódiát.

Közben a laboratórium asztalán a két olajminta várja beteljesedni sorsát. Hadd invitáljam hát ismét, Kedves Olvasó! Vegyünk nagy levegőt, és induljon a második felvonás!

Az inkvizítorok fő szövetségese, a tűz azonnal munkához lát. Atmoszférikus nyomáson végzik a geokémikusok a kőolajminták desztillációját, 100—275 °C hőmérséklet tartományban 25 °C-onként mérve a desztillációs frakciók sűrűségét és az atmoszférikus lepárlás súlyszázalékos maradékát.

A szénhidrogén-fluidumok típusának megállapítása céljából a desztilláció

I. kulcsfrakciójának 250—275 °C-on mért sűrűségét és lepárlási maradékának súlyszázalékát koordináta-rendszerben ábrázolják. A diagramon már feltüntetett az ugyanezen területről származó olajminták adatpárjait. Az új eredmények a fennálló koncepcióban nem hoztak változást. Így a vizsgálatok alap-

ján a tanulmányozott telepek kőolaja két populációt alkot. Az azonos fiziko-kémiai jellemzőkkel rendelkező nagyatádi olajokat a Nagyatád-típusba, míg a taranyi fúrások szénhidrogén-fluidumait a Tarany-típusba sorolták (6. ábra).

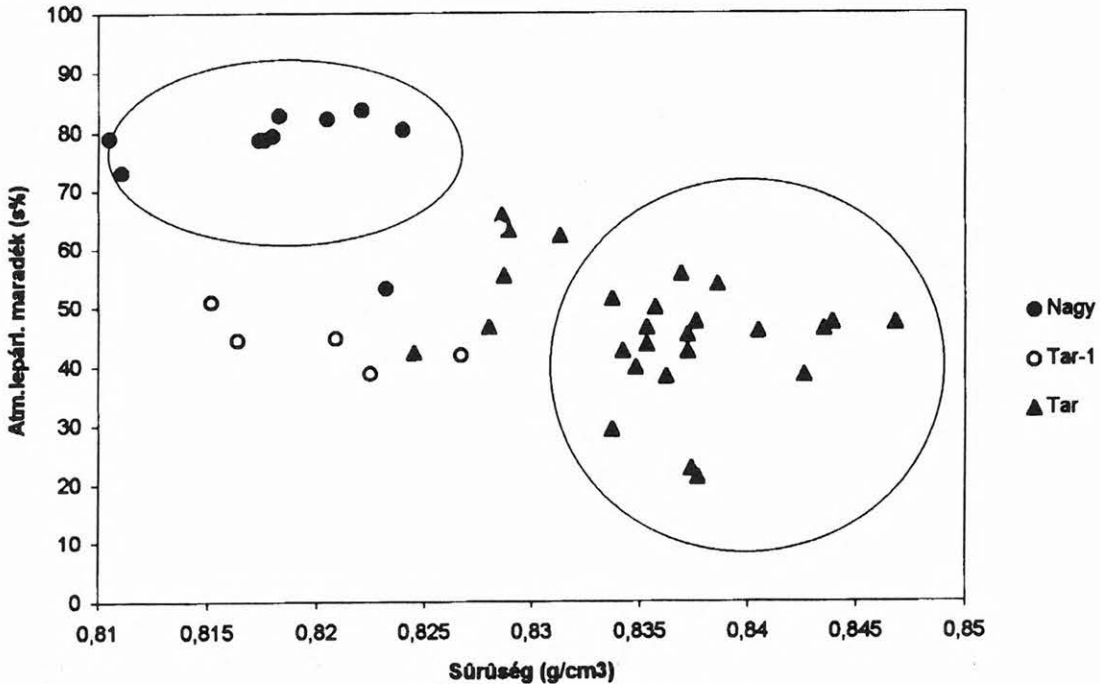
Az előzetes feldolgozás során a Tarany típusú fluidumokkal kapcsolatban fejtörést okozott egy előfordulás (Tar-1). Olajmintái atmoszférikus lepárlási maradékuk szerint Nagyatád típusúak lettek volna, ám I. kulcsfrakciójuk sűrűsége inkább illesztette őket a Tarany típusba. De kéznél volt a megoldás kulcsa, a fluidum-fluidum genetikai korreláció, mely két kérdésre adhat választ.

- Először: a tanulmányozott terület kőolajai hány eltérő forrásból származhatnak?
- Másodszor: mely kőolajokat rendeli a korreláció azonos populációba?

A genetikai analízis során a geokémikusok a desztillációs mérések adott hőmérsékletekhez tartozó paramétereiből alkották meg a korrelációs indexet (KI). Ezeket a korrelációs indexeket ábrázolták a hozzájuk tartozó hőmérséklet értékek függvényében. A laikus geofizikus számára sem okozott gondot az ábrák értelmezése. A genetikai elemzés egyértelműen eldöntötte: a problémás olajminta a Nagyatád-populáció része (7. ábra).

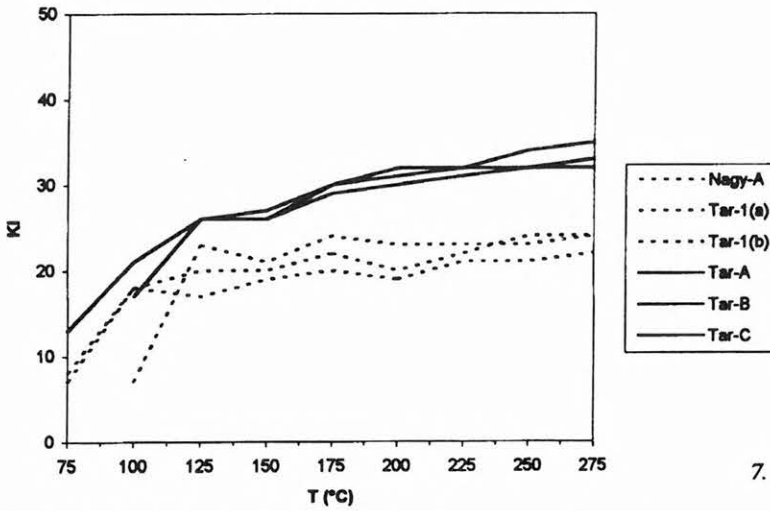
Az I. kulcsfrakció sűrűsége a szénhidrogén-fluidum típusán túlmenően annak jellegéről is informálta az inkvizítorokat. A differenciálódás ebből a nézőpontból is szembeutnő. Eszerint a Tarany típusú olajminta intermedier, míg a Nagyatád típusú kőolaj paraffin jellegű.

A lepárlási maradék súlyszázaléka a Tarany-populáció olaját a könnyű olajokhoz, a Nagyatád-populáció szénhidrogén-fluidumát a normál olajok közé sorolta.



6. ábra. Szénhidrogén-fluidum típusok

Intermediér-Paraffin



7. ábra. Genetikai korreláció

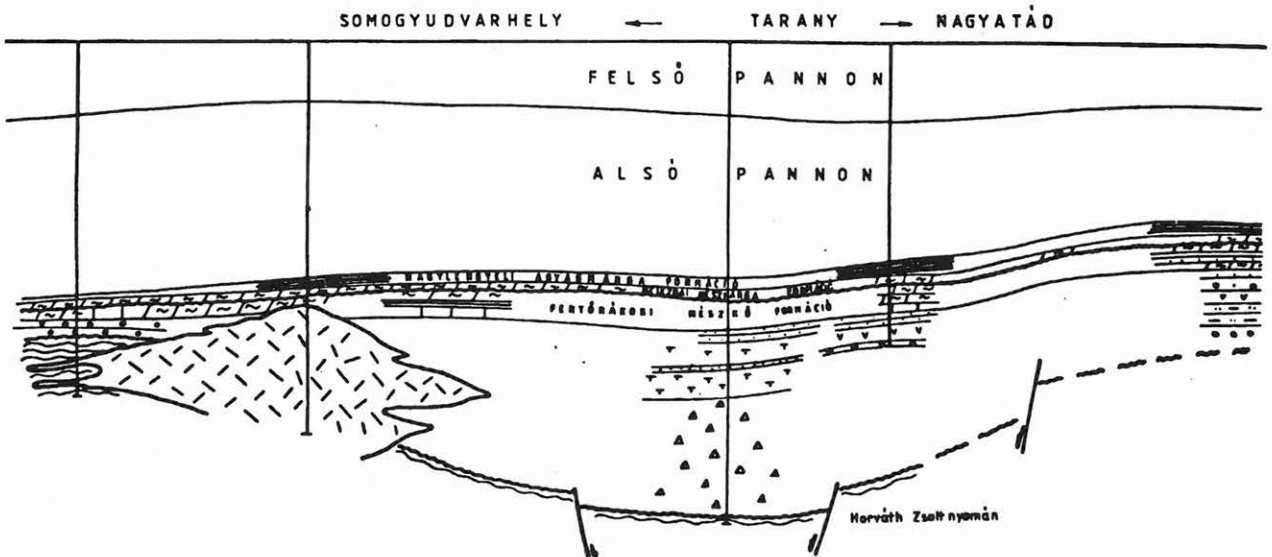
A jegyzőkönyv végén földtani szelvény ábrázolta a kutatási területen érvényes geológiai viszonyokat (8. ábra).

- Nagyatád: kiterjedt a törmelékes pelitüledékek képződése. A Fertőrákosi Mészke Formáció felső bádeni összetételének márga, agyagmárga, mészmárga kifejlődésű kőzetei, melyeket a Nagyatád minta is reprezentál, potenciális anyakőzetek lehetnek. Az anyakőzet jellegű képződményeket nagyobb mélységekben lehetséges tárolóként követik a homokkő és konglomerátum rétegek.
- Tarany: a keletkezett pelitek magas karbonát-tartalmú üledékek. Potenciális anyakőzetként az alsópannon korú márga, mészmárga rétegek említhetőek, melyek a Beleznai Mészmárga Formáció tagjai. Az alattuk elhelyezkedő rétegsorban található a bádeni korú litho-

thamniumos mészkövek, már mint effektív tároló kőzetek. Tarany minta közülük való.

A tanulmányozott terület egy lehetséges migrációs szintje az alsópannon-miocén diszkordancia felület. Az eddigi vizsgálatok a taranyi előfordulás szénhidrogénjét in situ képződésnek feltételezik, amit a telep alacsony kihozatali tényezője is alátámaszt. Eszerint, ha szerepet játszott is a migráció a telep kialakításában, annak csak vertikális komponense lehet figyelemre méltó.

Az inkvizítorok missziója betöltötte hivatását. Íme, Kedves Olvasó, lábaink előtt a modell a potenciális anyakőzet és tároló képződményekkel, elkülönítve két kőolaj-genetikai populációt. A geofizikus szótlanul állt. Bár csak belekóstolhatott, mégis lenyűgözte a feltárulkozó, ismeretlen világ. És mi mindent nem láthatott! A rétegvizek sótartalmának, jód- és brómtartalmának analízise, mely elvezethet hidrodinamikai folyamatok, migrációs jelenségek felis-



8. ábra. A kutatási terület jellemző földtani szelvénye

meréséhez, a szénizotóp mérések, a biomarker-vegyület vizsgálatok! A csodák tárháza ez, mint minden tudomány. Érezte hősi, mily nagy kincsek birtokába jutott.

... és aznap este a fáradságtól kimerülten, de ismét a megelégedettség boldog érzésével hajtotta fejét nyugovóra.

HIVATKOZÁSOK

Geológiai Kézikönyv 1985. A Magyar Szénhidrogén-ipari Kutató—Fejlesztő Intézet kiadványa. Szedimentológia III. kötet 1992. Akadémiai Kiadó, Budapest

Györfi Ildikó

A magyar bauxitgeofizika története

I. Felszíni geofizikai mérések

A karsztbauxitok képezik az egyedüli olyan magyar nyersanyagkincset, amelyekből készleteink európai szinten is számottevőek. Ezek a karsztbauxit előfordulások azonban bonyolult településűek, gyakran kis kiterjedésűek, és minőségük is nagyon változó. A geofizikai kutatásnál problémát okozott az, hogy a jó minőségű bauxitmezők fedőösszlete geofizikailag inhomogén, gyakran fordul elő bennük olyan geofizikai árnyékoló réteg, amely a mélyebben fekvő bauxittest geofizikai kutatását megnehezítette. A kutatást az is gátolta, hogy a bauxit fekvését alkotó karsztközetek — a karsztosodás, a töredezettség és a mállás függvényében — geofizikai paramétereiket széles sávban változtatják. Végeredményben ezek a problémák inspirálták a kutatókat arra, hogy a magyarországi bauxitgeofizika új utakat keresve induljon fejlődésnek. Magyarországon jelenleg már rendelkezünk olyan geofizikai kutató módszerekkel, amelyek a bauxit kutatásánál beváltak.

A történelmi Magyarországon az erdélyi Bihar-hegységben ismerték fel az első bauxitlepeket 1903-ban. A trianoni békeszerződés után 1920-ban Gánton fedeztek fel bauxitot, majd 1926-ban indították azokat a nyírádi kutatásokat, amelyek során Izamajor, Deákpuszta és Nagytárkánypuszta közelében találtak bauxitot. A halimbai és nagygyházi bauxit lelőhelyeket 1941-ben VADÁSZ Elemér ismerte fel.

1954-től a Bauxitkutató Vállalat, a későbbi Magyar Alumíniumipari Tröszt végezte az ipari bauxitkutatást (BÁRDOSSY Gy., SZANTNER F. és munkatársai vezetésével). A bauxitprognosztikai kutatások terén a MÁFI-ban folyt jelentős tevékenység (HAAS J. és munkatársai révén).

Hazánk műrevaló bauxitlepei jelenleg döntően a Bakony, a Vértes és a Gerecse hegységekben, illetve azok előterében található. Az ország hasznosítható bauxitvagyon 1990-ben a Föld összes bauxitvagyonának 1%-át sem érte el. A magyar bauxitvagyon világméreteken tehát nem számottevő, Magyarország számára viszont jelenleg is fontos. A magyar alumíniumipar részére az ezredfordulón túl is biztosítja az 1991-től csökkenő szintű termelést, annak ellenére, hogy a magyar bauxitvagyon jelentős része a karsztvízszint alatt van és jelenleg — tekintettel a

környezetvédelemre — kitermelésük nem megoldott.

A Bauxitkutató Vállalat (és jogelődei) már korán, 1950-ben felismerték a geofizika szükségességét a bauxitkutatásnál. A feladat bonyolultsága miatt azonban a geofizika kezdetben ennek az igénynek nehezen tudott megfelelni. Kezdeti sikerek után ugyanis a nagy mennyiségű, rutin jellegű mérések eredményei nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket. Eltartott vagy másfél évtizedig, amíg a kutatók felismerték a magyar előfordulások sokfajta bauxitgeofizikai modelljét és kialakultak a kutatásukra legjobban megfelelő geofizikai módszerek. „Ezután váltak a felszíni geofizikai mérések a bauxitkutatás szerves részévé. Egyre újabb mérési módszerek bevezetésével egyre nagyobb mélységig terjesztették ki a bauxitfekü domborzatának, újabban magának a bauxitos összletnek az előrejelzését. A geofizikai anomáliák földtani értelmezését és a fúrás telepítést a geofizikusok és a bauxitgelógusok közösen végezték.” [BÁRDOSSY et al. 1984].

A bauxitgeofizika magyarországi történetében több szakaszt kell elkülönítenünk, amelyek szorosan kapcsolódtak a kutatás céljához és a geofizika gyakorlati hatékonyságához. Az alábbi szakaszokról beszélhetünk:

- a kísérletek szakasza (1950—1965);
- a bauxitfekü mélységének a meghatározása (1966—1974), erre a célra a gravitációs mérések, a szeizmikus-refrakciós mérések és geoelektromos ellenállásmérések együttes alkalmazása bizonyult sikeresnek;
- a bauxittároló szerkezetek közvetett kutatása (1975—1981), ebben az időszakban az egyenáramú geoelektromos térképező módszerek hazai fejlesztésére és olyan elektromágneses térképező műszerek bauxitgeofizikai adaptációjára került sor, amelyeket Kanadában teléres ércek kutatására hoztak létre; (a feladat megoldásához tartozott a központi nagyszámítógépeken való feldolgozás);
- a bauxitlepek közvetlen geofizikai kutatása (1982—1988), ebben az időszakban elektromágneses frekvencia-szondázásokra, elektromágneses időtartománybeli (tranzien) szondázásokra, nagyfrekvenciás szeizmikus reflexiós mérésekre került sor; (a munka része volt