

## A jó, a rossz és a csúf? – avagy a szénhidrogén-kutatás dicső múltja, (még) létező jelene és bizonytalan jövője a Pannon-medencében – Szemle

LEMBERKOVICS Viktor<sup>1</sup>, KISS Károly<sup>2</sup>, VÁRY Miklós<sup>3</sup>, KISS Balázs<sup>4</sup>, KOVÁCS Gábor<sup>5</sup>

<sup>1</sup>lemerkovic36@outlook.hu

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutató Intézet (afkkiss@uni-miskolc.hu)

<sup>3</sup>Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum (ni.bapu@gmail.com)

<sup>4</sup>MOL Nyrt. (bakiss@mol.hu)

<sup>5</sup>Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 1145 Budapest, Columbus utca 17–23. (kovacs.gabor@mbfsz.gov.hu)

---

### *The good, the bad and the ugly? – or the past, the (still) existing present and the uncertain future of the hydrocarbon exploration in the Pannonian Basin – Review*

#### Abstract

The history of hydrocarbon exploration in Hungary now covers more than a century. Starting with the simple tools used initially and surface maps, the domestic hydrocarbon exploration grown by now into a multidisciplinary, complex industry, following and applying international trends and techniques. From time to time, new exploration techniques have been introduced in the constantly “maturing” Pannonian Basin, and significant discoveries have been made, which indicate the continuous development and success of the professionals involved. In this paper, the authors do not aim to summarise all exploration results or applied technological innovations in chronological order. Nevertheless, we would like to present the ones that have significantly contributed to the current effectiveness of the exploration as milestones, at least in our opinion. All eras have had and have such significant technological development and discoveries which further development could not have taken place, or would have followed a much more difficult path. It is enough to think of the Eötvös pendulum, the routine application of 2D and – much later – 3D reflection seismic measurements, the spread of computers in the exploration workflow, or today’s complex geological models not to mention the significant breakthrough, such as Hajdúszoboszló, Nagylengyel, Algyő, or the recently discovered fields.

Past, present, future. There is concrete knowledge and factual material about the former two, regardless of whether we have to talk about good or bad things. However, the future is challenging both for the global and for the Hungarian oil and gas industry. Exploration of a mature hydrocarbon province is difficult not only because of the remaining undiscovered field sizes are expected to be rather small, which are mostly at the limit of commercial success and requires a complex technology. Despite the increasing demand of resources as supply chains are “short-circuited” due to globalization, high economic dependence, the energy policy chosen by the European Union as a whole it is a significant challenge that is becoming increasingly difficult for E&P companies and professionals. We also try to outline some possible technical solutions to these challenges, some of which may really lead to a not so ugly future.

*Keywords: hydrocarbon exploration & production, field geophysics, 2D–3D seismic data, geo-modelling, drilling, HC discovery, DHI, underexplored plays*

---

#### Összefoglalás

A magyarországi szénhidrogén-kutatás története immár több mint egy évszázados távlatra tekint vissza. A kezdeti egyszerű eszközökkel, felszíni térképek alapján történő kutatásból mára – követve és alkalmazva a nemzetközi trendeket és technikákat – egy sok tudományágat felölelő, komplex iparágá nőtt ki magát a honi szénhidrogénipar is. A kutatási szempontból folyamatosan „érő” Pannon-medencében időről-időre kerültek bevezetésre újabb kutatási technikák, történetek jelentős felfedezések, melyek jelzik a szakemberek folyamatos fejlődését és sikereit. Cikkünkben nem célunk minden kutatási eredményt vagy alkalmazott technológiai újítást kronológiai sorrendben bemutatni, azonban azokat, melyek megítélésünk szerint jelentősen hozzájárultak a kutatás mindenkorai eredményességéhez mint mérföldköveket szeretnénk ismertetni. Minden korszaknak voltak és vannak olyan nagy jelentőségű technológiai újításai és felfedezései, amelyek nélkül a további fejlődés nem, vagy sokkal rögzöbber úton ment volna végbe. Elég csak az Eötvös-ingára, a 2D majd – jóval később – a 3D szeizmikus mérések rutinszerű alkalmazására, a számítógépek kutatásban való térhódítására vagy a mai komplex geológiai modellekre gondolni, hogy a jelentősebb eredményeket, mint például a hajdúszoboszlói, nagylengyeli, algyői vagy a közelmúltban felfedezett mezőket ne is említsük.

Múlt, jelen, jövő. Előbbi kettőről konkrét tudás, értékelhető tényanyag áll rendelkezésre, függetlenül attól, hogy jó vagy rossz dolgokról kell beszélnünk. A jövő azonban számos kihívást jelent a nemzetközi és a hazai olajipar számára. Egy érett szénhidrogén-medence kutatása nemcsak a komplex technológiát igénylő, többnyire éppen csak a gazdaságosság határán mozgó, kis méretű, reménybeli mezők miatt van nehéz helyzetben. A növekvő nyersanyagigény ellenére a globalizáció miatt „rövidre zárt” ellátási láncok, a nagymértékű gazdasági függőség, az Európai Unió által választott energiapolitika összességében olyan méretű kihívást jelent, amellyel egyre nehezebb a kutatásban részt vevő cégeknek és szakembereknek megbirkózniuk. E kihívásokra is megpróbálunk néhány lehetséges kutatás-technikai megoldást felvázolni, amelyek közül némelyik elvezethet oda, hogy a jövő mégse legyen olyan csúf.

Tárgyszavak: szénhidrogén-kutatás és -termelés, terepi geofizika, 2D–3D szeizmikus adatok, geomodellezés, fúrás, szénhidrogén-felfedezés, direkt szénhidrogén indikátor, alulkutatott felhalmozódási egységek

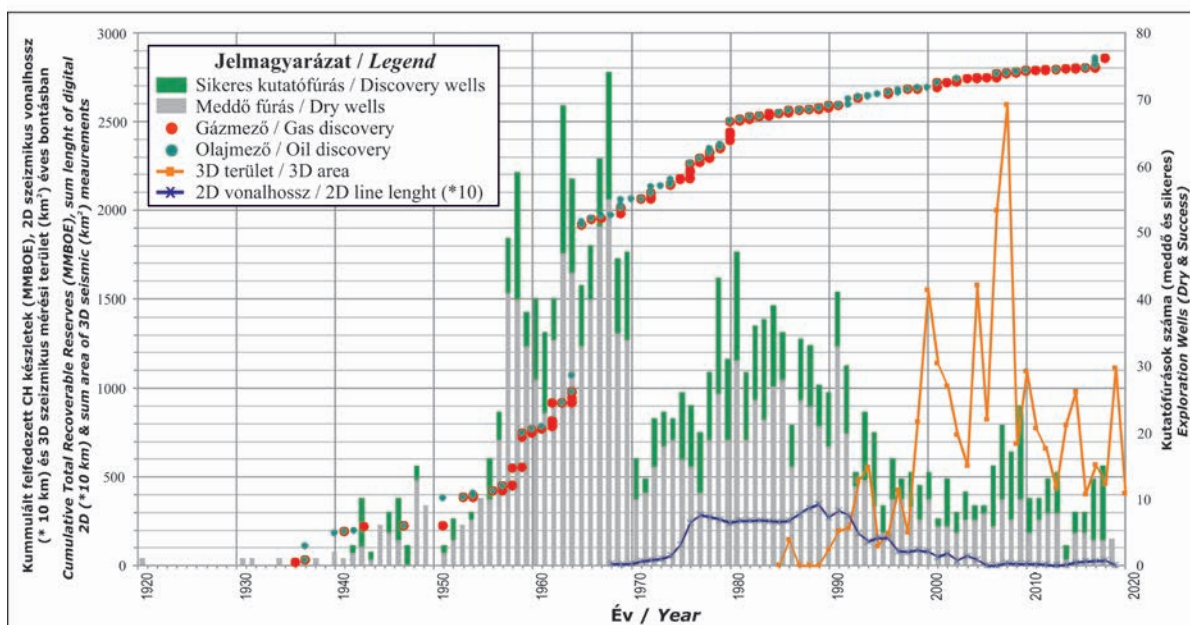
## Bevezetés

A mai Magyarország területén az elmúlt több mint 8 évtized során több mint 300 mezőt fedeztek fel, melyek összesített kitermelhető szénhidrogénvagyona megközelítőleg 2,9 milliárd hordó olajegyenérték (1. ábra). A máig feltárt kitermelhető vagyon körülbelül kétharmadát a gáz-nemű és egyharmadát a folyékony (kőolaj és gázkondezátum) szénhidrogének teszik ki, amelyek azonban az egyes szénhidrogéntípusok kihozatali tényezőinek figyelembevételével az 50%-hoz közelebbi arányú földtani mennyiségekből származnak. A termelési diagramon (2. ábra) is látható, a kitermelt kb. 2,4 milliárd hordó olajegyenérték szénhidrogén nagyobb része földgáz, kisebb része kőolaj. A két diagram görbéit megfigyelve számos következtetésre juthat az olvasó. Megfigyelhető, hogy a találatok milyen mérettartományba esnek, milyen trendet alkot a lefutásuk (1. ábra, gáz- és olajmezők görbék – kutatástörténeti diagram / creaming curve). Látható, hol és mikor volt az első találat, mikor volt a kutatás aranykora, mikortól vált éretté a medence, vagy akár az is, hogy az egyes kutatási eszközök, módszerek bevezetése, felfutása milyen hatással volt a talá-

lati arányokra. Ugyanez leolvasható a termelési diagramról is (2. ábra), csak itt egy időbeli elcsúszást tapasztalhatunk a kutatásra jellemző görbékhez képest, hiszen a telepek, mezők termelésbe állításához időre van szükség.

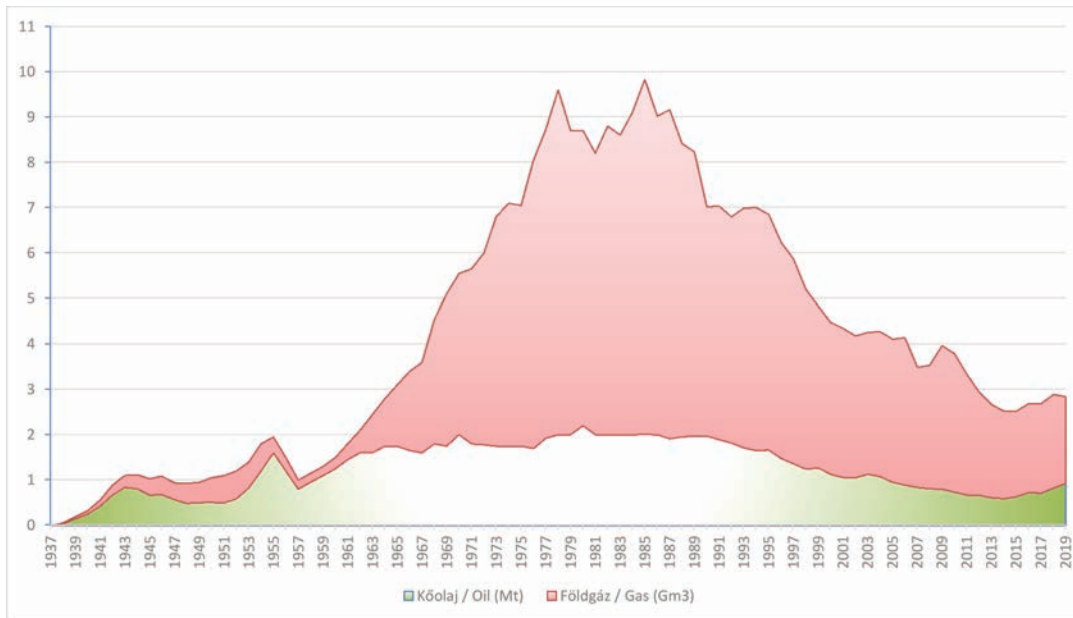
A hazai szénhidrogén-kutatás történetét és jövőképét három fejezetre bontottuk. A felbontás alapja nem feltétlenül a találatok számosságához köthető, sokkal inkább egy-egy domináns kutatási technológia bevezetéséhez, valamint az adott korszak kutatási aktivitására és annak sikerességére gyakorolt hatásához.

A legnagyobb szelet a **múlt**, hiszen számos jelentős technológiai és eredményességi mérföldkő emelhető ki a szénhidrogén-kutatás kezdeti éveiből és aranykorából. A kezdetek domináns kutatási eszköze a gravimetria volt, legfontosabb éve, az **áttörés** pedig 1937, amikor az első gazdaságosan kitermelhető szénhidrogén-felhalmozódás termelése megkezdődött a Budafapuszta–2 jelű kúttal. Ezt követően egymást érték a találatok Dunán innen és túl: Lovászi, Nagylengyel, Pusztaföldvár, Battonya és Hajdúszoboszló, hogy csak a legnagyobbakat említsük. A kutatás **aranykora** a 60-as – 70-es évekre tehető. Az alapvető kutatási eszköz nem változott, de kiegészült a kezdeti analóg 2D szeizmikus



1. ábra. Kombinált kutatástörténeti diagram – Magyarország – 2020. augusztusi állapot (forrás: MBFSZ adattár, IHS Markit)

Figure 1. Combined creaming curve - Hungary - as of August, 2020 (source: MBFSZ database, IHS Markit)



2. ábra. Magyarország kőolaj- és földgáztermelése 1937–2019 között (forrás: MBFSZ adatbázis)

Figure 2. Oil and gas production of Hungary between 1937–2019 (source: MBFSZ database)

módszerrel, és ekkorra érett be igazán az a tudás és tapasztalat, amely a korábbi évtizedekben felhalmozódott: felfedezték a Szegedi-medence környezetének jelentős mezőit, Szankot, Üllést, Algyőt, Kiskundorozsmát és Szeged-Móravárost. Mennyire volt sikeres ez az időszak? Magáért beszél a tény, hogy mire megtörtént a paradigmaváltás a kutatásban (amelyet a szerzők a digitális jelrögzítésű és feldolgozású 2D szeizmika térnyerésével azonosítottak) és véget ért az analóg korszak, a máig felfedezett teljes szénhidrogén-vagyon több mint 75%-át (!) már megtalálták (1. ábra). A korszak végén, már a modern 2D szeizmikus mérések uralta kutatási aktivitás során történtek még jelentős felfedezések (Szeghalom, Sávoly, Földes-Kelet, Mezősas), de ezek már egy új szakaszt jeleztek előre a medence életében: az érett kutatási fejezetet.

A szénhidrogén-kutatás **jelenét** egyértelműen a szeizmikus 3D mérések – mint legfőbb kutatási eszköz – dominanciája jellemzi. Ennek az eszköznek a széleskörű alkalmazása a 90-es években kezdődött, akkor, amikor a medence kutatása érett fázisba fordult. Ettől kezdve már leginkább a készletpótlás, nem pedig a készletek további növelése jelenti a legnagyobb kihívást a szakemberek számára. Az egyre fejlettebb és részletesebb kutatási eszközök ellenére egyre kisebb méretű szerkezeteket, felhalmozódásokat kutatunk meg és fogunk termelésbe, amelyek rövid távon gazdaságosan művelhetők, azonban a korábban kitermelt készletek pótlására csak részben alkalmasak. Ezért is látható a termelési diagramon (2. ábra) egy kezdetben erőteljes, majd némiképp ellaposodó termeléseszkökenés a 80-as évek végétől. A kutatástörténeti diagramon (1. ábra) is megfigyelhető, hogy a találati szám és a sikeres kutatófúrások részaránya ugyan növekszik, de a felfedezett szénhidrogénvagyon – a korábbiakhoz képest – szerényebb. Ugyanakkor ennek a kutatási korszaknak is megvannak a saját sikerei, gondoljunk

csak a Paleogén-medencében elért eredményekre, ahol a Magyar Olaj és Gázipari Nyrt. (MOL) több millió tonnányi kitermelhető kőolajvagyonot fedezett fel (Gomba, Tóalmás, Nagykáta). A másik ilyen sikertörténet a különböző szeizmikus attribútumok sikeres értelmezése alapján új lendületet kapott földgázkutatás, amely különösen a Tiszántúlon hozott új találatokat (Hosszúpályi-Dél, Dévaványa környezete, Körösújfalú és Komádi térsége, hogy csak néhányat említsünk). Ugyanezen – attribútum alapú – kutatási módszertan alapján a Magyar Horizont Energia Kft. (HHE) a Dunántúlon, a Dráva-medence északkeleti peremvidékén csupán pár éve fedezte fel az elmúlt 30 év legjelentősebb méretű kőolajmezőjét (Pettend). A 2000-es években újdonságként megjelenő *nem hagyományos szénhidrogén-előfordulások* kutatásában is történtek előrelépések, és értünk el részeredményeket (Berettyóújfalú, Lovászi–Petisovci, Nyékpusztá, Kiskunhalas környezetében). Mindezek a sikerek azonban csak arra voltak elegendőek, hogy a termelés csökkenésének ütemét tompítsák, rövid időszakokra – mint például az említett pettendi felfedezés hatása – némileg megfordítsák (2. ábra).

Mit tartogat a **jövő** a szénhidrogénipar számára egy olyan érett szénhidrogén provinciában, mint amilyen a Pannon-medencében található? Munkánkban igyekszünk rávilágítani, hogy milyen *szénhidrogén-földtani, technológiai és üzleti lehetőségeket* vehetünk figyelembe, aknázhatunk ki a jövőbeli kutatás-termelés sikeressége érdekében.

Annak ellenére, hogy ez a munka nem új eredmények közlése szándékával készült, mégis nagy mennyiségű publikus, valamint – cégek hozzájárulásaival – ipari adatot és tapasztalatot használtunk fel a bemutatott diagramok, ábrák, térképek és statisztikák összeállításához és értékeléséhez.

A fúrési és mezőbeli alapadatokat az IHS Markit adatbázisa szolgáltatta, míg a szeizmikus és kutatási-termelési















3. ábra. Az első magyar olaj. Budafapuszta-2 fúrás, 1204-1208 és 1168-1179 m mélységből, az ún. Kerettye pannóniai korú homokrétegből. A kezdeti olajtermelési ütem 12 mm-es fűvőkán napi 65 m<sup>3</sup> volt (PAPP 1965)

Figure 3. The first hungarian oil. From Budafapuszta-2 well, 1204-1208 and 1168-1179 m depth, "Kerettye" Pannonian age sandstone reservoir. Initial production rate was 65 m<sup>3</sup>/d oil on 12 mm choke (PAPP 1965)

Gyakorlati eredményt ugyan nem értek el, de fontos információkat szolgáltatottak a pliocén rétegek vastagságáról és a medencealjzatról. A tótkomlói és kőrösszegapáti fúrások megerősítették azokat a feltételezéseket, hogy az Alföldön is reményteljes kőolaj- és földgáz-előfordulások lehetnek. Lovászi mező nyugati folytatásában – Petesházán – földgázt tartalmazó mélyvízi pannóniai rétegeket nyitottak meg, amelyek gázát a Lovászi mező rétegenergiajának megóvása érdekében meg akarta venni a MAORT. Ki is fizetett 6 millió pengőt, majd a kivonuló németek a Magyar Általános Hitelbank szombathelyi fiókjából önkényesen elvittek további 4 milliót 1945. április első napjaiban (PAPP 1964).

A II. világháború során visszacsatolt területeken végzett kutatások (földtani térképezés, Eötvös-inga és graviméteres mérések, fúrások) eredményei kárba veszttek.

A háború után a MASZOVOL – illetve annak megalakulásáig (1946. április 8.) a Vörös Hadsereg Olajipari Parancsnoksága – „örökölte” a MANÁT alföldi területeit. Az időszak viszonyaira jellemző, hogy a MANÁT volt alkalmazottai gyűjtötték össze a nagyrészt széthordott felszerelésből a még használható eszközöket, és ezekkel folytatták a korábban megkezdett Kőrösszegapáti-5 fúrás mélyítését (KÖRÖSSY 2014).

A MANÁT 1941. évi graviméteres méréseit 1944-ben szeizmikával egészítette ki Biharnagybajom térségében, azonban a fúrásos kutatásra csak a háború után kerülhetett sor. A Biharnagybajom-1 fúrás badeni rétegekben és a kristályos alaphegység felső törmelékében találta meg az Alföld első kőolajtelepét. A MASZOVOL 1949. év végéig tartó működése alatt 36 fúrás mélyített, 3 449 t kőolajat és közel 47 millió m<sup>3</sup> földgázt termelt. A kutatás a MASZOLAJ szervezetében folytatódott, és a korábban Eötvös-inga mérésekkel kimutatott mezőkeresztes maximumon 1951-ben megtalálták az Alföld második olajtermelő területét. Az új vállalatnál azonban már a szeizmikus mérések vették át a vezető szerepet, regionális vonalak menti

mérésekkel kiterjesztették a kutatást a gravitációs maximumok közötti területekre is. Kutatási szemléletük kettős célja: kiszorgálni a jelent és biztosítani a jövőt (KÉSMÁRKY 2002). A gravitációs mérések eredményeit a vonalak tervezéséhez és az értelmezéshez továbbra is felhasználták.

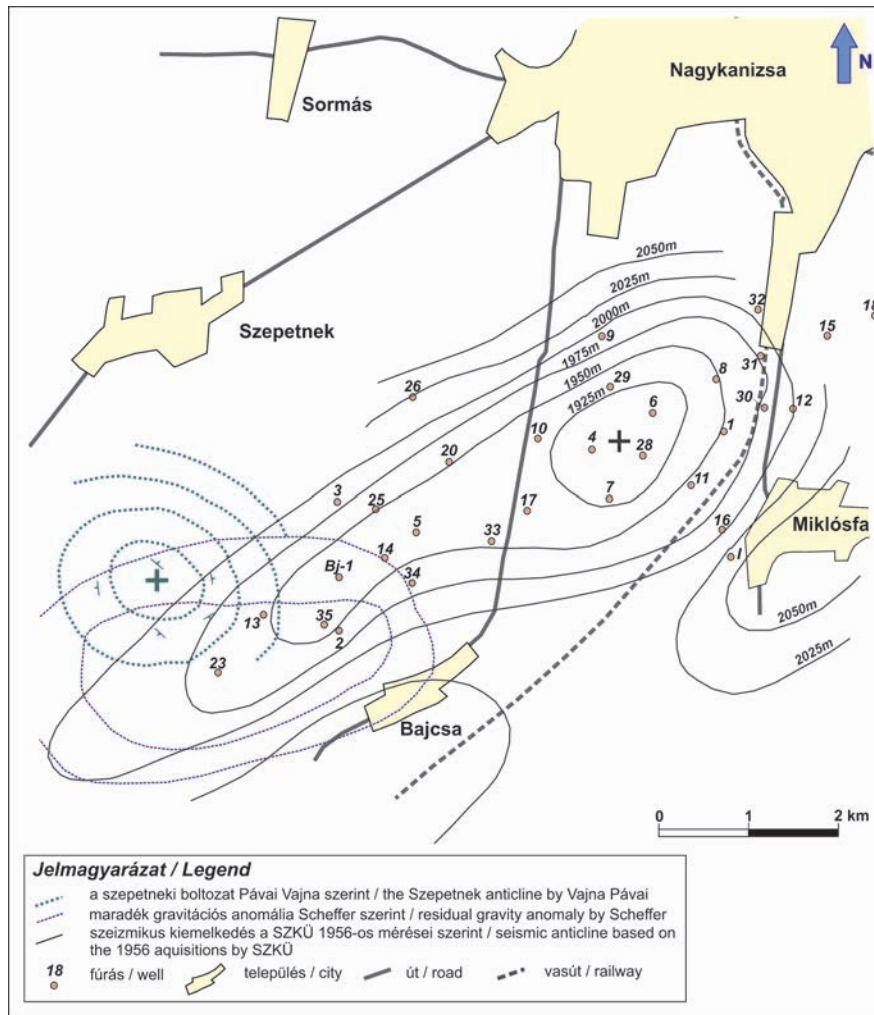
Az AR-V regionális szelvényen mutatkozó kiemelkedésnél kitűzött Szolnok-1 fúrás 1953-ban kis méretű olajtelepet talált (KÖRÖSSY 1993).

A Dunántúlon a világháború befejezése után a természetes módon csökkenő termelésre, a kutatási eredmények hiányára a politika koncepciók perrel, szakszerűtlen beavatkozással reagált. Az erőltetett termelési eljárások, a nagyobb fűvőkák alkalmazása rövid időn belül hozamcsökkenést eredményezett, így csak új előfordulás felfedezése pótolhatta a csökkenő termelést. A salomvári szerkezet sikertelen fúrásai (1943, 1947) után a gravitációs maximum délkeleti előterében mutatkozó pihenőn tűzték ki a Nagylengyel-1 fúrás. 1940 m talpmélységnél teljes iszapvesztés lépett fel, és kanalizással csak vízbeáramlást kaptak. Keleti irányban, mintegy 600 m távolságban mélyítették a második fúrás, a badeni glaukonitos homokkő elérésekor 1859 m-ben béléscsővel biztosították a lyukat. Ezután 1918 m talpmélységnél rétegvizsgálatot tartottak, amely mintegy 10 m<sup>3</sup> kőolaj-beáramlást eredményezett. A következő fúrások is – béléscsővezés után – megálltak az iszapvesztésnél, csak 1954-ben a Nagylengyel-28 fúrás harántolta a kréta mészkőtárolót. Az addig végzett magfúrások, markolások csak néhány cm magnyereséget eredményeztek, így az elért képződményt badeni mészkőnek vagy triász mészkőnek tartották. Két év után derült ki, hogy a badenivel egy hidrodinamikai rendszert alkotó felső-kréta mészkő jelenti a jelentősebb és produktívabb tárolóteret. Az eredményes fúrások után nagy ütemben indult a feltárás és lehatárolás, ennek során felső-kréta mészkőben és triász dolomitban 16 hidrodinamikailag különálló blokkot ismertek meg (DANK 1985, KÖRÖSSY 1988).

A Zala-medencében, a Balaton-vonaltól délre, Szeptenek környékén PÁVAI VAJNA Ferenc 1919-1920-ban felszíni térképezéssel lapos boltozatot mutatott ki. SCHEFFER Viktor 1948-as térképén gravitációs anomália rajzolódott ki a közelében. A Bajcsa-1 fúrásban talált kedvező olajnyomok alapján 1956-ban szeizmikus méréseket végeztek, amelyek értékelése egy 2,5×6 km-es, NyDny-KÉK tengelyirányú boltozatot jelzett. Jól követhető a mező megismerésének folyamata, a különböző módszerek megoldóképessége a 4. ábrán. A mélyvízi pannóniai összletben 8 gáztelepet fedeztek fel és termeltettek, azonban a Bajcsa-1 fúrással a badeni lithothamniumos mészkőben talált könnyűolaj és kevert gáz nem ipari értékű (KÖRÖSSY 1989).

Órszentmiklóson korábbi mérések és földtani térképezés alapján 1954-55-ben 42 db sekélyfúrással két kisebb gáztelepet tártak fel, amelyek letermelése után Budapest ellátására itt alakították ki az ország első föld alatti gáz-tárolóját.

Az 1953-ban végzett mangánkutatás fúrásaiban észlelt olajnyomok alapján találták meg 1954-ben a Demjén környéki olajtelepeket. Ennek ellenére, hogy a 17 km<sup>2</sup> méretű



4. ábra. A bajcsai földgáz-előfordulás térképvázlata (módosítva KÖRÖSSY 1989 után)

Figure 4. Combined exploration map of the Bajcsa gas discovery (modified after KÖRÖSSY 1989)

szerkezetben a gyenge áteresztőképességű oligocén homokkötőanyagokat sűrű kúthálózattal tárták fel, az egyes produktív rétegek korrelálása nehézkes azok nagyfokú változékonysága miatt. A kis mélységben megtalált telepek szinte gázmentesek, termeltetésük változatos technológiákkal történik (DANK 1985, KÖRÖSSY 2004).

A további kutatások is a graviméteres, regionális és részletező szeizmikus méréseken alapultak, azonban évekig csupán kis készletű (pl. Törtel, Kaba, Furta) mezőket vagy nagy szén-dioxid-tartalmú gáztelepeket (pl. Rákóczifalva, Püspökladány, Jászkarajenő) fedeztek fel.

Az ötvenes évek végén következett Pusztaföldvár, Battyány, végül Hajdúszoboszló megismerése. A hajdúszoboszlói maximumon az Eötvös-inga mérésekkel kimutatott boltozat közepére kitérűt, de le nem mélyített fúrópont helyén 1961-ben telepített Hsz-36 jelű fúrás produktív lett, vad gázkitörés lépett fel, és a kitörés krátere körül képződött tó ma már különleges flórával és faunával rendelkező természetvédelmi terület (ALLIQUANDER 1986).

A következő időszakban a Nagykanizsán jelentősebb előfordulásokat találtak Ebess, Tatárülés–Kunmadaras és

Szarvas térségében. Hosszú idő után a Kisalföldön is értek el kisebb eredményeket. 1963-ban a Mihályi–Répcelak szerkezeten Uraiújfalusi térségében kisebb éghető gáztelepeket tártak fel a pannóniai delta homokkövekben. Ölbőn badeni üledékekben és az alaphegység repedezett zónáiban széndioxidtelepet találtak (KÖRÖSSY 1987).

#### Az aranykor

Szank környékén a Geofizikai Intézet a MANÁT megbízásából 1942–43-ban végezte az első gravitációs méréseket, majd 1958–62 között graviméteres mérésekkel egészítette ki az OKGT részére. Együttes értelmezésük záródó maximumot jelzett, amelyet az ún. Elkins-maradék-anómália térkép is megerősített. Az 1963-ban a területen végzett szeizmikus mérések értelmezésében, de még az 1958–1965 közötti mérések eredményeit összefoglaló jelentésben is ÉNy felé emelkedő horizontokat tüntettek fel. A fúrások kutatás 1964-ben kezdődött, és már a Szank-1 rétegvizsgálata eredményes volt (10 mm-es fúvókán 159,3 m<sup>3</sup>/nap olaj és 55 030 m<sup>3</sup>/nap gáz). A kutatás folytatódott, amit azonban késleltetett, hogy a Szank-4 kúton kitörés lépett fel, a 920 m-ig

beépített 9 5/8"-os beléscső alatti szakasz a felszín felé elzáródott és a gáz a csövezetlen szakasz áteresztőképes rétegeibe fejtődött át. A későbbi fúrások bizonyították, hogy másodlagos gáztelepek jöttek létre, melyek később letermelésre kerültek. Az alaphegység mállott–repedezett zónái a rátelepült miocén konglomerátum, breccsa, homokkő és mészkő képződményekkel együtt tárolják a nagy gázsapkás kőolajtelepet. A mező nyugati folytatásában a badeni összletben további olaj- és gáztelepek halmozódtak fel (DANK 1985, KÖRÖSSY 1993).

Az 1960-as évek közepétől fúrással kutatott mezők korábbi gravitációs méréseit a Geofizikai Intézet, esetleg a MANÁT megbízásából a Seismos készítette. A korai szeizmikus mérések hagyományos fotoregisztrálással történtek. Az ilyen kombinált előkutatás alapján felfedezett jelentősebb mezők a Nagykanizsán Nagykörű, Kisújszállás és Fegyvernek, a Duna–Tisza közén és a Szegedi-medencében Tázlár, Kiskunhalas–Északkelet, Eresztő, valamint a „nagyok”, amelyekről külön szakaszban lesz szó.

1966-tól a fotoregisztrálású szeizmikus technikát felváltotta az analóg mágneses jelrögzítés. Az analóg terepi műsz-

rek és a számítóközpont használata lehetővé tette a többszörös fedés elvének (CDP) alkalmazását. Ez a módszer segítette elő Kelebia és Sarkadkeresztúr mezők megismerését.

Ortaháza mezőt a MAORT graviméteres mérései után analóg szeizmikus mérések alapján a hetvenes évek elején, a kisebb jelentőségű Orthaháza-Kelet és -Nyugat előfordulásokat már digitális szeizmikus mérésekkel a nyolcvanas években fedezték fel (KÖRÖSSY 1988).

Az 1970-es évek végén megtalált Kiskunmajsa-Dél, Sávoly, Barcs-Nyugat és Zsana-Észak mezőket digitális terepi műszerekkel és számítógépes adatfeldolgozással mutatták ki.

Az „aranykor” legékesebb ékkövének tekinthető Szege-di-medence 60-as évekre és 70-es évek elejére tehető kutatását külön fejezetben tárgyaljuk.

### Az út Algyőig – a Szege-di-medence kutatási eredményei

Az algyői szerkezet kutatásának legelső lépése még EÖTVÖS Loránd személyéhez kapcsolódik. Torziós inga méréseinek eredményei az 1908–1911. évekhez kötődnek, bár ezek a mérések még nem adtak összefüggő képet a terület gravitációs viszonyairól. Volt azonban valaki – CHOLNOKY Jenő, a Magyar Földrajzi Társaság Alföldi Bizottságának elnöke –, aki már 1918-ban, visszatekintve az akkori technikai és geológiai ismeretekre, hihetetlennek tűnő pontossággal előre vetítette a Szeged környéki szénhidrogének létezését, amit a Szeged város tanácsához címzett levelében az alábbiak szerint tett: „...Alföldünket a geológiai harmadkorban, amikor az Erdélyi medencében is lerakódtak a gáztartalmú rétegek, az erdélyihez hasonló és meglehetősen elzárt és jóval nagyobb tenger borította. Ebben az elzárt tenger részben éppen olyan rétegek rakódhattak le, mint az Erdélyi medencében, ti. éppen úgy itt is keletkezhetnek kősó, földgáz és petróleum tartalmú rétegek... Így tehát véleményemet röviden akként fejezhetem ki, hogy:

*Szeged környékén igen nagy bátorsággal fúrhatunk bárhol gázra.*

*A fúrásokat mintegy 2 000 m-re kell tervezniünk.*

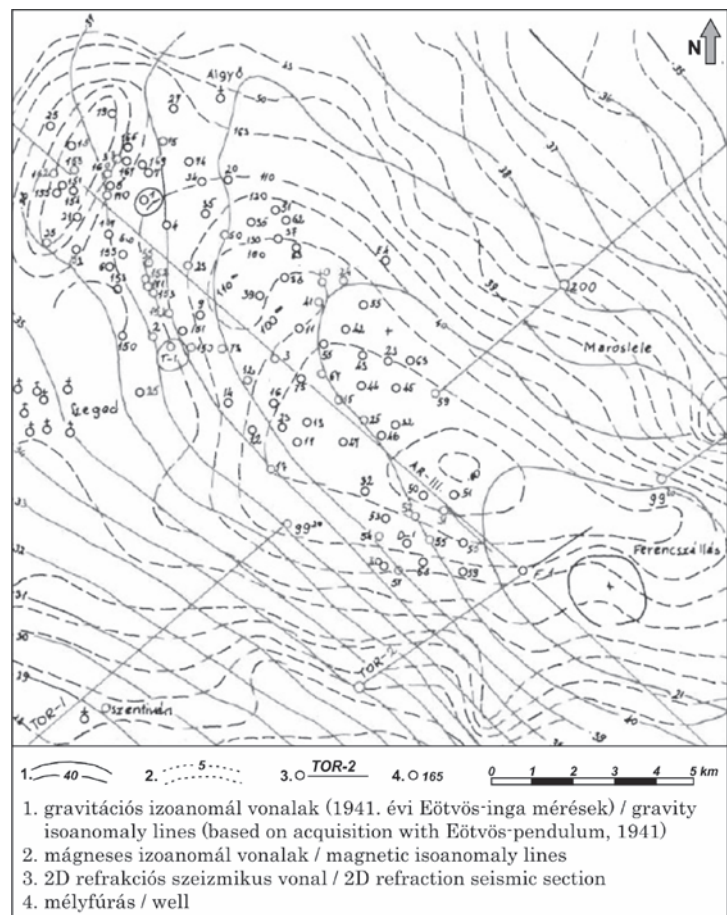
*Szeged vidéke gazdasági szempontból is első-sorban figyelembe jöhet gázkút fúrására.”*

CHOLNOKY szakvéleményével a Földtani Intézet igazgatója, LÓCZY Lajos is egyetértett (JURATOVICS 1995). Fenti szakvélemények birtokában Szeged város tanácsa a földművelési miniszterhez fordult a földgázkutatás elrendelése végett, majd 1921-ben a pénzügyminiszternél is sürgették az ügy elintézését. A kormány azonban az olaj- és földgázkutatás jogát átruházta a Hungarian Oil Syndicate-re, ezzel a Szeged környéki kutatás ügye évtizedekre háttérbe került.

A két évtizeddel későbbi – az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által 1942-ben kiadott – részletesebb mérési eredmények mutatták ki először azt a két gravitációs maximumot, melyek közül a

Kiszombor–Sándorfalva közötti ÉNy–DK-i csapású, és amelyre 1942-ben a MANÁT lefúrta a terület első kutatófúrását, a Ferencszállás–1-et (5. ábra). A kút a ferencszállási és algyői szerkezet közötti „nyerget” találta meg, így meddőnek bizonyult. Ez jelentős mértékben visszavetette a terület továbbkutatását. A másik, sándorfalvai gravitációs maximum ÉK–DNy-i csapást mutatott, szintén aljzati kiemelkedést jelzett. E szerkezet ÉK-i részén mélyült a Sándorfalva–1 fúrás (1942), amely ugyancsak gáznyomokat talált, és a pannóniai alsó szakaszában fejeződött be.

Hosszú éveket kellett várni a folytatásra. 1959-ben mérték azokat a reflexiós és fáziskorrelációs refrakciós szeizmikus 2D szelvényeket Szeged környékén, melyek az aljzati kiemelkedéseket már megbízhatóan, a mai ismereteinknek is megfelelően leképezték. Részletező mérések folytatódtak a következő években is, 1960–62 között graviméteres mérésekkel kiegészítve. Az eredmények alapján 1962-ben mélyült Üllés–1 fúrás olajat talált a sekélyvízi pannóniai rétegekben, igazolva ezzel a terület szénhidrogén-potenciálját. Az Üllés–3 és –4 fúrásokban a jól záró alsó-pannóniai márga, mészmárga rétegei alatt 60% túlnyomást tapasztaltak, és mindkét kúton vadkitörés következett be. Fentiek miatt a további kutatásokat Üllésen kétfelé választották, egyrészt a



5. ábra. Szeged környékének Eötvös-ingás gravitációs és mágneses mérése egyesített térképe (módosítva JURATOVICS 1995 után)

Figure 5. Integrated gravity (measured by Eötvös-pendulum) and magnetic map around Szeged city (modified after JURATOVICS 1995)

megtalált Üllés-Felső olajtelep irányába, másfelől pedig a mélysztint felé. Az 1963/64 fordulóján mélyített Ü-7-es fúrás jelentett újabb fordulópontot a mélysztint megismerésében, mert bár a kút a tervezett triász tetőt nem érte el, de a vele egy hidrodinamikai rendszert alkotó miocén abráziós konglomerátumban váratlanul igen nagy nyomású gázt talált. Ekkor még nem gondolták, hogy a terület legnagyobb gáztelepét érte el a kút. A fő tároló kőzetet – a triász dolomitot – csak mintegy tíz évvel később, a hetvenes évek közepén fúrták meg (DANK 1985). Az évtizedes „késlekedést” az 1965-ös év nyarának történései bizonyára befolyásolták...

Algyő környékén a szeizmikus adatok alapján várható nagy mélység, valamint az üllési és szanki fúrásokban észlelt nagy túlnyomás és gázkitörés miatt a Bányaműszaki Felügyelőség utasítása szerint meg kellett várni nagy nyomású zárószervezetek és nagy teljesítményű berendezések beszerzését a dél-alföldi mélyfúrások kutatás biztonságos folytatásának érdekében. Emiatt csak 1964. december 9-én tűzték ki az első fúrás (Algyő-1), melynek megkezdésére csak 1965. június 20-án került sor. A kütüzési jegyzőkönyv szerint: „Az eddigi földtani–geofizikai ismeretek alapján a szegedi medencét jelentős perspektívájú kutatási területnek ítéljük meg. Ezért 1965-ben a kutatási volumen jelentős részét ide koncentrálnuk. A nagyobb berendezés kapacitással végzett kutatást indokolja az, hogy mélyfúrás geofizikai adatok alapján nagyvastagságú üledékek várhatók ezen a területen, több jól záródó gravitációs–szeizmikus maximum ismeretes és az árok nyugati szegélyén már mélyfúrásokkal is feltárt eredményes szerkezetek vannak (Üllés, Szank, Soltvadkert).” (Kütüzők: DANK V., KÖRÖSSY L., CSIKY G., SCHEFFER V., VÖLGYI L., KOMJÁTI J., KERTAI GY. – I. CSATH 1975).

Az Algyő-1 fúrás 1456 m-nél tartott, amikor hirtelen a Tápé-1 vízkutató fúrás került a figyelem középpontjába. A kutat – KÖRÖSSY László saját kezű feljegyzése szerint – 1965. február 26. és július 7. között mélyítették, célja vízfeltárás volt a Tápé Tiszatáj MGT SZ részére. Az 1953–1962,5 m közötti nagy ellenállású, valamint az 1940–1949 m, 1923–1930 m és 1906–1911 m közötti víztároló rétegek együttes megnyitásokor előbb olajos vizet, majd tiszta olajat termelt a kút. Megfelelő kitorésgátló hiányában 1965. július 7-én reggel a kút kitört (6. ábra), amelyet 22 óra alatt tudtak elzárni az Alföldi Kőolajfúrás Üzem szakemberei (CSATH 1975). Tápé nevű kütönyvből csak egyet őriznek az adattárak, az utolsó feljegyzés szerint: „Az OVF. hatáskörében mélyült fúrás az OKGT átvette és olajtermelésre képezte ki. A kút termeltetése folyik. Olajtermelő kütként átadandó a NKV-nak.” Amilyen hirtelen jött a „tápai” olajtalálathíre, olyan gyorsan véget is ért (több Tápé nevű szénhidrogén-kutató fúrás nem született).

Az Algyő-1 kút fúrását a befejező jelentés szerint október 2-án állították le, a kút végleges mélysége pedig 2262 méter lett. A fúrás célja a szerkezet maximumán az alaphegység elérése volt, a 2262 m-ben bekövetkezett fúrórudszakadás akadályozta meg a cél elérését. Persze a 26 db rétegvizsgálat és annak eredményei azt mutatták, hogy ebben az esetben, bár a célt nem érték el, ezért senkit sem fognak elmarasztalni... VADÁSZ Ernő a befejező jelentést az aláb-



6. ábra. A vízkutató Tápé-1 fúrás vadkitörése 1965-ben (forrás: HORVÁTH Janina tudományos munkatárs, Szegedi Tudományegyetem, Földtani Tanszék)

Figure 6. Blow out of the Tápé-1 water exploratory well in 1965 (source: Janina HORVÁTH, research associate, Szeged University, Geological Department)

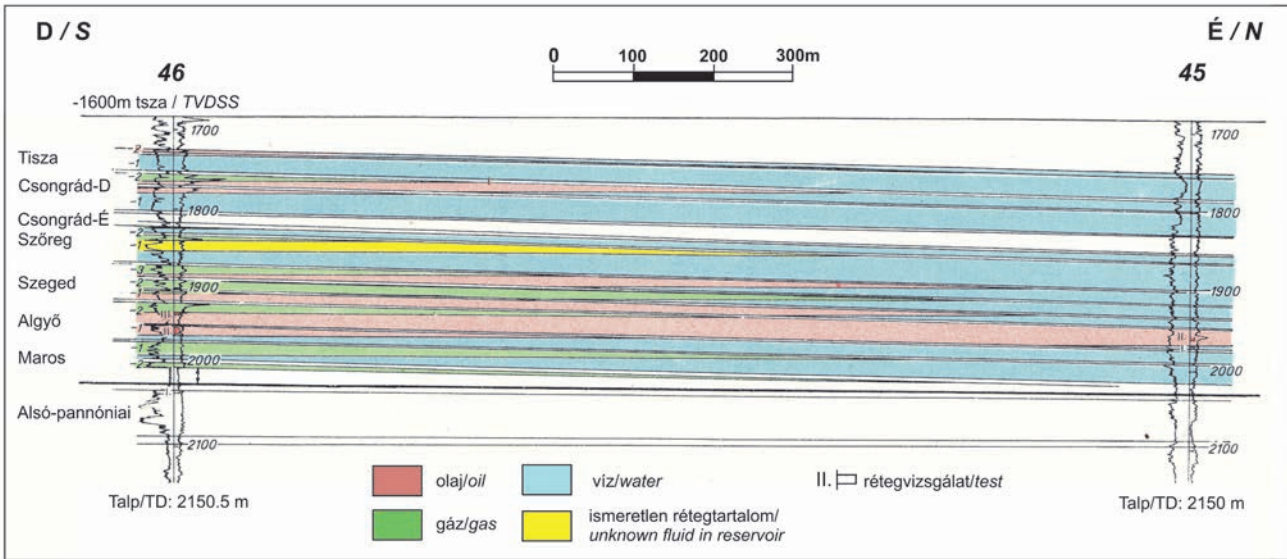
biakkal zárta: „1779–2198 m között gáztároló homokköveket tártunk fel, amik a környező fúrások megfelelő rétegeivel jól azonosíthatók. Tekintve, hogy a környező fúrások közül az Algyő-1 van legmagasabb szerkezeti helyzetben, ezek a homokkövek mind gáztárolók.” A kút átharántolta tehát a teljes pannóniai tárolóösszletet, és ezzel eldöntötte a következő évtizedek szénhidrogén-ipari fejlesztéseinek irányát.

A területen ezidőben tizenkét fúróberendezés üzemelt, egy pontkütőzés alkalmával harminc fúrópontot jelöltek ki. Két évvel a felfedezést követően már részletes geológiai metszetek és térképek álltak rendelkezésre a legfontosabb telepekről (VÖLGYI et al. 1970, 7–8. ábrák). Ezzel egy időben a felszíni technológiai munkálatok is nagy ütemben folytak. Mindezek eredményeként öt év alatt sikerült az olajtermelést évi egy millió tonna fölé emelni, és több mint húsz éven keresztül tartani ezt a szintet. Ilyen éves nagyságrendet Algyőn kívül csak Nagylengyel mező tudott elérni a hatvanas évek első felében.

Az 1965-ös év – Algyőhöz nem mérhető, magyar viszonylatban azonban számottevő – másik találatot is adott a Szegedi-medencében. A Dorozsma-2 jelű kút alsó-pannóniában állt meg, és a sekélyvízi pannóniai rétegsorban kisebb jelentőségű olajtelepet talált. Az algyői munkálatok miatt öt évet kellett várni a terület továbbkutatására, így az 1970-es évhez kapcsolhatjuk a metamorf aljzatban lévő jelentős olajtelep felfedezését, amivel egy teljesen új tárolótipusban is igazolódott a szénhidrogének jelenléte a medencében.

1966. az ásothalmi szerkezet első kutatófúrásának éve. A kutat nem sikerült a szerkezeti maximumra telepíteni, ezért egy évvel később, az Ás-2-es számú kúthoz köthetjük a felfedezést. Az olajtelep paleozoos metamorfiban és a rátelepült miocén összletben halmozódott fel. Ez a Szegedi-medence legmagasabb szerkezeti helyzetben lévő előfordulása.

1970-ben folytatódott az „újabb” földtani kutatás Ferencszálláson is (1942, F-1). A folytatást az tette lehetővé, hogy erre az időre már szabadultak fel fúró- és lyukbefejező berendezések Algyőn. A kutatások a magyar–román határ



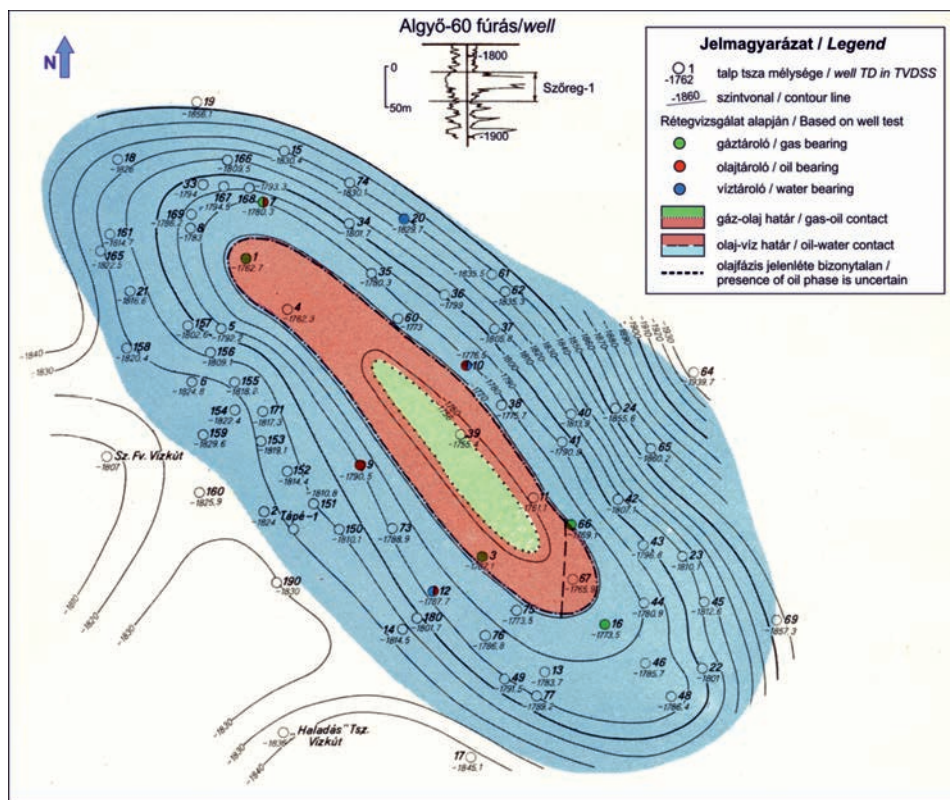
7. ábra. Részletes földtani szelvény az Algyő-46, -45 számú fúrásokon keresztül (VÖLGYI et al. 1970)

Figure 7. Detailed geological cross-section across the Algyő-46 and -45 wells (VÖLGYI et al. 1970)

mentén, mindkét országban, „egymástól függetlenül” kőolaj- és földgáztelepeket tártak fel. A telepek egyrészt pannóniai homokkövekben, másrészt az aljzatra települt abráziós, durvatörmelékes összletben helyezkednek el.

Azonban még mindig nem volt vége a sorozatnak... 1971-ben kezdődött a Szeged-1 szerkezetkutató fúrás mélyítése, melynek célja az algyői és dorozsmai területek

közötti gravitációs anomália megismerése volt. 1972. év végére fejeződtek be a rétegvizsgálatok. Ez a fúrás találta meg az ún. Szeged-Móraváros telepet, amelynek a fő tárolóközetei triász dolomit (Szegedi Dolomit Formáció), homokkő breccsa (Jakabhegyi Formáció), valamint miocén durvatörmelékes és karbonátos üledékek (DANK 1985). A kút először bizonyította a mezozoos medencealjzat meglétét



8. ábra. A Szőreg-1 telep talptérképe fázishatárokkal (VÖLGYI et al. 1970)

Figure 8. Structural basemap of the Szőreg-1 hydrocarbon pool with hydrocarbon contacts (VÖLGYI et al. 1970)

Szeged város közvetlen környékén, valamint a város egy része alatt. Az 1-es kút kivizsgálását követő egy éven belül már tíz lefúrt kút állt rendelkezésre.

Az 1965 és 1972 közötti „fekete aranykor” felfedezései több mint 100 millió tonna olaj és 120 Mrd m<sup>3</sup> gáz (a Makói-árok nélkül) földtani vagyont adtak a szűkebb értelemben vett Szegedi-medencében. A teljes magyarországi termelés közel fele a Szegedi-medence mezőjéhez köthető, ezen belül csak Algyő egyharmadot képvisel. Nem véletlen tehát, hogy ez a terület kutatási szempontból a mai napig kitüntetett figyelmet kap.

### *Kutatási eszközök fejlődése – analógból digitális világ*

A kutatásban alkalmazott eszközök a 70-es évektől kezdve egyre növekvő tempóban fejlődtek. Erre a 80-as évektől megjelenő digitalizáció robbanásszerű elterjedése adott lehetőséget. Az analóg egységeket felváltották a digitális jelrögzítésű eszközök, melyekkel több, jobb minőségű adat felvételére volt lehetőség. A számítógépek fejlődésével és elterjedésével a feldolgozó és értelmező rendszerek egyre jobb és integráltabb módszertani lehetőségeket adtak a kutatók kezébe, amelyek megváltoztatták az iparágat. Az olajipar, és benne a kutatás, a 90-es évektől beköltözött a számítógépek adta digitális világba.

A múlt és jelen közötti átmenetet a szemlében a 3D szeizmikus mérések megjelenéséhez mint a kutatást megváltoztató módszertani eszközhöz kötjük.

Ebben a fejezetben összefoglaljuk a reflexiós szeizmikus mérések – mint az utóbbi 50–60 év legfontosabb kutatási eszközének – magyarországi fejlődését, és röviden bemutatjuk a mélyfúrás geofizikai mérések, valamint a fúrások során használt iszapszelvényezés (mudlogging) szerepét is. Habár ez a téma átível a tanulmány múlt-jelen-jövő alapú időbeli tagolásán, mégis úgy gondoljuk, hogy célszerű e módszeregyüttes gyors ütemű fejlődését külön fejezetben felvázolni.

### *Szeizmikus mérések*

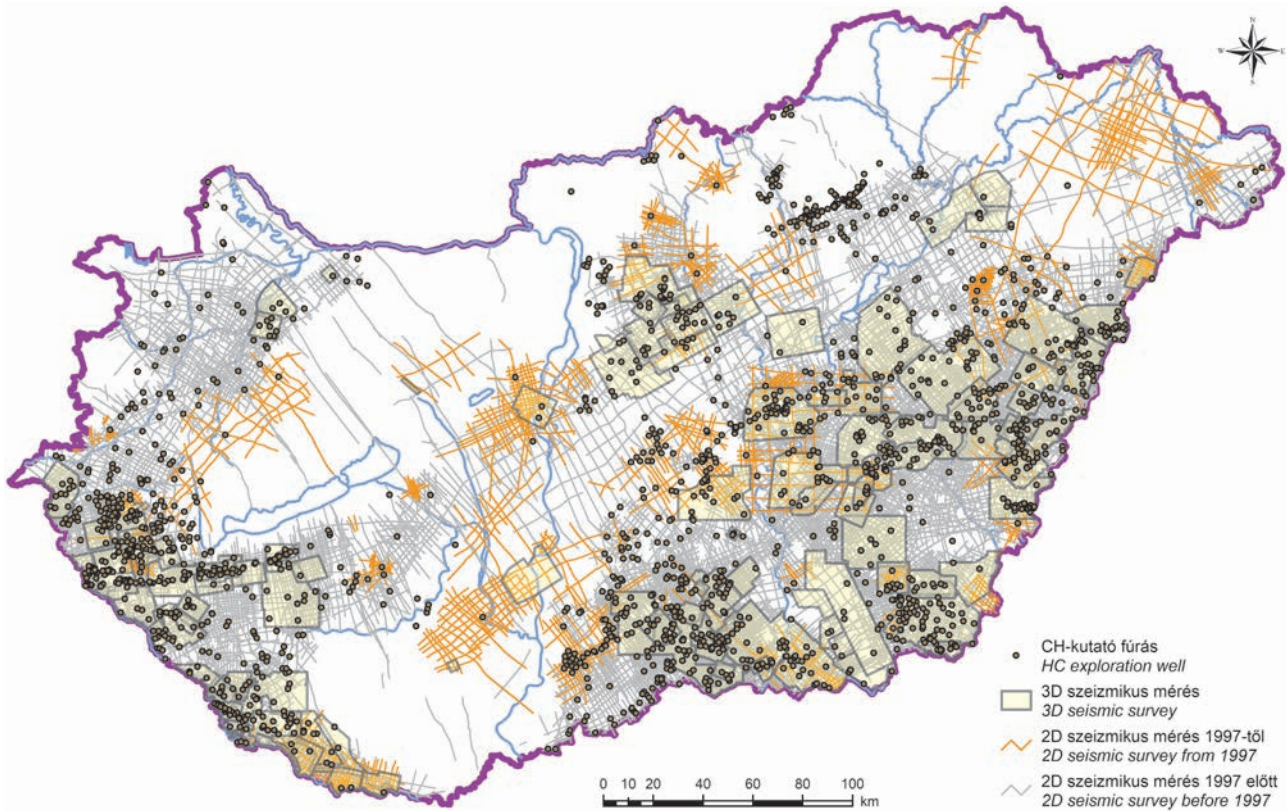
Az első kísérleti jellegű szeizmikus mérések már a 30-as években megtörténtek a Dunántúl területén. Egészen a 60-as évekig azonban a különböző erőter-geofizikai – főként gravitációs – mérésekre alapozott fúrásos kutatás volt jellemző, amelyet az egyre inkább teret nyerő, de analóg jelrögzítésű 2D refrakciós és reflexiós szeizmikus mérések eredményeivel egészítettek ki. Mi volt ennek az oka? Egyrészt a szeizmikus szelvények mérése és feldolgozása még gyermekcipőben járt (technológiai ok), másrészt ebben az időszakban elsősorban a nagy méretű aljzati szerkezeteket és azok közvetlen környezetét kutatták (sikeresen), így valójában nem is volt szükség a dominánsan szeizmikus alapon történő kutatásra. A részletes földtani modellezést inkább a nagyszámú kutató- és lehatároló fúrások alapján végezték. Ugyanakkor elődeink tisztában voltak azzal, hogy a szeizmikus eszközök segítségével pontosan azt az információhiányt lehet kitölteni, amely a gravitációs mérések és a fúrásos

információk közötti felbontásbeli különbség miatt létezik. A kutatási paradigmaváltást egy egyszerű tény is kikényszerítette: egyre inkább megfogyatkoztak a nagy méretű, erőter-geofizikával könnyen kimutatható kutatási objektumok, és a medence kutatási szempontból elkezdett éretté válni. Ennek eredményeként szükségessé vált a kisebb, rejtettebb objektumok kutatása, amelyhez jó alapot nyújtott a rohamléptekkel fejlődő szeizmikus módszer.

Magyarország szeizmikus felmértéséről a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) vezet átfogó nyilvántartást (KOVÁCS G. et al. 2018). Ez a nyilvántartás a 2D típusú mérések közül a digitális jelrögzítésű reflexiós mérések terepi és feldolgozott adatait tartalmazza, amelyek nyersanyag-kutatási és tudományos szempontból is fontosak, míg a korábbi, fotoregisztrációs és analóg jelrögzítésű szelvények, illetve a refrakciós mérések már inkább csak tudomány- és ipartörténeti jelentőségűek. Az MBFSZ adatbázisában 1968-tól napjainkig mintegy 6800 2D szelvény található. Digitális szeizmikus észlelőrendszert hazánkban az OKGT GKÜ használt először, 1971-ben (GOMBÁR & KÉSMÁRKY 2002). Az első évekből azonban szerepel a nyilvántartásban az a néhány tucat alföldi szelvény is, amelyet a hazai fejlesztésű, mágnesszalagos regisztrálású SzM-24+6 műszerrel mértek (BODOKY & POLCZ 2016) és a számítógépes feldolgozás céljára utólag digitalizáltak. Különböző tárolási, technológiai okok miatt jelenleg a digitális mérések mintegy 85%-a található meg az adattárakban.

A mérési jelentések szerint a nyilvántartásban szereplő vonalak közül 5980-at mértek kifejezetten szénhidrogén-kutatási céllal. További 222 olyan vonalat azonosítottunk az adatbázisban, amelyet elsősorban alap- és szerkezetkutatás céljából mértek (pl. „kéregkutatási”, alapszelvény-, mélyszerkezet-kutatási, litoszféra-kutatási program keretében), de e szelvények „eredményei”, mint a Pannon-medencét kitöltő kainozoos összlet felépítésének, a medencealjzat helyzetének részletesebb megismerése, vagy a nagyszerkezeti modellezések is főként a szénhidrogén-kutatásban hasznosultak. Munkánkban e 6202 szelvény adatai alapján vázoljuk fel a 2D szeizmika hazai fejlődését és a szénhidrogén-kutatásban betöltött szerepét (9. ábra). Ezek közül 5434 vonalat mért a GES Kft., illetve jogelődjei, 662-t az ELGI, és 106-ot egyéb cég. Az adatbázisban található kb. 600 db további szelvényt nagyrészt különböző szilárd nyersanyagok – szén, bauxit, uránérc, színesérc, evaporitok –, valamint víz, illetve hévíz, újabban geotermális energia kutatása keretében mérték, zömmel az ELGI szakemberei (BODOKY & POLCZ 2016).

A szeizmikus módszerek jelentősége már a digitális korszak előtt is egyértelmű volt a szénhidrogén-kutatásban, melyek rohamléptű hazai térhódítása az 1950-es években indult el, és fokozatosan átvették a vezető szerepet a kutatásban a gravimetriától (MOLNÁR et al. 1995). Ezekről a korai munkákról azonban – elektronikus nyilvántartás híján – nem tudunk átfogó képet adni. Ugyanakkor hangsúlyozzuk, hogy a szakmai adattárakban (MBFSZ, MOL) a vonatkozó jelentések, szelvények fellelhetők, tehát szükség esetén ezek a régi adatok – papírformátumban – elérhetők, felhasználhatók.



9. ábra. Kutatási alaptérkép - 2020. augusztusi állapot (forrás: MBFSZ adatbázis, IHS Markit)

Figure 9. Exploration basemap of Hungary - as of August, 2020 (source: MBFSZ database, IHS Markit)

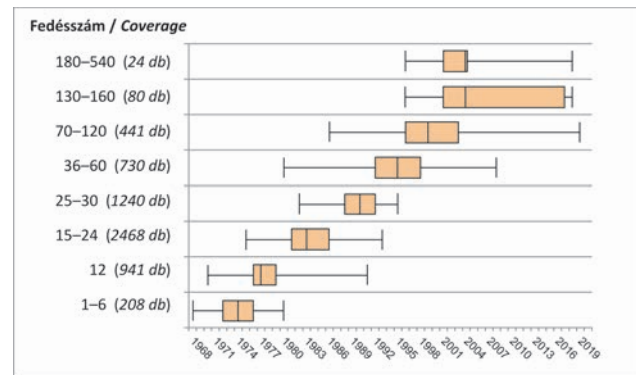
A szeizmikában a digitális terepi műszerek alkalmazása és a számítógépes adatfeldolgozás bevezetése (DFS-III, TIOPS) 1971-ben kezdődött. 1977-ben kezdődtek meg a rutinszerű vibroseis mérések, közben 1979–1985 között „land air-gun” energiaforrásokat is használtak jelgerjesztésre. A kutakban végzett „Vertical Seismic Profiling” (VSP) mérést 1982-től alkalmazzák a szeizmikus adatok mélységkonvertálására. Az 1980-as években állították üzembe az első nyugati feldolgozórendszereket (GeoMax, GeoMaster), és 1986-tól kezdték meg a modern, telemetrikus digitális terepi műszerek használatát, amelyek lehetővé tették a 3D mérési és feldolgozási technika bevezetését (KÉSMÁRKY 2002).

A mennyiségi mutatók alapján a 2D szeizmikus kutatások fénykora 1976-tól 1992-ig tartott (1. ábra), utána a felszíni geofizikában a főszerepet a 3D technika vette át. A 2D mérések minőségi paraméterei az évek során – követve a kutatási igényeket és az információtechnológiai lehetőségeket – folyamatosan (olykor szédületes iramban) javultak. Ezt illusztrálja a 10. ábra a fedésszámok eloszlásának bemutatásával.

A 2D–3D technológiai váltás nem jelentette a 2D mérések teljes leállítását, de a mérési volumen radikálisan csökkent (1. ábra) és a 2D mérések szerepköre megváltozott. Míg korábban (a 90-es évekkel bezárólag) az előkutatást és a részletező kutatást is a vonal menti mérésekkel oldották meg a szakemberek, a 3D szeizmika 2000-es évek elejétől történő „tömeges” megjelenésével a 2D mérések szerepe az

előkutatás és/vagy egy-egy speciális kérdés, probléma megoldására korlátozódott (9. ábra).

Az MBFSZ felmértségi adatbázisa az 1986-os első, kí-



10. ábra. A digitális 2D szeizmikus mérések során elért fedésszámok evolúciója Magyarországon (forrás: MBFSZ adatbázis)

Egy-egy box-plot teljes hossza mutatja a teljes időintervallumot, amikor az adott fedésszámot alkalmazták; a téglalapok előtti vonalszakasz jelöli az éveket, amikor e szelvények első negyedrészt mérték, a téglalappal kihangsúlyozott szakasz szemlélteti a 2. és 3. negyedrészek lemérésének időszakát, végül a téglalaptól jobbra húzódó vonalszakasz az utolsó negyedrészt éveit mutatja

Figure 10. Evolution of fold numbers of digital 2D seismic acquisitions in Hungary (source: MBFSZ database)

The full length of each box-plot represents the full time-range, during the actual fold number was applied for seismic acquisitions; the line length before the rectangles represents the timeframe the first quarter, the rectangles the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> quarters and the line after the rectangles the last quarter of the acquisitions

sérleti méréstől 2020-ig 113 olyan 3D szeizmikus mérési programot tart nyilván, amelyet szénhidrogén-kutatási céllal indítottak (ezenkívül végeztek 3D mérést szén- és geotermikus kutatás keretében, valamint a paksi nukleáris erőmű bővítésének tágabb környezetében is; 9. ábra). A mérések túlnyomó többségét az OKGT/MOL finanszírozta (77 mérés, ebből 3-at más céggel partnerségben). Jelentős a Magyar Horizont Energia Kft. (HHE) hozzájárulása (20 mérés, ebből 2 közös a MOL-lal). A többi 18 terület felmérése 7 további cég nevéhez fűződik, amelyek egyenként 1–5 mérés rendeltek meg.

A szénhidrogén-kutatás keretében végzett terepi mérések zöme, 81 a GES Kft., illetve jogelődjei kivitelezésében készült. Az Acoustic Geophysical Services Kft. (AGS) 22 területen végzett 3D mérés, míg 10 területet lengyel, illetve német cégek mértek fel. A 3D szeizmikus mérések által lefedett terület a nem szénhidrogén-kutatás keretében végzett méréseket is beszámítva közel 21 000 km<sup>2</sup>, ami az ország területének 22,5%-a. Egyes területek újramérése, illetve a szomszédos területek határán alkalmazott átfedések miatt a mérési blokkok összterülete ennél nagyobb, több mint 23 000 km<sup>2</sup>-t tesz ki.

A 3D mérési technika is nagy ütemben fejlődött a kezdetektől napjainkig. A méréseket az 1990-es évek közepéig nagyrészt 480-as csatornaszámmal végezték. A felvételek csatornaszáma 1999-ben elérte az 1000-et, majd 2007-ben a 2000-et. 1000 alatti csatornaszámmal 2005-ben, 2000 alattival 2012-ben mértek utoljára. A 4000-es értéket 2015-ben lépte túl ez a paraméter, és az eddigi legmagasabb alkalmazott csatornaszám 5400 volt. A 3D mérések során elért névleges fedésszámokat a felmért területek nagyságával együtt, éves bontásban a 11. ábrán mutatjuk be.

Ezeket az adatokat grafikusán összevetve a fúrásszámokkal és a megtalált CH-készletekkel (1. ábra) jól látható a szeizmikus módszer térnyerése, az, hogy hogyan befolyá-

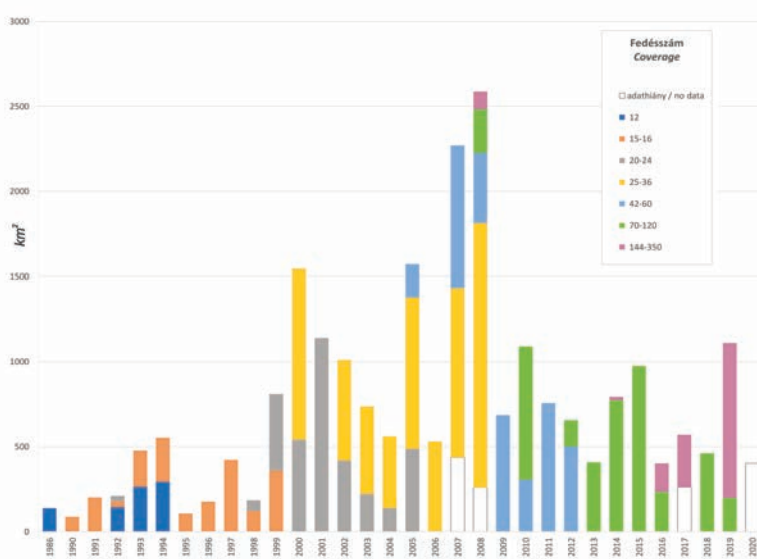
solta a 2D mérések általánossá váló alkalmazása a szénhidrogén-ipari „múlt” végét, és hogyan kapott új lendületet a kutatás a 3D mérések elterjedésével az utóbbi két évtizedben. Szintén leolvasható a kombinált diagramról, hogy a szeizmikus mérések elterjedéséhez az is erősen hozzájárult, hogy elfogytak a nagy méretű, könnyen kutatható szerkezetek. A máig feltárt szénhidrogénvagyron közel 75%-át már a digitális jelrögzítésű 2D szeizmikus mérések aranykora előtt felfedezték. Figyelemre méltó az is, hogy a megtalált mezők száma jóval nagyobb a szeizmikus korszakban, de a mezők mérete jelentősen elmarad a korábbiaktól. Ez azonban már a jelen és a jövő kutatási sikere, lehetősége és egyben problémája...

### Mélyfúrési geofizikai eszközök

Az első mélyfúrési geofizikai mérésre a Görgeteg–1 fúrásban került sor 1935. december 21-én. Folyamatos, kézi regisztrálású ellenállás- és természetes potenciál (SP) görbéket mértek. A mérési lehetőségek 1936-ban hőmérséklet-szelvényezéssel, 1937-ben mélyebb behatolású ellenállással és gölyös perforálással bővültek. Az első magyarországi mérőcsoportot 1939-ben hozták létre Nagykanizsán, amely az egész országban tevékenykedett. A technológiai fejlődés eredményeként 1939-ben történt az első oldalfal-mintavételezés, 1943-ban az első kútpálya-meghatározás (ferdeség- és azimutmérés), 1952-ben pedig az első rétegdőlésmérés (BARÁTH et al. 1994, 2004). A kezdeti mérésekre szolgáltatásként, illetve eszközök vásárlásával és alkalmazásával került sor.

1949 tavaszán Biharnagybajomban is megalakult a karotázscsoport, amelyhez 1952-ben megérkezett az első, majd 1954–55-ben további három szovjet automata szelvényező berendezés. Megnyílt a lehetőség a dunántúli (nyugati technikával felszerelt, Schlumberger-eszközpark) és az alföldi (szovjet eszközökkel ellátott) csoportok között a két technika összehasonlítására. A továbbiakban mindkét csoport a maga törvényei szerint fejlődött, de a két egység nemcsak felszereltségben, hanem szemléletében sem volt egységes (BARÁTH et al. 1994).

Az 50-es évek elejétől elindult az eszközök magyarországi fejlesztése is az ELGI-ben, nem csupán olajipari, hanem víz, szilárd ásványi nyersanyagok, szén kutatásának, vizsgálatának biztosítására is. Bővült a szelvényválaszték, 1955-től természetes gamma, 1958-tól gammagamma, különböző behatolású ellenállás, lyukátmérő, saját fejlesztésű ferdeség- és azimutmérő, valamint oldalfal mintavevő eszközöket fejlesztettek ki. Elkezdődött a mérések kvantitatív értelmezése, az akkori Szovjetunióból átvettünk egy mélyfúrás-geofizikai minősítési rendszert. 1968 óta használjuk az akusztikus mérőeszközöket (előbb német, majd hazai gyártású). A 70-es évektől az újabb igények kielégítésére – mint feladatorientált szelvényezési programok, nagy hőmérsékletű mélyfúrások, radioaktív mérések kivitelezése – további fej-



11. ábra. A 3D szeizmikus méréssel lefedett területek nagysága és az elért fedésszámok évenkénti bontásban Magyarországon (forrás: MBFSZ adatbázis)

Figure 11. Annual areal and fold number distribution of 3D seismic acquisitions in Hungary (source: MBFSZ database)



lesztések történtek, valamint 1977-ben újabb szelvényező eszközök vásárlására is sor került. A termelésgeofizikai méréseket 1975 óta használják a termelési és besajtolási profil, valamint a termelvény összetételének meghatározására, kútproblémák felderítésére és felszámolására.

Időközben folyamatosan fejlődött a feldolgozás és a kiértékelés is. 1974 óta alkalmazták az értelmezésben a kis-számítógépeket, majd kifejlesztették a Karotázs Értelmezési Rendszert (KÉR).

A valódi digitális váltás a mélyfúrás geofizika területén a 80-as években történt meg. A hazai fejlesztési kapacitások és ipari háttér már nem volt elégséges, ami komplett szelvényező berendezés vásárlását tette szükségessé a Dresser Atlastól. A Kőolajkutató Vállalatnál 1983-ban alakították ki a Karotage Interpreter Subsystems (KISS) rendszert TPA-70 számítógépre, majd 1988-tól Perkin Elmer (PE) számítógéppel, IBM PC terminálokkal és megfelelő perifériákkal, főként Western Atlas szoftverekkel (PE és PC változatú szoftverekkel) alkalmazták. A Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat (KFV) és a Szénhidrogénipari Kutató és Fejlesztő Intézet (SZKFI) a Petroleum Computing Inc. értelmező rendszerét vásárolta meg (BARÁTH et al. 1994, 2004).

A 90-es évektől megváltozó magyarországi helyzetben az ELGI mint fejlesztői központ háttérbe szorult egyes nyersanyagok kutatásával egyetemben. Megalakult a MOL, és a világban elérhető legmodernebb fejlesztések, szelvényezések is megrendelhetővé és alkalmazhatóvá váltak, ami számos szolgáltató megjelenéséhez vezetett a magyarországi piacon. Elterjedtek a világon alkalmazott új mérések, mint a teljes akusztikus hullámkép-, nukleáris mágneses rezonancia-, kábelteszteres mérések vagy lyukfal-leképezési eljárások, hogy csak néhányat említsünk.

#### Fúrás közben szerzett információk

A fúrás közben szerzett adatok jelentik a legközvetlenebb információszerzést a mélyben található geológiai és szénhidrogén-földtani viszonyokról, így elsődleges fontosságúak. Az adatok felvétele, a minták elemzése a geológiai megismerés mellett az operatív döntési folyamatok egyik legfontosabb támogató rendszere. Jellemző eszköze a műszerkabin a benne található ún. iszapszelvényezési (mudlogging) eszközökkel. A műszerkabinban a fúrás paraméterek (terhelés, haladás stb.) folyamatos figyelése mellett többek között a furadékok gyors közzétani elemzése, a megjelenő szénhidrogénnyomok regisztrálása történik, amelyet ma már hálózati kapcsolatokon keresztül, akár távolról is, valós időben követni, elemezni lehet. Az iszapszelvényezés megjelenése rendkívüli mértékben megkönnyítette a fúrás eseményeinek követését és az operáció irányítását.

Az első magyarországi műszerkabinban történt fúrásra 1976-ban került sor. Az első egység egy amerikai rendszerű Unit Dat kabin (Dresser Magcobar Data Unit) volt, mely az akkor modern eszközök mellett (analóg csatlakozások, digitális displayek) még offline rendszerben működött. A rögzített adatokat thermopapírra nyomtatták, és a gázszelvények felvétele mellett képesek voltak az egységgel túlnyomás-előrejelzést is biztosítani.

A fúrások során hasznosnak bizonyuló eszközök hazai fejlesztése ezt követően gyorsan elindult. 1976 és 1983 között a műszerkabinos szolgáltatásra a bővülő igények miatt olyan egység kialakítására került sor (DATA BOX), amely először csak a geológiai információk és a gázszint mérésére volt kialakítva. Az egységgel minimális fúrás adat került a mudlog-szelvények mellé, amely a fúróberendezés által mért paraméterekből került megjelenítésre. Ez a szolgáltatás egy, a maihoz képest egyszerűsített változat volt, de elegendő információforrásnak bizonyult.

A növekvő igényeknek és a technológiai fejlődésnek köszönhetően 1983-ban egy új, már online működésű rendszer (ún. TDC kabin) került beszerzésre, és sikeresen bevezették a mindennapi használatba. Ezt követően rövid idő alatt több új műszerkabinnal is bővült a Geológiai Üzem, biztosítva ezzel a fúrások hatékonyabb információszerzését.

A következő jelentősebb mérföldkő a magyarországi mudlogging-szerviz életében az 1992-ben megvásárolt első ALS (Advanced Logging System) rendszerű kabin volt (VÁGÓ 2006). Ezeknél az egységeknél az online adatgyűjtés már az időadatok folyamatos rögzítésére is kiterjedt.

A rendszer továbbfejlesztésével 1995-ben bevezetésre került az ALS-2 rendszer, amely már egy kezelhetőbb Microsoft Windows rendszer alatt futott, majd 2005-ben újabb frissítés következett (Windows 2000). Jelenleg a legfrissebb magyarországi rendszer egy 2009-ben vásárolt, ALS-3 néven futó egység, amelyen az adatgyűjtési rendszer korszerűsítése is megtörtént (SOMLAI Ottó 2020, szóbeli közlés). Az elmúlt két évtizedben a mudlogging üzletágban is megjelentek a külföldi szervizcégek, akik az elérhető legmodernebb eljárásokkal és eszközökkel szolgálják ki a kutatás igényeit.

A mélyfúrás geofizikai mérések és az iszapszelvényezés alapvető információforrássá váltak, olyannyira, hogy a jogszabályok kötelező minimális szelvényezési programot írnak elő fúrások esetében, nemcsak a szénhidrogén-, de a geotermikus és egyéb nyersanyagkutató fúrások esetében is.

#### A jelen... – A rossz...

Szögezzük le az elején, a fejezet címével sugaltakkal némileg ellentétben, a szénhidrogén-kutatási történetünk jelenét a rossz szerepével párhuzamosítani egyáltalán nem helyénvaló. Több szempontból is kiemelkedő időszak ez a kutatók számára. A fúrás, információszerzési eszközök, mérési technológia fejlődése, a berobbanó és teret hódító digitális eszközök, számítógépes programok olyan arzenált adnak a kutatók számára, amilyennel előtte soha nem látott részletességű és integrációjú, medenceszintű földtani és szénhidrogén-földtani modelleket lehet elkészíteni. Ez magával hozza a sikeresség növekedését egyes kutatható szénhidrogén-felhalmozódási trendek, egységek (playek, BAKER et al. 1986) esetében, emellett arra is lehetőséget ad, hogy olyan helyzetű és típusú kutatási objektumokat is ki lehessen mutatni, amelyeket korábban nem sikerült. A szénhidrogén-termeléstörténeti diagram (2. ábra) alapján érzékelhető leginkább, hogy ez az időszak már mégis más –

rosszabb –, mint a múlt. A nagyobb szerkezetek megkutatottá váltak, a termelési profil alapján pedig látható, hogy az aranykorban felfedezett nagy méretű mezők termelése a 80-as évek végétől kezd visszaesni, és ezt a trendet már csak rövid időszakokra sikerül visszafordítani vagy akár csak szinten tartani új találatokkal. Egy egyre érettebbé váló medencében ez természetes folyamat, a kutatást a készletpótlás érdekében mégis egyre nagyobb találati kényszer alá helyezi, aminek idővel egyre kevésbé tud megfelelni. A „lélektani határ” valahol a 2000-es évek közepénél van, amikor a fúrási program nagy részét éveken keresztül inkább a kis-méretű, de nagy találati aránnyal bíró pannóniai objektumok adják, amelyek önmagukban ugyan jövedelmezőek, de méretüket tekintve készletpótlásra már nem alkalmasak. Természetesen a Pannon-medence szintjén értendők az előzőekben leírtak, hiszen akadnak azért példák szerencsésen felfutó területekre és ebben a környezetben jelentős méretűnek számító találatokra is.

A szerzők a szénhidrogén-kutatás jelenét egy hozzávetőlegesen 30 éves időtartamban határozták meg. A szeizmikus mérési technológia fejlődésével a 80-as évek második felében megjelenő, majd a 90-es évek elejétől egyre gyakoribbá és általánosabbá váló 3D szeizmikus adattömbök hoznak el egy olyan metodikai váltást, mely meghatározza és jellemzi a jelenkorra tekintett időszakot. Természetesen a váltás, hasonlóan a 2D szeizmikus szelvények egykori térhódításához, nem éles. A 2D mérések továbbra is aktív szerepet játszanak a kutatási feladatok megoldásában, de elsősorban az addig megkutatatlan területekre koncentrálnak, egyre kisebb mérési volumen mellett (*I., 9–10. ábrák*).

Mivel a 3D mérések költségesek, kezdetben kutatási célokra nemigen használták. Az első kísérleti mérést (Kiskunhalas 3D, 1986) követően a 90-es évek elején a 3D mérések elsősorban ismert telepek rezervoár-geológiai, illetve rezervoár-mérnöki problémáinak megoldására kerülnek bemérésre (pl. Ruzsa, Csólyospálos, Szank, Szarvas, Endrőd, Sávoly, Vizvár-É térségében). A jellemzően célorientált mérések ebben az időben kis területeket fednek le (20–70 km<sup>2</sup>), melyek önmagukban nem elegendők kutatási feladatok elvégzésére.

Az első, már kutatási célokra is szolgáló, nagyobb méretű 3D mérésekre az ország keleti felén került sor (pl. Medgyesbodzás 1994, Bagamér 1997), majd a 2000-es évektől általános gyakorlattá válik a kutatási célú 3D szeizmikus adattömbök mérése. A már korábban eredményes kutatási területeken a jelentős mennyiségű korábbi 2D adat értelmezését követően új 3D szeizmikus mérésekre kerül sor. Mondhatjuk, hogy a szénhidrogén-kutatás szempontjából bizonyított potenciállal rendelkező terület nagy része bemérésre került az elmúlt 30 év során (*I., 9, 11. ábrák*).

A 3D szeizmikus mérések kutatáson belüli alkalmazási területe is változott idővel. A kezdetben az ismert szerkezetek, telepek/mezők környezetében végzett 3D mérések inkább lehatároló kutatási feladatokra kerültek bevetésre. A cél ilyen esetekben egy-egy konkrét probléma megoldása volt, mint például a Furta–Mezősas–Komádi térségében 1993–95 között lemerített 3D-k esetében, ahol a fúrási program során megismert rendkívül összetett teleptani–geológiai problémakör megol-

dására, tektonikai blokkok lehatárolására és szatellit mező-rész kutatására szolgáltak a mérések. Hasonló helyzetben volt a 2000-ben mért algyői adattömb, amely amellel, hogy 3D-s adatokkal fedte le a már ismert telepeket, szatellit telepek, esetlegesen nem ismert mezőrészek kutatására is szolgált. Ez már részben átvezetett a 3D alkalmazási területének egy további irányába, a nagyszerkezetek oldalában található potenciális csapdalehetőségek mint kiékelődések, lezökent blokkok kimutatására és kutatására.

A következő lépcső az aljzati maximumoktól való ellépés volt, amelyre jó példa a már korábban is említett Bagamér 3D (1997), amely a későbbiekben további 3D mérésekkel kiegészítésre került (Földes-K, Ebes, Létavértes), és lefedte a Derecskei-árok mint jelentős gázprovincia teljes területét. A 2001-ben felfedezett Hosszúpályi-D gázmező és a környezetében felfedezett további gázelőfordulások (Monostorpályi-D mezőrész, Álmosd-É, Létavértes) volt talán az első olyan jelentős, nagyjából 3D alapján megkutatott előfordulássorozat, amely szerkezeti magasslatoktól távol, szeizmikus sztratigráfiai, illetve részben már szekvencia-sztratigráfiai módszerekkel és emellett szeizmikus attribútumvizsgálatokkal megtámogatva került felfedezésre.

A 3D mérési metodika, és a nyers adatok feldolgozásának fejlődésével lehetővé vált és bevezetésre került a nemzetközi olajiparban a 80-as évektől már a gyakorlatban is alkalmazott (OSTRANDER 1984) AVO (Amplitude Variation with Offset) analízis, valamint a szeizmikus attribútumok (SHERIFF 2002) általános használata a földtani modellekben, az objektumok szénhidrogén- (elsősorban gáztelítettség-) vizsgálatában.

A kezdeti tapogatózó próbálkozásokat követően az attribútum- és AVO-alapú kutatás nagyon sikeressé vált, elsősorban az Alföld területén, és főként a pannóniai üledékek kutatásában. A 3D adatok segítségével a legkisebb objektumok is azonosíthatókká váltak, ezek fúrások kutatása pedig kimagasló találati arányokat hozott (egyes részterületeken a találati arány 90%), azonban a felfedezések kitermelhető mennyiség tekintetében többnyire meglehetősen szerény méretűek (*I. ábra*).

Az attribútum- és AVO-alapú kutatás fejlődésével és elsősorban a gázkutatásban sikeres alkalmazásával együtt járt a kutatási stratégia átalakulása egyes – reménybeli pannóniai telepeket tartalmazó – medencékben, főként a Tiszántúlon és a Dél-Alföldön. A 2000-es évek közepétől jelentős 3D szeizmikus mérési kampány zajlik a potenciális területeken. A munkamenet ezeken a területeken egyszerű, gyors és kiszámítható. A bemérést, majd a speciális feldolgozásokat követően, a területeken már ismert előfordulások jellemzőinek vizsgálatán alapuló gyors AVO-/attribútum-alapú objektumazonosítás, azokból kutatási portfólióépítés, gazdaságossági vizsgálat történik, majd indul is a fúrások mélyítése, akár a mérés befejezésétől számított egy éven belül. Miután az érett területeken a földtani felépítés általánosan és részleteiben is ismert, nincs igazán szükség bonyolult modellépítésre, a „kutatási” folyamat rendkívüli mértékben felgyorsul, futószalagszerűvé válik és sikeresen működik. *Olyannyira sikeres módszerről beszélhetünk, hogy megkérdőjeleződik e programok kutatási jellege, sokan inkább lehatároló vagy akár mezőfejlesztő kutatásnak tekintik ezeket a fúrásokat és felfedezéseket.*

A kutatás ebben az időszakban teljesen átalakul. Az előkészítési munkálatok, a modellépítés során a súly átbillen a geofizikai modellezések irányába, amelyhez a földtani modellek inkább háttértámogatást adnak. A megcélzott vagyonméretek, a költségek alacsonyan tartása, a gyors termelésbeállítási ütem okán a fúrások során az információszerzési programok nagyon visszafogottak, például magminta-vételekre egyre csökkenő mértékben kerül sor, a fúrásokat követő tesztek legtöbb esetben a fúrási fázis végén egy rövid vizsgálatban merülnek ki.

Ugyanez a stratégia a posztrift rétegeken kívül azonban nem működik ennyire sikeresen. A területenként eltérő vastagságú színrift rétegekben az AVO és más DHI (Direct Hydrocarbon Indicator) attribútumok nem mutatják ki egyértelműen a telített szakaszokat. Ennek az eltérő, változatos és változékony rétegsorok lehetnek a fő okai, ezzel pedig a miocén rétegek kutatása nem kap a pannóniai rétegek kutatásához hasonló lökést. A miocén és idősebb objektumok kutatása továbbra is megköveteli az aprólékos geológiai és geofizikai modellépítést.

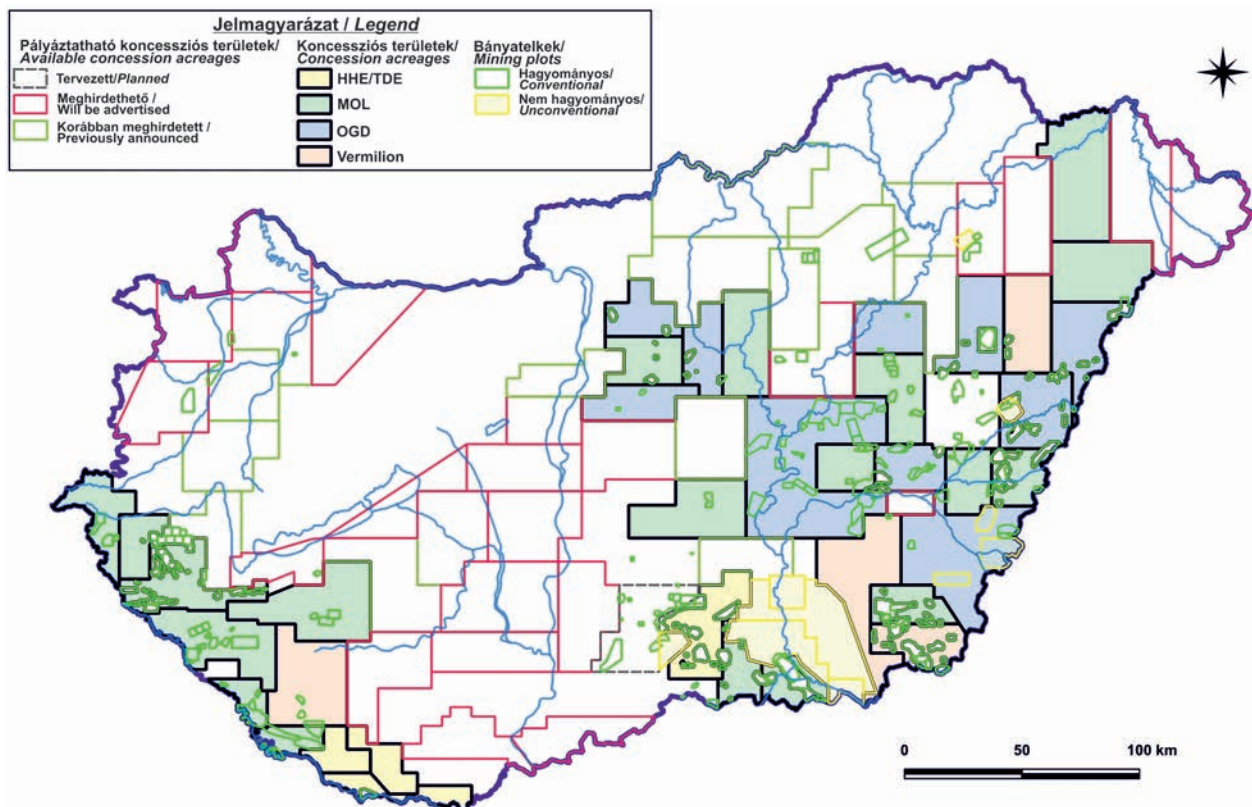
A kutatástörténeti diagram 1990–2020 közötti szakaszát kiemelve látható (1. ábra), hogy önmagában sikeres évtizedről beszélhetünk, hiszen az időszakban felfedezett előfordulások száma 100 feletti, amelyhez a felfedezett ipari vagyonrész 200 millió hordó egyenérték körül van. Ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy ez a – kutatás szempontjából már „érett” – időszak az ezt megelőzően felfedezett kitermelhető vagyon kevesebb mint 10%-át jelenti. Az álta-

lunk meghatározott 30 éves „jelen” a felfedezett, kitermelhető vagyon szempontjából további szakaszokra bontható.

A 90-es évektől 2007–2008-ig a kutatási programokkal még történnék jelentősebb gáz- (Csólyospálos-K 1990, Hosszúpályi-D 2001, Zaláta 2007, Kőrösújfalú 2007) és kőolaj-felfedezések (Mezősas-Nyugat 1992, Sávoly-DK és D 1997, Gomba 2003), de ezt az időszakot követően a görbe szinte teljesen kisimul. 2008–2017 között 32 gáz- és 10 olajfelfedezés történt, ugyanakkor a felfedezett kitermelhető összesített mennyiség csak mintegy 20 millió hordó egyenérték. A legnagyobb találatok is csak ritkán haladják meg a 2 millió hordó egyenérték mennyiségét. Ezen a meglehetősen lehangoló képen 2017-ben a Dráva-medence északi előterében, Pettend környékén felfedezett jelentős kőolajvagyon javít, melynek gyors termelésbe állítása szinte megduplázza az elmúlt évek magyarországi kőolaj-termelését (2. ábra).

Az elmúlt évek eredményeit néhány, a korábbiakban nem tárgyalt, de egy érett területen meghatározó tényező befolyásolta.

Az egyik tényező a kutatási licencek helyzete. A korábbi, főként jogadományon alapuló kutatási területi hozzáférés 2010-ben megszűnt (az ország zárt területté vált), helyét egy kizárólag koncessziós alapon működő rendszer vette át 2013-tól. A közbeeső 2-3 évben az aktív kutatási területek nagysága nagyon lecsökkent, amivel együtt járt a kutatási programok leállása is, amely a koncessziós rendszer elindulásával lassanként visszaépül (12. ábra). Jelentős új talála-



12. ábra. Az érvényes és meghirdethető szénhidrogén-kutatási koncessziós területek Magyarországon – 2020. augusztusi állapot (forrás: <https://mbfsz.gov.hu/>, módosítva)  
Figure 12. Valid and advertisable CH exploration concession acreages of Hungary – as of August, 2020 (source: <https://mbfsz.gov.hu/>, modified)

tok az említett pettendi felfedezés kivételével azonban egyelőre nem történtek.

Ugyancsak a kutatási programokat befolyásoló tényező az olaj- és gázárak igen nagymértékű ingadozása. Ahogy arról szó volt, a „jelen” 30 éves időszakának második felében a találatok átlagos mérete meglehetősen kicsi, így gazdasági értékük nagyban függ az éppen aktuális olajpiaci áráktól. Ez nagymértékű fluktuációt is okoz a kutatási programokban, különösen a gázkutatás terén. Az árak okozta bizonytalanság mellé még időszakos különadók is társulnak, amelyek tovább rontják a kutatási programok megvalósíthatóságának esélyeit. Érdekes, bár a fent leírtakból következő ellentmondás, hogy nagyobb gazdaságossági kockázatot rejt ma gázt kutatni, mint olajat.

Még egy lényegi, a kutatást befolyásoló tényező jelent meg az elmúlt 30 esztendőben. 1995-ben Nagylengyel-Nyugat és Inke területeken kutatási jogot kapott a Blue Star Corporation ezzel az addig évtizedeken keresztül egyszerű magyarországi olajipar kinyílt és több szereplőssé vált. Számos vállalkozás lépett be Magyarországra, ahol önállóan és partnerségben dolgozott és dolgozik jelenleg is a Pannon-medence területén. A különböző cégek kultúrák, az eltérő kutatási stratégiák egyfajta szakmai együttműködést és egyben versenyhelyzetet is teremtettek, amely jól hatott az olajiparra és azon belül a kutatásra.

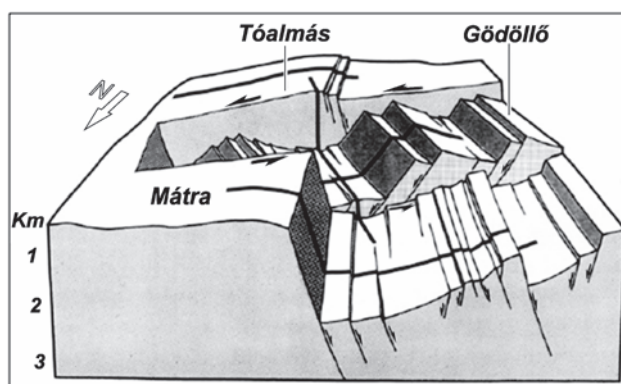
### A Paleogén-medence

Szénhidrogén-történeti „jelenünk” kétségtelenül egyik sikerterülete a Paleogén-medence kutatása.

A Paleogén-medence északkeleti részmedencéje (Vata–Maklári-árok) már a magyarországi olajipari történelem kezdetén, illetve korai fázisában megkutatás alatt állt. Ehhez a medencéhez tartozik az egyik legelső (és a „Dunán innen” elsőként termelésbe állított) olajtelep-felfedezés a Bükk délnyugati előterében, Bükkszéken (1937), továbbá a demjéni és a mezőkeresztesi, mint jelentősebb korai felfedezésű kőolaj-előfordulások (KÖRÖSSY 2004). A medence jelenben sikeres, ún. középső részének kutatása a turai területen kezdődött el az 50-es években (Tura–1, 1954), majd folytatódott a 60-as években (Tura–Tóalmás). A kezdeti kisebb, többnyire nem ipari értékű felfedezéseket, valamint nyomokat szolgáltató kutatási szakasz után a terület kutatása az 1980-as években újult fel Tura, Mogyoród, Dány környékén. A turai fúrások ekkor már kisebb kőolaj-, szabadgáz-, illetve gázsapkás kőolajtelepeket tártak fel többnyire miocén korú homokkőtárolókban. Az áttörést az 1994-ben, 2D szeizmikus értelmezésen alapuló Dány–1 kút lefúrása hozta meg, mely a Zagyvai-árokotól nyugatra elhelyezkedő kibillent triász blokk tetőzónájában található karsztos tárolóban tárta fel a területre az addig legjelentősebb kőolaj-előfordulását. A fúrás újdonságát az adta, hogy a korábban a területen elsődlegesen kutatott miocén rétegek helyett az idősebb, aljzati objektumok kutatását célozta meg, sikerrel. Így kezdett kibontakozni egy új play lehetősége a területen.

A Dány–1 fúrást követően 1995-ben került bemérésre a Dány 3D szeizmikus mérés. A mérés alapján további kutatófúrásokat mélyítették (Isaszeg–1, Valkó–1), de ezek a dányihoz hasonlóan kedvező pozíciókban nem tártak fel szénhidrogén-előfordulásokat.

A medence területén futó Balaton-vonal jellegében kétváltásztja a Paleogén-medencét. A vonaltól északra hozzávetőlegesen É–D-i csapású, kelet felé dőlő, kibillent aljzati blokk sorozatok jellemzők, míg attól délre ÉK–DNy-i vergenciájú szerkezetek találhatók (13. ábra, TARI et al. 1992). A déli területen 2D szeizmikus szelvény értelmezése alapján mélyült 1996-ban a Monor–É–1 fúrás, mely eocén homokkőben tárt fel szénhidrogéntelepét, de a tároló rossz minősége miatt az olaj termeltetése ipari értelemben nem volt sikeres. Ugyancsak ezen a területrészén, 2D szeizmikus értelmezés eredményeként mélyült a Tóalmás–D–1 kutató-



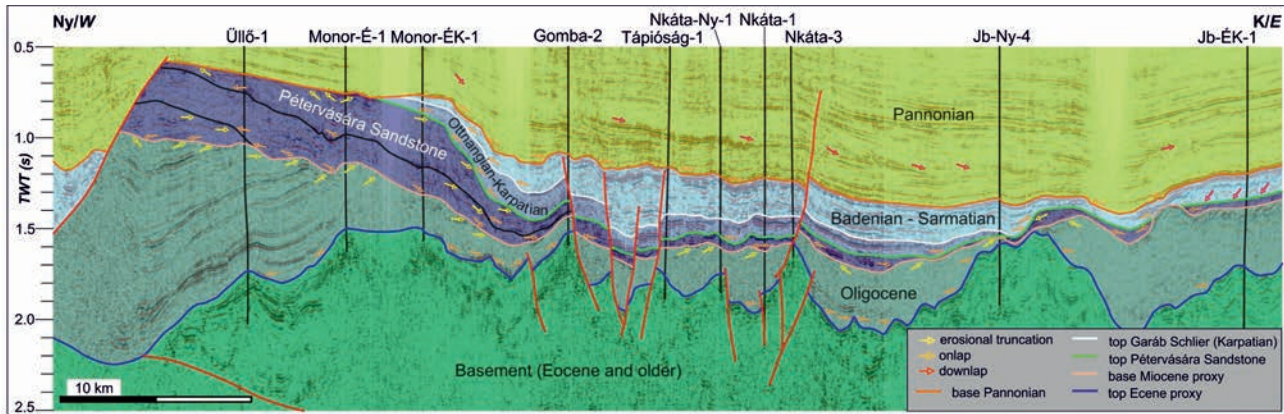
13. ábra. A miocénnél idősebb képződmények szerkezeti értelmezése a Paleogén-medence területén (TARI et al. 1992)

Figure 13. 3D structural interpretation of the pre-Miocene formations in the Palaeogene Basin (TARI et al. 1992)

fúrás, mely egy meredek aljzati repedésrendszerben tárt fel ipari értékű kőolaj-előfordulást 1999-ben.

A Tóalmás–D-i eredményeket követően több fázisban 3D szeizmikus adattömbök bemérése történt meg a déli területre, Tóalmás, majd Monor, Jászberény környezetében 2000–2005 között. A 3D mérésekre alapozott modellalkotás alapján több jelentős kőolaj-előfordulást fedeztek fel: Tóalmás–D, Nagykáta, Nagykáta–Ny, Gomba, Süllyáp–É, Ócsa, Monor (14. ábra, PALOTAI 2013). Az intenzív kutatási program során felfedezett kitermelhető vagy az ezen a területrészeken mintegy 21 millió hordó egyenérték szénhidrogén, nagyjából kőolaj, amely a területet Algyő mögött a második helyre tette olajtermelés szempontjából a 2000-es évek derekától.

A siker több tényezőre is visszavezethető. Egyrészt a korábbi eredmények alapján kijelenthető, hogy a terület a 90-es éveket megelőzően alulkutatott volt. A Dány, majd a Tóalmás–D-i találatok rávilágítottak az eocén/oligocén anyakőzetek és az aljzati/eocén tárolók közötti kapcsolatra, ez pedig újra elindította a terület kutatását. A sikerességhez emellett nagyban hozzájárult a 3D szeizmikus mérések alkalmazása.



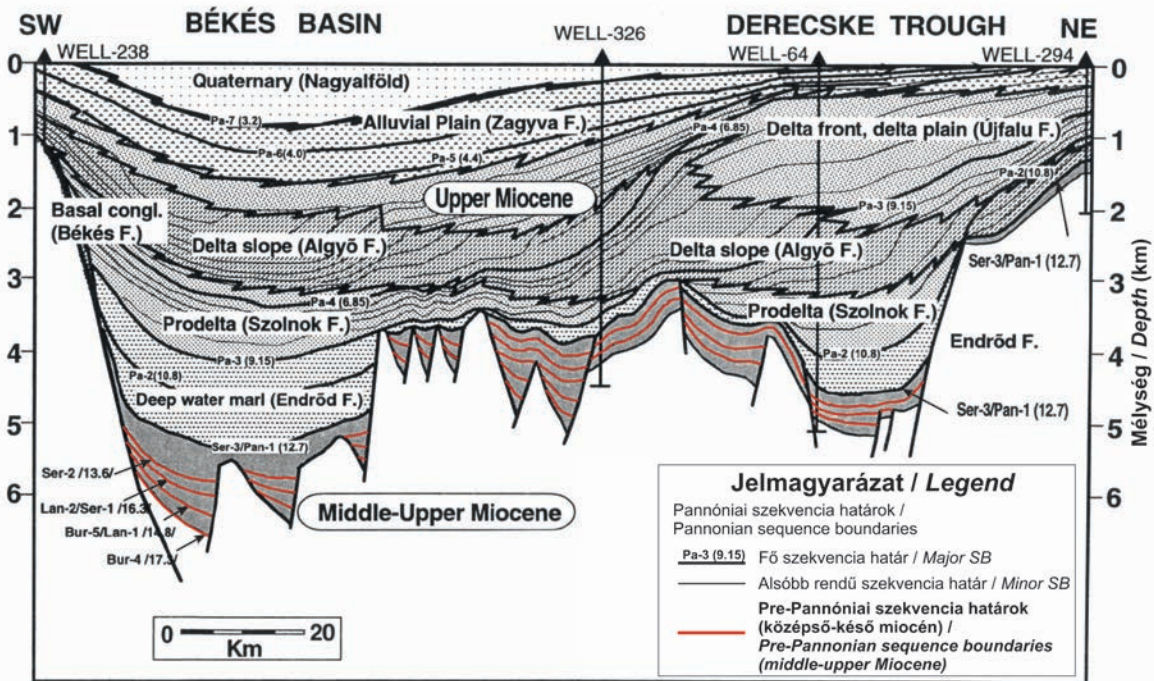
14. ábra. Kompozit szeizmikus szelvény és értelmezése a Paleogén-medence déli területén keresztül (PALOTAI 2013)

Figure 14. Interpreted composite seismic section across the south part of the Palaeogene Basin (PALOTAI 2013)

### Tiszántúli gázkutatás

A legnagyobb szénhidrogén-előfordulásaink pannon rétegekben (Algyő, Hajdúszoboszló) található, amelyeket aljzati nagyszerkezetek felett boltozódó szerkezeti csapdákban fedeztek fel. A 60-as évektől a pannóniai sztratigráfia fejlődése (GAJDOS et al. 1983, JUHÁSZ 1992, JUHÁSZ & MAGYAR 1992, PHILLIPS et al. 1994) során az „alsó”- (az olajiparban használt rövidítéssel P11) – „felső”-pannóniai (az olajiparban használt rövidítéssel P12) litológiai felosztástól az 1990-es években eljutottunk a dinamikus deltafeltöltő-

dési modellig (VAKARCS 1997, 15. ábra). Az új alapokra helyezett pannóniai üledékes rendszer kutatása pedig nem kapcsolódik szükségszerűen nagyszerkezetek környezetének kutatásához. A lemért 3D szeizmikus adattömbökön szeizmikus, valamint szekvencia-sztratigráfiai alapon kidolgozott modellek alapján önálló pannóniai szénhidrogén-földtani egységek meghatározására és kutatására nyílt lehetőség. Annak ellenére, hogy csapdázódást tekintve nagyrészt nem sztratigráfiai felhalmozódásról beszélhetünk, ennek a megközelítésnek és módszertannak az eredménye a 2001-ben felfedezett Hosszúpályi-D gázmező, mely az



15 ábra. Középső-miocén-pliocén üledékképződési modell a Pannon-medencében, részletes szeizmikus szekvencia-sztratigráfiai értelmezésen alapuló földtani metszet a Derecskei-árkon és a Békési-medencén keresztül (VAKARCS 1997)

Figure 15. Middle Miocene-Pliocene depositional model of the Pannonian Basin. Geologic cross-section is derived from detailed seismic sequence stratigraphic interpretation across the Derecske Trough and Békés Basin (VAKARCS 1997)

elmúlt 30 év egyik legnagyobb gáztalálata. A hozzávetőlegesen 2005–2006-ig tartó időszakban 3D mérésekkel megtámogatva nagyon részletes földtani és szénhidrogén-földtani modelleket dolgoztak ki a Tiszántúlon és a Dél-Alföld egyes részein. Az ezen alapuló kutatás további felfedezéseket hozott a Derecskei-árokban Létavértes és Álmosd környékén. A további sikereket azonban nem ezek a modellek hozták meg önmagukban, ahhoz a korábbiakban már említett, szeizmikus adatokból kinyerhető attribútumok és a szénhidrogén jelenlétére közvetlenül utaló AVO-hatás vizsgálata nagyban hozzájárult. A módszertan már az 1980-as évektől ismert, de az AVO-jelenségekre alapozott kutatás Magyarországon csak 2006 után jelent meg. A gyakorlati alkalmazást a Magyar Horizont Energia Kft. (HHE) vezette be a Tiszántúlon, amikor is Dévaványa, Túrkeve, Komádi környékén indított el önálló, illetve partnerségi kutatási programokat és ért el találatokat. A következő években, egészen napjainkig a területen dolgozó vállalkozások ezzel a módszertannal a Tiszántúlon hozzávetőlegesen 30 regisztrált gázfelfedezést értek el a pannóniai rétegekben.

### *Dunántúli kutatási eredmények*

A Dunántúlon a kutatás egy nagyon szép találattal – az Őriszentpéteri, mintegy 8 millió hordó egyenértékű gázfelfedezéssel – fordult a szénhidrogén-kutatási történetünk jelenébe (1989).

Az első 3D szeizmikus felvételezésekre már igen korán, 1992-ben sor került a Dunántúlon. Az első mérésekkel már ismert előfordulásokat, mint Nagylengyel, illetve Sávoly területét fedték le. A célterületek nagysága néhány tíz négyzetkilométer volt, amellyel a mezők és közvetlen környezetük bemérésére került sor. A mérési stratégia a Dunántúlon hasonlóan alakul az ország más részeihez, vagyis egészen a 90-es évek végéig kis területű mérések történtek. A szeizmikus 3D adatok kutatási feladatokban való használhatóságát azonban már a Sávoly környékén végzett program is igazolta. 1992–1999 között négy, egymást kiegészítő 3D mérést végeztek. Az adattömbök alapján Sávoly környékén új telepeket, mezőrészeket fedeztek fel: 1995–97 között Sávoly-DK, Sávoly-D területeken, majd további szatellit telepeket, 1998–1999-ben Szőcsénypuszta, Kápolnapuszta, Zalakomár térségében. A 3D szeizmikus mérésekkel 2007-ben kelet felé tovább haladva Tatárvár környezetében tártak fel újabb ipari értékű kőolaj-előfordulást.

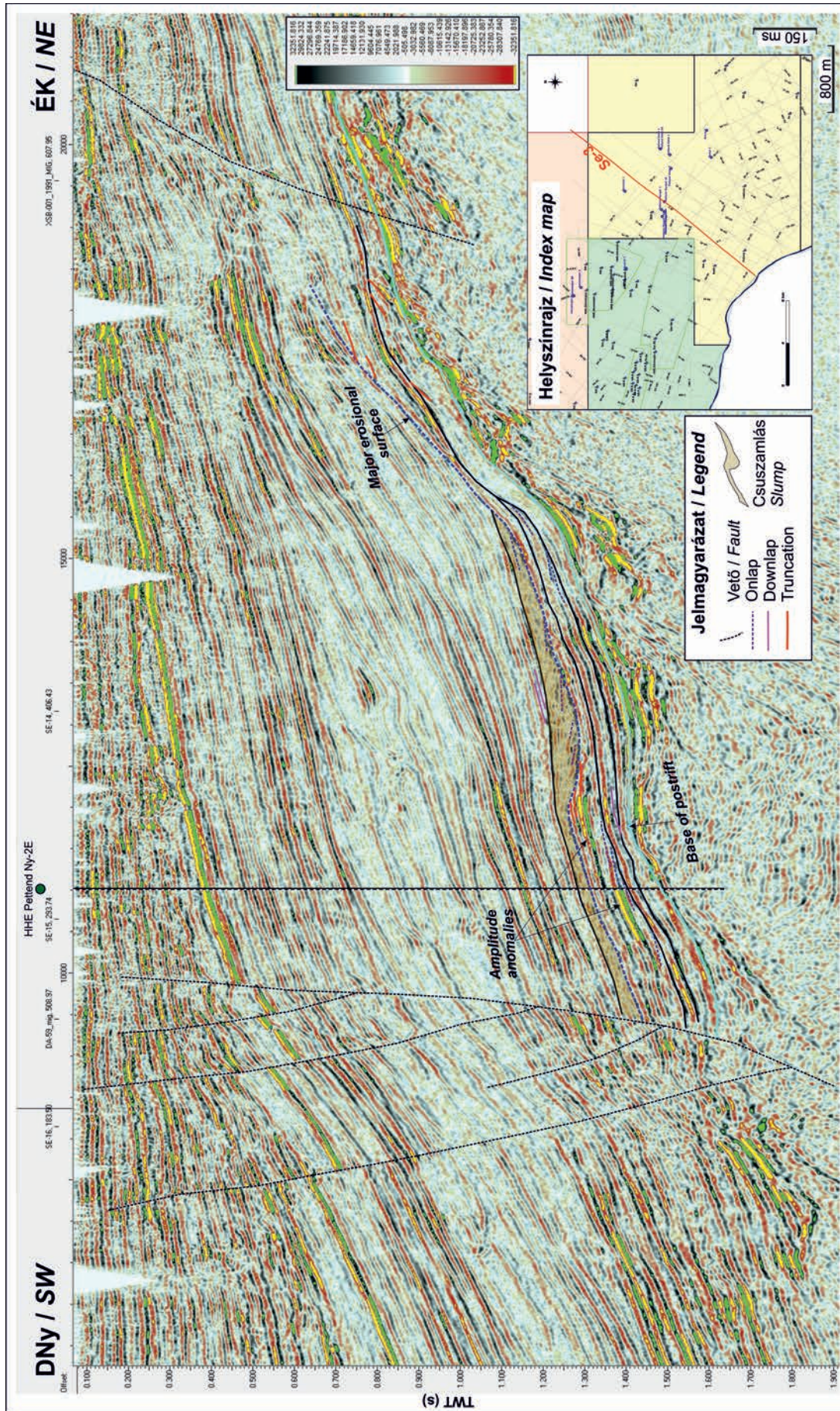
A 3D mérések mellett a kutatási programok 2D mérésekkel lefedett területeken is sikerrel zajlottak a 90-es években. Csombárd, Nagybakonak, valamint Jankapusza környékén történt szénhidrogén-felfedezés.

A 2000-es évektől a 3D mérés mint kutatási eszköz ugyanúgy elterjedt a Dunántúlon, mint az ország többi részén. A nagy mezők környezetének kutatási „érettségét” jól jelzi, hogy a régóta ismert területeken végzett intenzív mérési programot követő fúrési program nem hozott jelentős eredményeket sem számszámokban, sem felfedezett mennyiségben. Látható, hogy a hagyományosan kutatott playek lehetőségei kifogyóban vannak.

A Dunántúl leginkább sikeres területrésze a délvidék, a Horvátországgal határos zóna. Amellett, hogy az elmúlt 30 esztendőben Belezna, Vízvár környezetében történtek az országhatárhoz közel eső szénhidrogén-felfedezések, a már korábban is példaértékű, évtizedekre visszatekintő horvát-magyar határmenti együttműködés egy új szakaszába fordult, mely az INA és a MOL Nyrt. együttműködésével jelentős kutatási sikerhez vezetett. A határmenti előfordulások kutatása, termelése, a közös mezők kezelése mindig is a magyar és a szomszédos olajipar (és országvezetés) érzékeny pontja volt. Az említett közös határmenti kutatás azonban meglehetősen egyedi, miután közös érdekeltségi területeken a magyar és a horvát fél együttműködésében közös modellépítés és kutatási program történik a 2000-es évek elejétől. A programban közös 3D szeizmikus mérésekre, valamint fúrásos kutatásra került sor. A közös kutatás legjelentősebb eredménye a 2007-ben Zalátán és a horvát oldalon Dravica térségében felfedezett, mintegy 8,6 millió hordó egyenértékű kitermelhető mennyiséget tartalmazó földgázmező. Az előfordulás kutatására, lehatárolására mindkét ország területén mélyült kutatófúrás, közös fejlesztési és termelési stratégiát határoztak meg. A határmenti kutatási területek jogosítottjai időközben változtak mindkét oldalon, de – miután a geológia nem ismer határokat – a határokon átívelő együttműködés továbbra is a sikerhez vezető egyik legfontosabb út.

A Dunántúl hagyományos kutatási területein a pannóniai rétegek sztratigráfiai csapdáinak kutatása sokáig nem volt általános. Az Alföldön a pannóniai rétegsorokban sikeres attribútum- és AVO-alapú kutatási metodika a Dunántúlon is megjelent az elmúlt bő évtizedben. Az alapot a 2008-ban bemért Barlahida 3D adja, amelyen a pannóniai üledékek geológiai és geofizikai modellezését követően több pannóniai célobjektum kutatása is megtörtént (Tófej–1, Gutorfölde–1, Rádiháza–1, Tófej-Ny–1). A play koncepció és az alkalmazott metodika működik, gáztelepek felfedezésére került sor, de a megismert vagyonok kicsik, jelezve, hogy a pannóniai üledékek potenciálja nem túl magas ezen a területen.

A Dráva-medence magyarországi részén (északi peremén) 2008-ban bemért Barcs 3D területén attribútum vizsgálatok alapján 2010-ben Jánosmajor, Istvándi, Fannimajor környezetében gázfelfedezésekre került sor. Az előfordulások termelése során nemcsak gáz-, hanem olajtermelés is történt, amely jelezte a tágabb környezet szénhidrogén-kutatási perspektíváit. A 2016-ban kiírt Lakócsa blokk kutatása az itt megkezdett kutatási program folytatása, mely meghozta azt a sikert a Dunántúl számára, amely nagyon sokat adott a terület rész lehetőségeinek megítéléséhez, valamint akár szénhidrogén-történetünk jövőjéhez is. A HHE által elnyert blokkon 2017-ben és 2018-ban mélyült pettendi kutatófúrások pannóniai rétegekben fedeztek fel jelentős mennyiségű kőolajat (*16. ábra*). A mező és a blokk még kutatási, illetve korai termelési fázisban tart, és kevés a publikált adat, így részletes képet a földtani modellről, illetve a felfedezett vagyon nagyságáról nem ismerünk. A felfedezés jelentőségét azonban jól mutatja, hogy gyors termelésbeállítást követően a mező jelenleg csaknem megduplázza a magyarországi olajtermelést.



16. ábra. SE-3 részlegesen értelmezett szeizmikus 2D szelvény a Pettend olajmező környezetéből, Dráva-medence DK-i rész, Magyarország (forrás: szeizmika - OGD Central Kft., kút lokáció IHS adatbázis). Az amplitűde anomáliák jelezik a telepek helyét  
 Figure 16. Partially interpreted SE-3 seismic 2D section in the vicinity of Pettend oil field, SE Dráva Basin, Hungary (source: seismic - OGD Central Ltd., well location: IHS database). The location of amplitude anomalies shows the discovered oil reservoirs

### Nem hagyományos előfordulások kutatása

Szénhidrogén-földtani értekezésünk múlt–jelen–jövő felosztásában a nem hagyományos előfordulások kutatását nem egyszerű elhelyezni, több szempontból sem.

Abban, hogy egyáltalán felismerjük ezeket az előfordulásokat, gondolkodjunk a kutatásukon, illetve hasznosíthatóságukon, sokat segített, hogy nevet tudtunk adni neki. Ez pedig olajipari történelmünk eléggé késői időszakában, valamikor a 2000-es évek első évtizedében következett be, amikor is az észak-amerikai kontinensről elindultak a hírek, hogy valami egészen forradalmi dolog kezdődött ott, és amelyről azóta tudjuk, hogy ténylegesen megváltoztatta az ipar és a világ gondolkodását az elérhető szénhidrogének mennyiségével kapcsolatban. Az időpont alapján azt gondolhatjuk, hogy a nem hagyományos előfordulások kutatása olajipari jelenünk része. Ugyanakkor mihelyt a típusokat és a meghatározható kritériumokat felállítottuk (HOLDITCH 2013), szinte mindjárt be is tudtuk azonosítani a fejünkben azokat a már régóta ismert képződményeinket, amelyek potenciálisan beleillettek egyik vagy másik előfordulástípusba. Olyan képződményekről, medencékről, előfordulásokról beszélünk, amelyeket régóta kutattunk, legyen szó akár földtani vagy fúrás/termelés technológiai vonatkozásokról, és amelyeket korábban nem tartottunk ipari értelemben érdemlegesnek arra, hogy foglalkozzunk vele. Egész egyszerűen nem volt része az addigi általános olajipari gyakorlatunknak.

Az eddig felsorolt érvek a téma múltba és jelenbe tartozása mellett eléggé fajsúlyosak, de lássuk a nem hagyományos előfordulások kutatásának jövőhöz való viszonyát pro és kontra. Az eddigi kutatási programok eredményei nem hoztak forradalmi változást a magyarországi termelésben. Ugyanakkor nem kérdés, hogy a nem hagyományos „megközelítés” a jövőnk részévé válik, hiszen a világban működő projektek igazolják, hogy nem kell elvetnünk egy-egy lehetőséget csak azért, mert elsőre nem tűnnek hasznosíthatónak, hiszen akár technológiai, akár projektoldalon van megoldás arra, hogy kutassuk és kiaknázzuk ezeket a forrásokat.

A szénhidrogén-piramison (17. ábra) belül azon típusokat sorolhatjuk be a nem hagyományos előfordulások közé, amelyek a rendelkezésre álló eszközökkel termeltethető, jobb tárolótulajdonságokkal rendelkező, a világ termelésének domináns részét adó „hagyományos” előfordulásoktól valamely tulajdonságukban oly módon eltérnek, hogy nem termeltethetők gazdaságosan és/vagy korábban nem volt megfelelő technológia a hasznosításukra. Számosságukat tekintve jóval többféle típusról beszélhetünk, és ezen előfordulásokhoz rendelhető földtani vagy is sokkal nagyobb, mint a hagyományos előfordulások esetében. A kulcs a megfelelő technológia és a gazdaságos termeltethetőség.

A piramison megtalálható típusok közül Magyarországon elsősorban a pelitekhez kötődő szénhidrogének, vagy – ahogy a magyar nevezéktanban elterjedt – márga- vagy palagáz/olaj (shale gas/oil), az alacsony áteresztőképességű homokkővekhez kapcsolódó gázok (tight gas), illetve a szénhez kötött metán (coal bed methane, CBM) előfordulásokkal kapcsolatban folytak kutatások (18. ábra).

A szén- és szénhidrogénipar érdekes ötvözeteként értelmezhető szénhez kötött metán vizsgálata, hasznosíthatósága a mecseki jura feketeszén előfordulása kapcsán már többször is felmerült, sőt konkrét mezőbeli kísérletek is történtek a 90-es években a gáz felszabadítására és termeltetésére, de végül ezeket a próbálkozásokat nem követte nagyobb volumenű program.

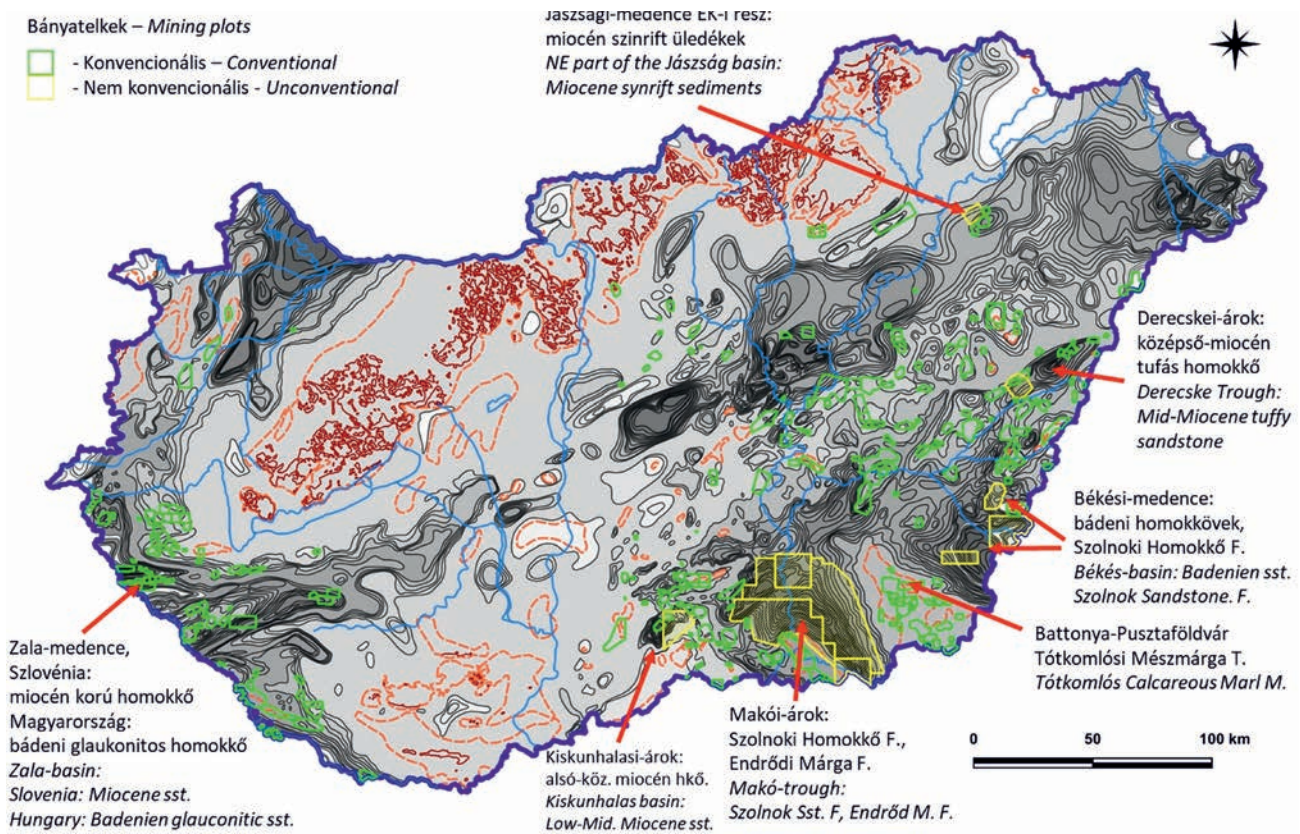
A Makói-árokban a 2000-es évek elején megkezdett munkaprogram volt az első olyan dedikált projekt, amely területi nagyságával, illetve a megcélzott vagyon méretével felhívta a figyelmet az itthoni lehetőségekre és azok potenciális ipari, gazdasági hatására. A cél ebben a fiatal árokban (TARI et al. 1999) egy ún. medenceközponti gázfelhalmozódási rendszer (BCGA; LAW 2002) kutatása volt. A rendszer földtani hátterét az árkot kitöltő, nagy vastagságú pannóniai üledékes összlet adja. Részei az Endrődi Márga Formáció mint potenciális anyakőzet és egyben márgagáz/olaj előfordulás, valamint a Szolnoki Homokkő Formáció mint alacsony áteresztőképességű homokkővekhez kapcsolódó gázelőfordulás. Az előfordulások igazolására, hasznosíthatóságuk vizsgálatára elvégzett munkaprogram az árok teljes területét lefedte. Az árok és környezetének újraértékelésén túl jelentős volumenű szeizmikus mérésre került sor, mely lehetővé tette az árok nagy részletességű feldolgozását. A fúrási tevékenység is jelentős volt, hiszen korábban összesen nem mélyült annyi kút az árok területén, mint ebben a pár évben (9 db fúrás). A folyamatos előfordulás igazolására peremi és centrális helyzetekben is mélyültek fúrások a Szolnoki és az Endrődi Formációkban, minden pozícióban értékes, új adatokat szerezve az árok földtani és szénhidrogén-földtani viszonyairól (KOVÁCS Zs. et



17. ábra. Szénhidrogén-piramis (módosítva HOLDITCH 2013 után). A magas-közepes minőségű rezervoárok a háromszög csúcsán tekinthetők a konvencionális, míg a többi előfordulás a nem konvencionális rezervoároknak (vagyonoknak)

Figure 17. Resource triangle (modified after HOLDITCH 2013). The high to medium-quality reservoirs in the upper region of the triangle are generally considered to be conventional resources; the other resources in the larger part of the triangle are considered to be unconventional reservoirs





18. ábra. Magyarországi nem hagyományos szénhidrogének kutatási térképe (módosítva KOVÁCS Zs. et al. 2018 után)  
Figure 18. Exploration map of unconventional hydrocarbon resources in Hungary (modified after KOVÁCS Zs. et al. 2018)

al. 2018). Ugyancsak ennek a programnak köszönhető egy hazai „rekord”. A kutatás keretében mélyült a jelenleg legmélyebb magyarországi fúrás, a Makó-7, melynek egyik fontos földtani vonatkozású eredménye, hogy elérte a Makói-árok alját, és abban metamorf képződményeket tárt fel, ismertté téve egy addig ismeretlen foltot Magyarország kainozoos aljzatának térképén (HAAS et al. 2010).

A fúrások teszt- és rétegrepesztési programjairól, illetve azok eredményeiről sok publikált adat, információ nem érhető el, de az tudható, hogy mind az Endrődi, mind pedig a Szolnoki Formációkban történtek vizsgálatok a képződmények szénhidrogén-földtani értékeinek meghatározására (BADICS et al. 2011). A program kutatási „eredményét” közvetetten abból mérhetjük le, hogy a területeken igen jelentős szénhidrogénvagyron került dokumentálásra (Magyarország Ásványi Nyersanyagvagyona), amelyre később bányatelek-alapítások történtek, biztosítva ezzel a cégek számára a további tevékenység lehetőségét. A tevékenység folytatása azonban még várat magára.

Kevésbé ismert, de pannóniai rétegek nem hagyományos potenciáljának kutatására a Békési-medence területén is történt erőfeszítés (KOVÁCS Zs. et al. 2018). Habár itt az elvégzett munkaprogram volumene kisebb volt, miután mindösszesen két kutatófúrás mélyítésére és az egyik rétegrepesztésére került sor, a szénhidrogén-földtani vonatkozások és eredmények a Makói-árokéhoz hasonlóan alakultak.

A Makói-árok és a Békési-medence kutatási programjai

nemcsak önmagukban voltak jelentősek. Képet kaphattunk több, pannóniai üledékekkel kitöltött részmedence szénhidrogén-földtani viszonyairól, potenciális lehetőségeiről és a Pannon-medence olyan világméretű ipari résztvevők számára is érdeklődést váltott ki, mint a Shell vagy a kutatási programokban aktívan részt vevő ExxonMobil.

A pannóniai Endrődi Formáció bazális Tótkomlói Mészmarga Tagozata a szénhidrogénipar egyfajta svájci bicskája. Egyszerre fontos marker a fúrások során, záróközet a prepannóniai rétegek felett, gyenge/jó minőségű anyakőzet, és részterületenként eltérő fluidumokat tartalmazó tároló. Mint képződmény általános jellemzője, hogy önmagában nagyon rossz tároló tulajdonságokkal rendelkezik, amely csak a közbetelepülő durvább szemű, aleurolitos szakaszokon javul fel. Emiatt – talán egyedül a battonyai területen található mészmarga olajelődfordulásait kivéve – nagyon kis kihatással vagy egyáltalán nem termeltethető a mészmargában található telepek.

A mészmarga szénhidrogén-potenciáljának kiaknázásához vezető kulcs a képződmény nem hagyományos előfordulásként (márgagáz/olaj) való megközelítése lehet. Ez nem csupán azt jelenti, hogy a termeltetés megoldásához a nem hagyományos előfordulások esetében alkalmazott technológiák bevetésére van szükség, hanem azt is, hogy a potenciál továbbkutatása során a hagyományos előfordulásokra jellemző kritériumok – mint fázishatár, szerkezeti csapdák – helyett a mészmarga elterjedését, vastagságát, szénhidrogén-

generáló képességét kell figyelembe venni, ami jelentősen megnövelheti a már eddig ismert, mészmárgákhoz kapcsolódó földtani vagyonokat. Ezen a rendkívül izgalmas területen tudásunk szerint jelenleg egy projekt van folyamatban.

A mészmárgáról mint földtani–szénhidrogén-földtani képződményről összefoglaló ankét megrendezésére került sor a Magyarhoni Földtani Társulat Alföldi Területi Szervezete szervezésében 2016-ban (<https://foldtan.hu/hu/node/184>).

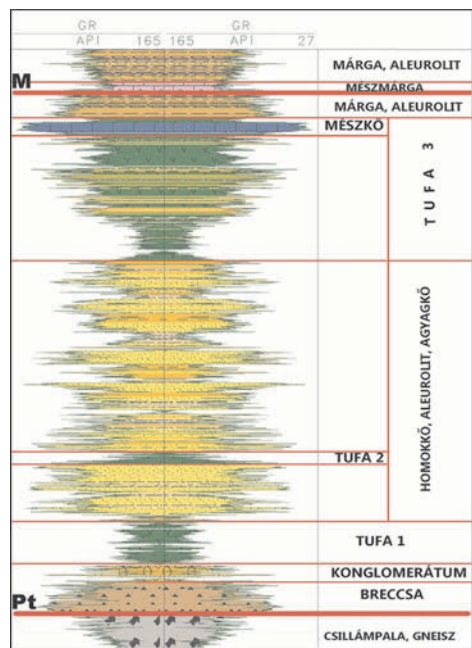
A méreteiben kétségtelenül legnagyobb potenciált ígérő pannóniai rétegek kutatása mellett további projektek is indultak a Pannon-medence területén.

Az alsó–középső-miocén rétegsorok a magyarországi szénhidrogénipar történetében sokáig alulkutatottak voltak. Amellett, hogy számos miocén korú tárolót ismerünk, ezek a rétegek döntően a jelentősebb aljzati magaslatok és a felettük esetleg boltozódó fiatalabb képződmények között kerültek megfúrásra. Ezekben a pozíciókban a vastagságuk sok esetben néhány vagy néhányszor tíz méter, litológiai kifejlődésük rendkívül változékony, jellemzően vulkanikus betelepüléssel. Önálló egységként való kutatásuk nem egyszerű feladat. Mindemellett több olyan program is folyt a 2000-es években, amelynek fúrásai jelentős vastagságban tártak fel alsó- és/vagy középső-miocén rétegeket, bennük szénhidrogén-előfordulásokat felfedezve. A Kiskunhalasi és a Derecskei-árok miocén rétegeinek kutatásai is ilyenek voltak (KISS & MAGYAR 2012, LEMBERKOVICS 2017, LEMBERKOVICS et al. 2018). Az itt felfedezett előfordulások azonban nem voltak gazdaságosan termeltethetők. Az ok az összetett rossz tárolótulajdonságaiban keresendő, melyek mindkét területen kielégítik az alacsony áteresztőképességű tárolók kritériumait (<0,1 mD). Az előfordulások

hasznosítására külön projekt indult, melynek során további fúrásokra, rétegrepszttésekre, majd próbatermelésekre került sor. Az idősebb miocén, alacsony áteresztőképességű tárolókban végzett programok, bár vagyonukat tekintve nem érik el a pannóniai rétegekre becsült vagyon mennyiségét, eljutottak oda, hogy érdemi mennyiségű adatot szolgáltatnak a tárolók rétegrepszttés utáni termeltethetőségére vonatkozóan. Sajnos egyelőre ezek a projektek sem léptek tovább egy vízszintes vagy nagy ferdeségű fúrás mélyíté-sének irányába, így a valós termelési potenciál nem ismert.

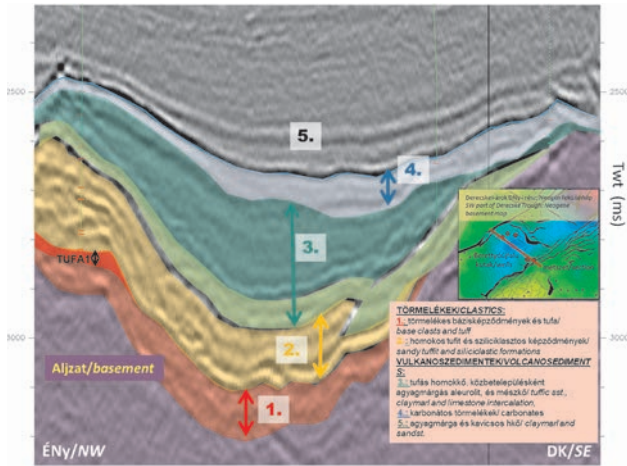
A Derecskei-árokból megfúrt közel 700 m vastagságú középső-miocén rétegsorban (19–20. ábrák) több száz méteres vastagságban a badenire általában nem jellemző csökkent sós vízi – édesvízi környezetben lerakódott, döntően üledékes rétegsort ismertek meg, addig főként pannóniai üledékekre jellemző ősmaradvány-együttessel. Ebben az üledékes összletben, erősen túlnyomásos környezetben végzett hagyományos rétegvizsgálatokkal jó minőségű nedvesgáz-előfordulást fedeztek fel, mely azonban az alacsony áteresztőképességű tárolóból nem volt ipari szempontból gazdaságosan termeltethető. Új kutak fúrása és rétegrepszttése történt, mely jelentősen megnövelte egy-egy kút termelését. A tároló termeltetése kb. 8 éve folyik, igazolva ezzel annak működőképességét.

A Kiskunhalasi-árokból a 2009-ben lefúrt THL-Ba-É-1 jelű fúrás közel 2 km vastag kárpáti korú, édesvízi környezetben lerakódott, túlnyomórészt finomszemű üledéket hárított, majd ismeretlen, bár vélhetőleg ottngai korú üledékekben állt meg (21. ábra). A rétegsor alsó 400 métere tekinthető egy erősen túlnyomásos, alacsony áteresztőképességű



19. ábra. Az alacsony áteresztőképességű színrift homokkötő-tárolók rétegsora a Derecskei-árok DNY-i részén, Berettyóújfalu térségében (módosítva KISS & MAGYAR 2012 után)

Figure 19. Lithological column of the synrift tight gas sandstone series, SW part of Derecske trough, around Berettyóújfalu (modified after KISS & MAGYAR 2012)



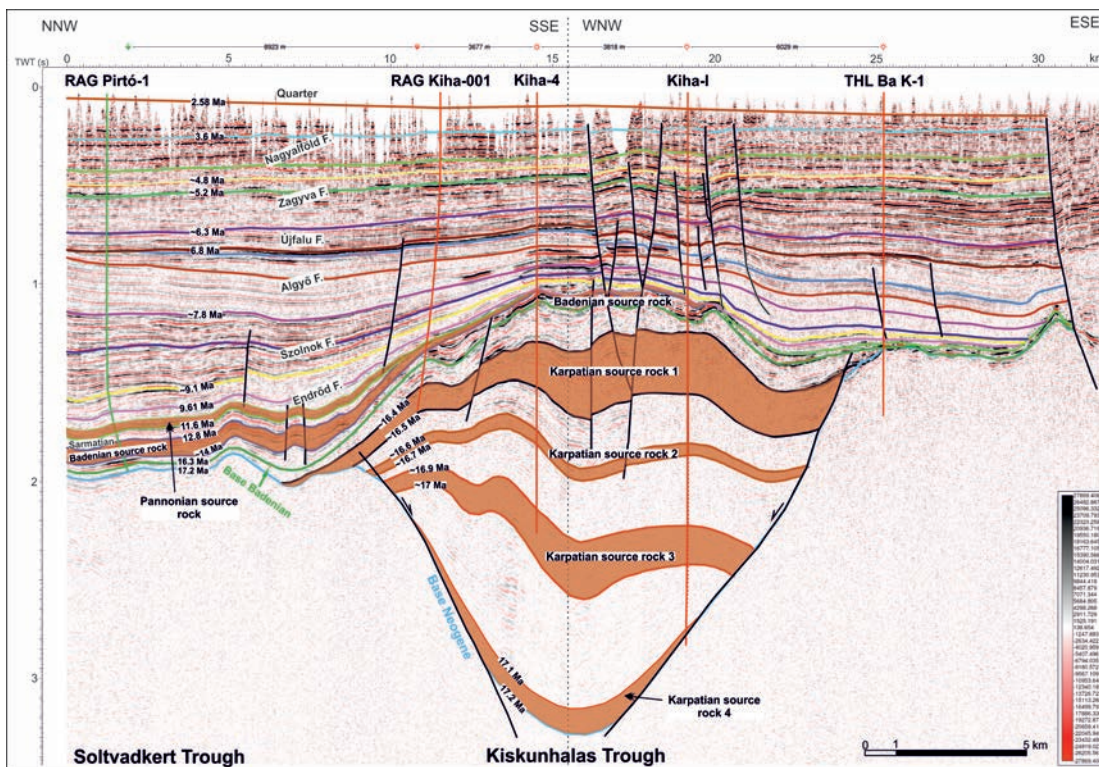
20. ábra. Értelmezett 3D szeizmikus metszet a Derecskei-árok DNy-i részén, Berettyóújfalu térségében (módosítva KISS & MAGYAR 2012 után)  
 Figure 20. Interpreted 3D seismic cross-section in the SW part of Derecske Trough, around Berettyóújfalu (modified after KISS & MAGYAR 2012)

szerű homokkő/agyag típusú, nem hagyományos tárolóknak. Ebből többszöri repesztéssel sikerült párlatdús gáztermelést elérni, azonban – sajnos – a kapott termelési ütem nem érte el a gazdaságosságához elvárt mértéket.

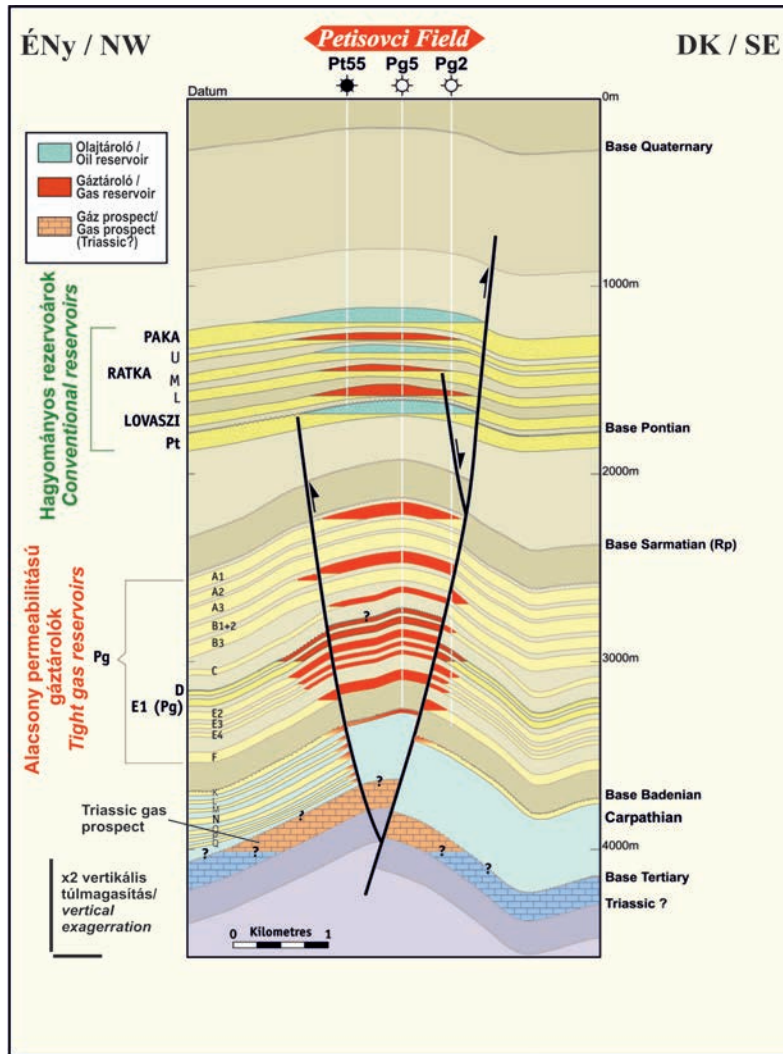
További kutatások folytak a miocén korú, szinrift ciklus során lerakódott nem konvencionális rezervoárok szénhid-

rogén-potenciáljának megismerésére a Békési-medence északi peremén (két fúrás Nyékpusztá környezetében), valamint az Észak-Alföld területén, ahol a Jászsági-medence keleti peremén található, lokális, nagy geotermikus gradienssel jellemezhető részmedencében fúrták le és vizsgálták ki a HHEN-Tiszavasvári–6 jelű fúrást (18. ábra).

A dunántúli területek közül a Zala-medencében, közvetlenül a határ túoldalán, a szlovéniai Petisovci–Globoki mezőben folyt célzott kutatás az Ascent Resources Ltd. által. Ezen a területen a nem hagyományos tárolók továbbkutatása céljából két fúrás lemélyítésére és rétegrepszítésére került sor a Lovászi–Petisovci antiklinális DNy-i elvégződésében. Ezek eredménye a rövid termeltes miatt kérdéses, átütő sikert a kutak nem hoztak. Megjegyzendő azonban, hogy ezen a területen már 1949-től megindult – igaz, akkor még nem tudatosan – a kutatás, majd a termelés is, amikor először az L–158 fúrással felfedezték, majd az 1960-as években több lovászi és petisovci fúrással, repesztéssel stimulálva, termelésbe is állították az alacsony átteresztőképességű badeni korú homokkőtárolókat (TÓTH & TARI 2014; 22. ábra). A medence magyar oldalán a MOL Nyrt. 3D szeizmikus mérések felhasználásával kutatási programot hajtott végre a Budafa–Újfalui szerkezettől északra, Tormafölde környezetében 2004-ben, ahol a 3350 méter mélységű Vetyem–I fúrással badeni glaukonitos homokkőben tárt fel gázt. A tesztek során a kezdeti magas hozam gyorsan lecsökkent, és



21. ábra. Értelmezett szeizmikus szelvény a részben invertált Kiskunhalasi-árok tengelyére merőlegesen. A feltüntetett kárpáti korú anyakőzetszintek (különösen a 3–4) adják a közberetegzett alacsony átteresztőképességű homokkőtárolók gáztelítettségét (módosítva PÁVEL & LEMBERKOVICS 2015 után)  
 Figure 21. Interpreted seismic section perpendicular to the axis of the partially inverted Kiskunhalasi Trough. The highlighted Karpatian age source rock layers (especially the no. 3–4) generated the accumulated gas in the interstratified tight sandstone reservoirs (modified after PÁVEL & LEMBERKOVICS 2015)



22. ábra. Geológiai szelvény a Petisovci-Dolina antiklinálison keresztül, kiemelve a fő konvencionális és alacsony permeabilitású homokkötőtartókat (módosítva TÓTH & TARI 2014 után)

Figure 22. Geological cross-section showing main conventional and tight gas reservoirs of Petisovci-Dolina anticline (modified after TÓTH & TARI 2014)

a vizsgálati eredmények alapján a homokkő alacsony permeabilitású gáztárolóként működik.

A miocén üledékek kutatása számos új eredményt szolgáltatott. Földtani értelemben pontosítani lehetett az egyes árkok geológiai fejlődéstörténetét. A modern szemlélettel és eszközökkel végzett kút- és anyagvizsgálatok segítettek jobban megérteni az egyes medencék anyaközetének eloszlását és süllyedéstörténetét, mi több, akár összevethetővé is váltak a részmedencék ebből a nézőpontból (LEMBERKOVICS 2017, LEMBERKOVICS et al. 2018, HAROLD et al. 2019a). Regionális léptékben ezek az eredmények előmozdítják a miocén árkok fejlődéstörténeti különbségeinek megértését, beleértve a szinfrift fázis időbeli eltolódását a Pannon-medence különböző részein (BALÁZS et al. 2016, SEBE et al. 2019).

A számos konkrét fúrési és rétegvizsgálati tevékenység mellett több földtani képződmény mint potenciális, nem hagyományos előfordulás elemzése is megtörtént (BADICS & VETŐ 2012). Ilyenek – a teljesség igénye nélkül – a Dunántúlon

a nagylengyeli mező anyaközeteként számontartott Kösseni Formáció, vagy a Paleogén-medence területén a Tardi Agyag mint potenciális palaolaj lehetőség. Ezekkel kapcsolatban azonban ez ideig nem került sor további kutatásra.

A nem hagyományos kutatás eredményeképpen a vizsgált területek földtani és szénhidrogén-földtani megismerése ugrászerűen fejlődött, jelentős mennyiségű új mérési adat, kézzelfogható minta került a kezünkbe. A nem hagyományos előfordulások kutatása beépült a napi olajipari gyakorlatba. Olyan korszerű technológiák kerültek itthon is bevezetésre, mint a passzív szeizmikus monitoring. Néhány „rekord” is született, mint a már említett legmélyebb magyarországi fúrás vagy az európai szinten legmélyebb környezetben végzett rétegrepszetés (209 °C, Berettyóújfalú).

Az elvégzett munkaprogramok eredményei alapján tudomásul kell vennünk, hogy a nem hagyományos előfordulások mérete, mindenkor gazdasági értéke, mutatói – jelen tudásunk és az eddig elvégzett programok alapján – nem közelítik meg a már jól ismert és termelésbe fogott észak- és dél-amerikai mezők, medencék értékét, lehetőségeit. Ez az állapot nem csupán Magyarországon, hanem a környező országokban is fennáll, Lengyelországban, a világ nagy olajcégeinek figyelmét is felkeltő, kiemelkedő potenciálúnak tartott paleozoos rendszerekben sem tudtak jelentősebb ipari eredményeket, termelést elérni.

### ... és a jövő – ... és a csúf (?)

A kutatásban részt vevő szakemberek egyetértenek abban, hogy az ismert, működő és kis kockázattal kutatható szénhidrogén-felhalmozódási trendek, egységek (playek), objektumok java része már megfúrásra került a Pannon-medence hazai területén. Jövőbeli, nagyobb találati lehetőséget ígérő kutatási célpontok csak nagyobb kockázattal lesznek kutathatók. Ugyanakkor a kezdeti magasabb kutatási kockázatok a megismerés és sikeresség növekedésével, a kutatás technológiai fejlődésével természetszerűleg csökkenni fognak. Bizonyos esetekben egy-egy új kutatási vagy technológiai lehetőség már jelenleg is létezik vagy fejlesztés alatt áll, de eredményei inkább a jövőben fognak megtérülni, míg más esetekben a valós kutatást még meg sem kezdtük, mert vagy a tudás, vagy a technológia nem áll még rendelkezésre (KISS 2016, PÁVEL et al. 2016).

A lehetőségeket alább három csoportra bontottuk, ugyanakkor megjegyzendő, hogy a kutatásban a csoportok elemei mindig kombináltan fognak megjelenni.

## Szénhidrogén-földtani lehetőségek

### Alulkutatott vagy újraértékelt területek kutatása

Mondhatnánk, hogy már nincs olyan terület hazánkban, ahol számottevő kutatási eredmény kecségetne, de gondoljunk csak a Tiszántúlon a közelmúltban felfedezett jelentős földgáz- (Dévaványa, Körösújfalú, Mezőtúr stb.) vagy a Dráva-medence délkeleti részén felfedezett kőolaj- (István-di, Jánosmajor, Pettend) vagyonokra (SZENTGYÖRGYI 2010, MAGYAR HORIZONT ENERGIA KFT. 2011). A közös pont mindkét esetben az volt, hogy olyan területeken történtek, ahol a múltbeli kutatási eredmények azt sugallták, hogy már kevés a remény ipari mennyiségű szénhidrogén felfedezésére. Bebizonyosodott, hogy a kutatási súlypont elmozdulása a klasszikus 4-irányú záródásoktól a sztatigráfiai–tektonikai csapdák irányába, ötvözve a megfelelő a szeizmikus attribútumvizsgálatokkal, volt a kulcs ezeknek a területeknek a sikeres kutatásához.

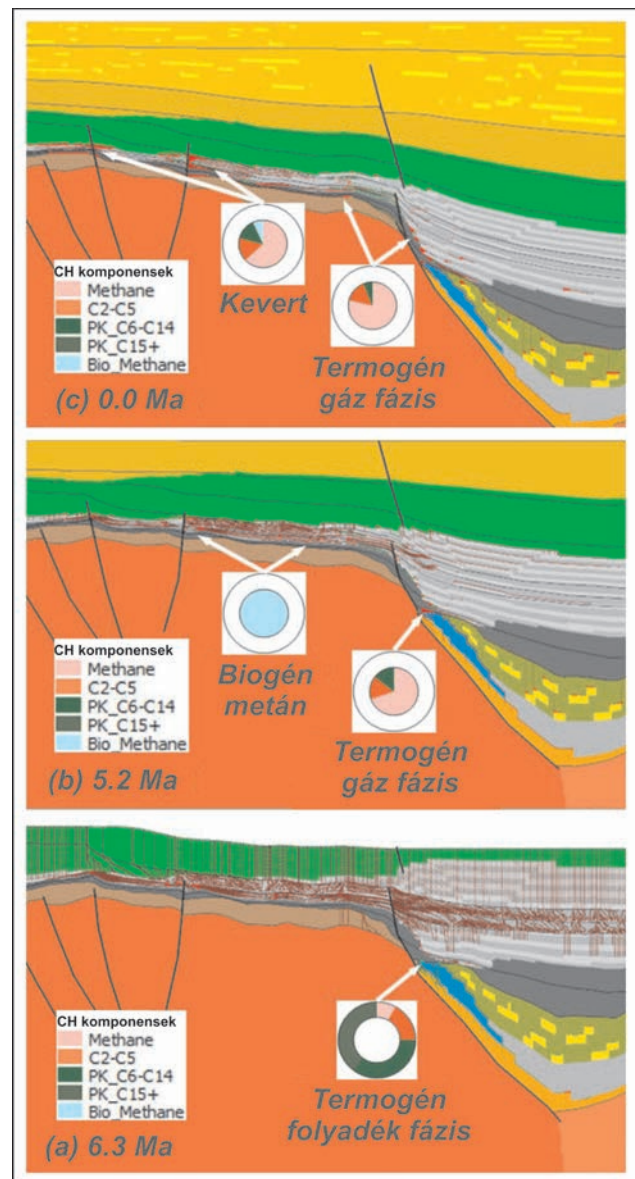
A „friss szem”, a sok esetben igen régi kútinformációk újraértékelése, a korábban megalkotott geológiai és teleptani modellek újragondolása sikeresen kombinálva a modern geofizikai eszközökkel és eljárásokkal ilyen területeken kutatási sikereket és gazdaságos termelést eredményeztek és eredményezhetnek a jövőben is. Mindaddig, amíg vannak ilyen területek vagy ismert, de alulkutatott playek, addig van remény további sikeres kutatásra is az ország területén.

Példaként hozhatjuk fel a Mecsek északi és nyugati előterét, ahol a jelentős mértékű kiemelkedés miatt jó csapadékkepződési lehetőségek lehetnek a biogén gázok számára. Jobban meg kellene értenünk az elmúlt két évtizedben csak marginálisan kutatott szinrift üledékeket, ahol a legnagyobb kihívást a megfelelő méretű és minőségű tárolóképződmények és csapdák (véltetleg részben sztratigráfiai) megtalálása jelenti. Tovább kellene kutatni az alföldi flis üledékeket (Nádudvari Komplexum), amelyek szerepéről a szénhidrogénrendszerben csak hozzávetőleges és részben már elavult módszerekkel megalkotott modellek állnak rendelkezésre. Végül fontolóra kellene venni a szubvulkáni lehetőségek intenzívebb kutatását a Nyírség és a Paleogén-medence területén, ahol máig a legnagyobb probléma a hagyományos szeizmikus módszerek vulkáni tömegek alá belátó képességének hiánya. A felvázolt kutatási lehetőségek egy részéhez már rendelkezésre áll hatékonyabb kutatási módszer vagy megfelelő, de eddig itthon még nem alkalmazott kutatási eszköz.

### A biogén szénhidrogén rendszer

A biogén gázok szerepének valódi jelentőségét csak mostanában kezdjük megérteni. Egyre több vizsgálat és modellezési eredmény mutatja azt, hogy a biogén eredetű gázok jóval nagyobb részarányban vettek részt az ismert és reménybeli gáztelepek feltöltésében, mint azt korábban gondoltuk. Sokan foglalkoztak a biogén gázok képződése és felhalmozódása törvényszerűségeivel a múltban (többek között BRUCKNER-VEIN & SAJGÓ 1990; VETŐ et al 2004; SZALAY 2014, PALCSU et al. 2014; VETŐ 2014; HAROLD et al. 2019a, b), azonban BARTHA et al. (2018) modellezési ered-

ményei az elsők, ahol a süllyedés- és éréstörténeti modellben ezeket is figyelembe vették mint a teljes szénhidrogénrendszer szerves elemét. Munkájukban rámutattak arra, hogy a biogén gáz képződése és felhalmozódása hogyan is történhetett térben és időben az általuk modellezett területen, hogyan keveredhetett a biogén és termogén eredetű gáz, és megbecsülték, hogy milyen részarányban lehet jelen a biogén eredetű metán a mai földgáz-felhalmozódásokban (23. ábra). Modellezési eredményeikkel jól kor-



23. ábra. Szimulált migrációs útvonalak (bordó vonalak, vektorok), előre jelzett felhalmozódások (piros és mélyzöld poligonok) és azok összetételei, valamint a fázisváltozások az éréstörténet során mind a biogén, mind a termogén szénhidrogén-keletkezést figyelembe véve. A kördiagramok külső határa a keletkezett folyadék, belső határa a keletkezett gáz mennyiségét mutatja minden modellezett szénhidrogén-komponensre (BARTHA et al. 2018 nyomán)

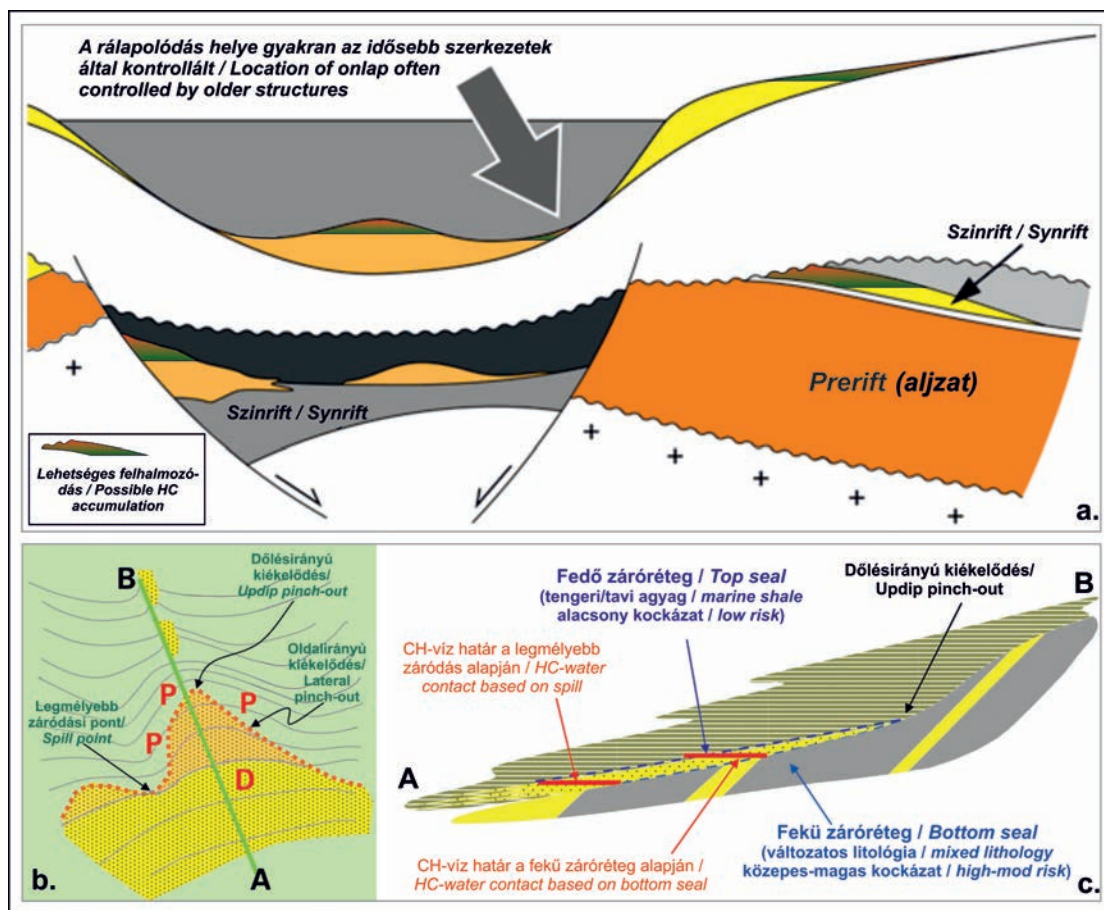
Figure 23. Simulated migration pathways (claret lines, vectors), predicted hydrocarbon accumulations (red and deep green polygons) and composition, and phase changes through geologic time considering both biogenic and thermogenic hydrocarbon generation. Note that the outer circle of the pie chart represents the liquid masses of each component, and the inner circle represents the vapour masses (after BARTHA et al. 2018)

relál a vizsgálati területük közelében levő Törökszentmiklós–1 fúrás pannóniai korú turbidit homokkő tárolójából, 1570 m mélységből mintázott földgáz metánjának  $\delta^{13}\text{C} = -53,9\%$  értéke, ami jelentős mennyiségű biogén metán jelenlétére utal (SZENTGYÖRGYI 1994). A biogén gázokról és az egykor abból keletkezett metán-hidrátokról publikált modellezési eredményeket HAROLD et al. (2019b) a kelet-magyarországi neogén medencék esetében. Munkájukban bizonyították, hogy a gyorsan süllyedő árkokban, részmedencékben a gyors szedimentáció miatt kialakulhattak olyan körülmények, melyek során – hasonlóan a mai Fekete-tengerhez – időszakosan metán-hidrát alakulhatott ki a sekélyen betemetett rétegsorban. Az ilyen módon időszakosan felhalmozódó biogén metán szerepéről a későbbi felhalmozódások kialakulásában egyelőre még nincsenek megfelelő modellek. Ezek a kutatási eredmények azonban rávilágítanak arra, hogy olyan területeken, olyan csapdahelyzetekben is van remény ipari méretű földgáz-felhalmozódások feltárására, ahol ez

ideig – pusztán a termikus szénhidrogén-keletkezés törvényszerűségei miatt – azt nem, vagy csak kis valószínűséggel tartottuk lehetségesnek.

#### A sztratigráfiai/rejtett csapdák

A változatos szerkezeti stílussal jellemezhető szénhidrogén-medencékben rendszerint a kutatás utolsó fázisában találják meg a szerkezeti elemektől független rétegtani csapdákban (hidden traps) felhalmozódott szénhidrogéntelepeket (STIRLING et al. 2017). A korábban említett gázfelfedezések egy részében is tisztán sztratigráfiai csapdákban találták meg az érdemi felhalmozódásokat. Az ipari gyakorlatba Magyarországon az áttörést a HHE Kft. által rutinszerűen bevezetett, de ma már szinte minden cég által alkalmazott eljárás, a szeizmikus adatokon végzett AVO- és attribútumvizsgálatok alapján direkt szénhidrogén-indikátorok (DHI) kimutatása és értékelése hozta meg. Ez a technika, kombinálva az üledékképződési környezetek részletes értelmezésével, elvezetett olyan, addig nem kutatott csapdák felfede-



24. ábra. (a) Lehetséges sztratigráfiai csapdahelyzetek és szénhidrogén-felhalmozódások szinrift és korai posztrift üledékekben, (b) a bal oldali térkép egy batimetrikus kiöblösödést ábrázol, amelyen belül egy rezervoár homokkőtest kiékelődik, így egy sztratigráfiai csapda-geometriát hoz létre (a csapda szegélyei jelölve vannak, P = kiékelődés, D = dőlés általi záródás). Ha a rezervoár fekéje egynél több közettípust tartalmaz, például egy szögdiszkordancia miatt, amint az a (c) metszeten látható, akkor a talpi zárás fogja az egyik legjelentősebb kockázatot hordozni (STIRLING et al. 2017 nyomán)

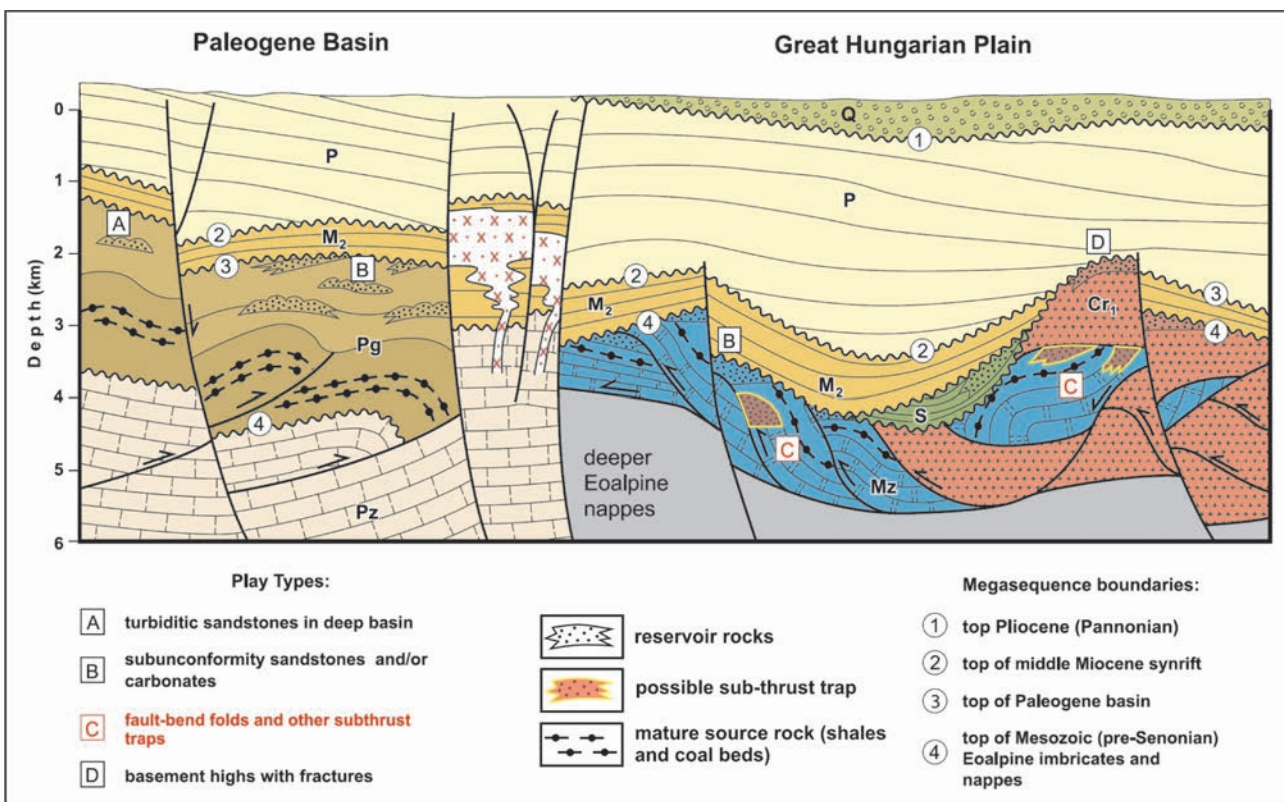
Figure 24. (a) Possible geometries of stratigraphic traps and their HC accumulations in the syn- and early postrift sediment succession. (b) the map on the left shows a bathymetric embayment within which a reservoir sand is onlapping, creating a stratigraphic trapping geometry (trap edges labelled, P = pinch-out, D = dip). If the bottom seal comprises more than one lithology -e.g. across an angular unconformity, as shown in the (c) cross-section -, the sealing units upon which the proposed hydrocarbon column/volume depends must each be risked (after STIRLING et al. 2017)

zéséhez is, mint például a pannóniai deltasíksági medrek (Battonya–Pusztaföldvár környezete), a pannóniai turbidit rendszerekben megtalált gáztelített csatorna-homokkővek (Túrkeve térsége), vagy regionális méretű lejtőcsuszamláshoz köthető „lefejezett” vagy kiékelődő homokkőtestekben talált kőolaj-felhalmozódások a Dráva-medence területén (16. ábra). Látható, hogy ez már a jelenünk és a közeljövők is egyben, hiszen elérkeztünk ezeknek a rejtett csapdáknak a kutatásához a Pannon-tó többnyire posztrift üledékeinek tekintetében. Ugyanakkor még csak tapogatózó lépések történnek az idősebb és sokkal változatosabb prepannóniai miocén, szinrift üledékek vonatkozásában (BALÁZS et al. 2017, FARKAS & LEMBERKOVICS 2017). Utóbbi bizonylat tartogat komolyabb lehetőségeket. Erre lehetséges példákat mutat be a 24. ábra.

#### Aljzati takarós szerkezetek kutatása (sub-trust play by Vienna Basin)

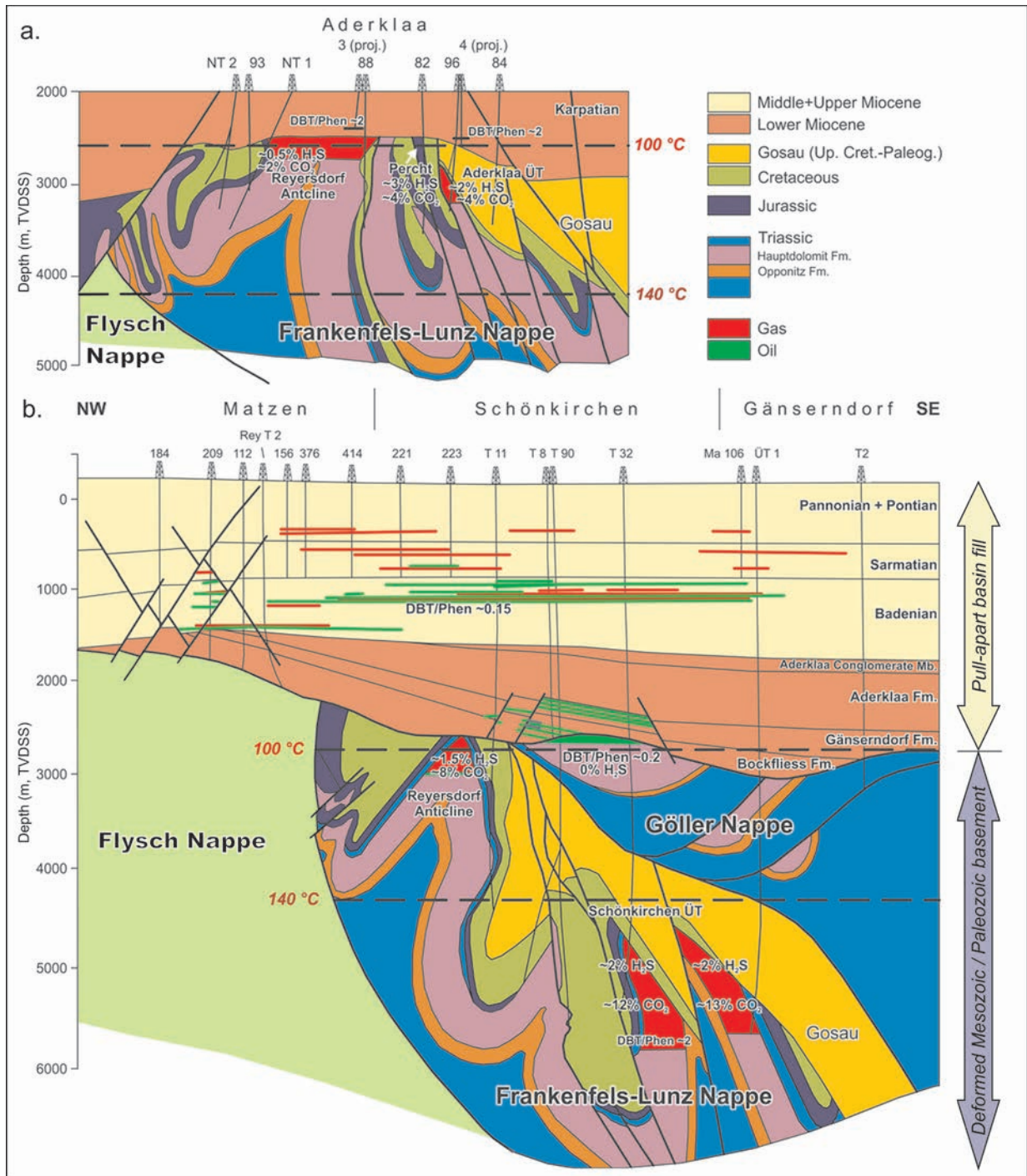
A neogén aljzat takarós felépítése nem új keletű információ. Korábban számos fúrás tárt fel felpikkelyezett rétegsorokat az Alföld aljzatában (PAP 1990), így létezésükre kézzelfogható módon is következtetni lehetett. Bár többször felmerült, a mélyebb helyzetű takarók olajpari célzatú érdemi kutatására a korábbiakban nem került sor. Az alpi takarós szerkezetek fontosságára, szénhidrogén-kutatási potenciáljára a Pannon-medence magyarországi

részén elsőként TARI & HORVÁTH (2006) hívták fel a figyelmet (25. ábra). Ugyanakkor a Bécsei-medencében jelentős mennyiségű szénhidrogént – főként földgázt – sikerült feltárni olyan csapdáknak, elsődlegesen repedezett tárolókban, amelyek nem a neogén fekvő alkotó legfelső, hanem az az alatt lévő, felülről a második alpi takaróban vagy annak tetőzónájában alakultak ki (HAMILTON et al. 2000, ARZMÜLLER et al. 2006, ROEDER 2010, RUPRECHT et al. 2018). A takarók belüli helyzetük miatt hívjuk ezeket a kutatási objektumokat, csapdákat takaró alatti vagy takarón belüli csapdáknak. A legismertebb találatok a Schönkirchen-Gänsersdorf Übertief triász dolomit tárolóiban felhalmozódott gázmezők (26. ábra). Annak ellenére, hogy a Pannon-medence periferiáján elhelyezkedő Bécsei-medence különbözik a hazai részmedencéktől különösen aljzati geológia, szénhidrogénrendszer és hőmérsékleti viszonyok tekintetében, mégis az ország egyes területein – különösen a Dunántúlon vagy az Alföld aljzatában – lehet remény a takarós szerkezetek sikeres kutatására. A bonyolult tektonikai és szénhidrogén-földtani helyzet azonban rendkívül kockázatosá teszi e csapdák kutatását. Ehhez jelentős technológiai kockázat is társulhat, hiszen ezeknek a csapdáknak a leképezése a mai, fejlett szeizmikus technológia mellett is jelentős kihívásokat tartogat, nem is beszélve a várható fúrás-műszaki nehézségekről.



25. ábra. Idealizált keresztmetszelyné a szénhidrogén-rendszer elemeivel az észak magyarországi Paleogén-medence üledékei, valamint a Nagyalföld alatti mezozoos–paleozoos rétegek kiemelésével. Pirossal kiemelve (az ábrán is) a lehetséges takaró alatti csapdalehetőségek (TARI & HORVÁTH 2006 nyomán)

Figure 25. Idealized cross-section showing the petroleum system of the Palaeogene Basin fill in North Hungary and of the Mesozoic–Palaeozoic substrata below the Great Hungarian Plain – the possible subthrust traps are highlighted with red polygons on the cartoon (after TARI & HORVÁTH 2006)



26. ábra. Sematikus keresztmetsvény az (a) Aderklaa és (b) Schönkirchen mezőkön keresztül (Bécsi-medence) az átlagos gázösszetételek, valamint a 100 és 140 °C izotermák feltüntetésével (RUPRECHT et al. 2018 nyomán)

Figure 26. Cross-section through the (a) Aderklaa and (b) Schönkirchen fields. Average gas composition and the 100 °C isotherm, as well as the 140 °C isotherm, are shown. DBT/Phen (dibenzothiophene/phenanthrene) ratios used as proxies for thermochemical sulphate reduction in oils are added (after RUPRECHT et al. 2018)

Nem hagyományos rezervoárok további kutatása

Ahogy az előző fejezet végén utaltunk rá, tudomásul kell vennünk, hogy a nem hagyományos előfordulások mérete, jelenkori gazdasági értéke, mutatói nagyságrendileg kisebbek, mint az analógiaként használt külföldi példák. Mégis, van már a Pannon-medencében működő,

alacsony átteresztőképességű homokkő, tufás homokkő tárolóból termelő nem hagyományos előfordulás (Derecskei-árok), és jelentős indikációink vannak a Békési- és a Dráva-medencében, valamint a Kiskunhalasi-árokban is. Közös bennük, hogy mind a szinrift üledékekhez köthetők. Úgy véljük, hogy nem szabad feladni a nem hagyományos tárolók kutatását a jövőben sem, de fókuszálni kell



azt a szinrift vagy akár az idősebb képződményekre is (BADICS & VETŐ 2012). Nem utolsósorban kombinálni lehet a nem hagyományos tárolók kutatását a korábban említett sztratigráfiai csapdák hagyományos tárolóinak kutatásával, különösen a szinrift üledékek esetében, amely ígéretes kutatási stratégia lehet a jövőben.

### *Technológiai lehetőségek*

#### A korábbi kutatási eredmények modern szemléletű felülvizsgálata, újraértékelése

Számos olyan szénhidrogénmezőt fedeztek fel az elmúlt egy-két évtizedben, amelyek alapja a korábban megszerzett geológiai és geofizikai információ újraértelmezése volt. Hazánkban jelentős mennyiségű, ám különböző minőségű szeizmikus mérés valósult meg, és ezek értelmezése alapján közel 9000 szénhidrogén kutató- és termelőfúrás lett lemélyítve. Ezek jó része a 90-es éveket megelőzően történt (1. és 9. ábrák), a digitális „forradalom” előtt. Óriási adatpotenciál van a kezünkben, melyet megfelelően előkészítve, digitalizálva, újra feldolgozva és a modern olajipari szoftverek segítségével integrált adatbázisba foglalva olyan geológiai–geofizikai lehetőségek, összefüggések is könnyebben észrevehetőek, amelyek korábban az analóg adatrendszeren láthatatlanok maradtak. Számos új telep, mező rész került feltárássra vagy termelésbe állításba pusztán annak eredményeként, hogy egy-egy fúrás geofizikai szelvényei, geológiai adatai újraértelmezésre kerültek (pl. a penészleki torkolati zátony homokkőtestben talált földgáztelep). Más esetekben a régi szeizmikus adatot modern eszközökkel újra feldolgozták, és más szemlélettel – pl. az említett DHI- és AVO-módszerek alkalmazásával – értelmezték. Ilyen volt többek között a MOL–HHE közös projekt Körösladány–Körösújfalú területen. A közeljövőben is ez az egyik legolcsóbb és talán leghatékonyabb módja új kutatási–termelési potenciál felfedezésének a korábban már kutatott területeken.

#### A megnövekedett számítógépes kapacitások kihasználása

Ma már és a jövőben várhatóan még inkább olyan szoftverek és számítógépes kapacitások állnak rendelkezésre, amelyekről még 20 éve is csak álmodni mertünk. Több terabájtnyi adatbázisokat kezelő, integrált olajipari szoftverek, a vizualizáció (mely a kutatási szakmában mára elsődlegessé vált) rohamléptű fejlődése és a térinformatika (GIS) rutinszerű használata mind arra mutatnak, hogy a jövőben még inkább a minden részletre kiterjedő geomodellezés és vizualizáció fogja adni a reménybeli találatokhoz szükséges geológiai–geofizikai háttérrel. Mindezek mellett a már közel két évtizede bevezetett neurális hálózat alapú tanítható/programozható algoritmusok (NNA) és a gépi tanulás (Machine Learning, ML), valamint a még úttörő szerepű mesterséges intelligencia (Artificial Intelligence, AI) alkalmazása is várhatóan egyre nagyobb teret fog nyerni az olajiparban. Ennek oka, hogy már jelenleg is akkora és olyan változatos adatrendszerrel dolgoznak az olajipari szakemberek, melyek feldolgozása,

értelmezése és rendszerszintű megértése feszegeti a humán agy feldolgozóképeségének határát. A kezdeti lépéseket már idehaza is megtettük, az NNA és ML segítségével fációs-elemzéseket, geofizikai–geológiai adatok többszörös összefüggéseinek analizálását, osztályozását és inverzióját végezzük. Jó példa e feladat komplexitásának bemutatására KLARNER et al. (2020), mely egy – a Pannon-tó progradáló self-rendszeréhez nagyon hasonló – hollandiai üledékes egységről készült inverziós esettanulmány. Az AI érdemi használata azonban egyértelműen ennek az évtizednek a lehetősége a földtani modellezés több területén (vetőértelmezés, szekvenencia-sztatigráfia stb.) is. Nagy valószínűséggel a jövőben ezek a technikák még szélesebb körben kerülnek alkalmazásra, remélhetőleg az idősebb miocén üledékek vizsgálatában is. Ugyanakkor nem szabad elfeledkezni arról, hogy a szakértő elme nélkül ezek is csak haszontalan eszközök maradnak.

#### A kutatási eszközök továbbfejlesztése – szeizmikus mérés és feldolgozás

A szeizmikus mérések technológiája, valamint a rögzített adatok feldolgozása az egyik dinamikusan fejlődő ágazata a szénhidrogén-kutatásnak. A terepi mérések során a jelregisztrálásban történnek a legnagyobb fejlesztések (TÓTH 2016). Néhány éve még a terepi szakemberek több száz kilogramnyi vezeték, kapcsolót és egyéb felszerelést voltak kénytelenek a mérés során mozgatni akár csak egy 2D szeizmikus vonal leméréséhez. A geofonok is kisebb határfokkal működtek, ezért egy regisztrálási pontra akár 6–24 geofont is kihelyeztek a megfelelő jelrögzítés érdekében. Mindezek az eszközök a mérőkabinnal voltak kábeles kapcsolatban, az adatok rögzítése, tárolása abban történt. Hol tartunk ma? A geofonok érzékenysége az alkalmazott gyorsulásmérő-szenzoroknak (27. ábra a) köszönhetően oly mértékben javult, hogy regisztrálási pontonként sokszor már csak egy (!) geofont alkalmazunk (27. ábra b). A vezeték nélküli technológia fejlődésével a jövő már az integrált rendszereké. Az ilyen integrált egységekben a geofonokhoz indukciósan tölthető akkumulátor és adatrögzítő egység tartozik, a műszerkabinnal pedig az egység rádióval vagy vezeték nélküli internetcsatornán (wifi) keresztül tartja a kapcsolatot (DEAN & SWEENEY 2019; 27. ábra c). Látható, hogy csak ezek a változások mennyivel könnyebbé és gyorsabbá teszik a terepi felvételek rögzítését, arról nem is beszélve, hogy a fent említett fejlesztések révén jelentősen javult a terepi mérések minősége, adattartalma. Ez a fejlődés azt is eredményezte, hogy sok esetben a jelgerjesztéshez sem szükséges már akkora energia, mint a korábbi technológiáknál, így a vibrátorok nem is töltenek el annyi időt egy jelgerjesztési ponton, mint korábban. Mindez időmegtakarítást, végeredményben fajlagos költségsökkenést is jelent. A szeizmikus attribútumok analízisének térnyerése miatt megnövekedett az igény a több komponensű (3C/4C) szeizmikus adatok mérése iránt, ugyanis az ilyen mérésekből kinyerhető P- és S-hullám adatok – megfelelően feldolgozva – olyan, eddig kevésbé leképezett vagy megértett képződmények kutatását is elősegíthetik, mint a repedezett tárolók vagy a sztratigráfiai csapdák (CRISTIANSEN & WAGGONER 2004).

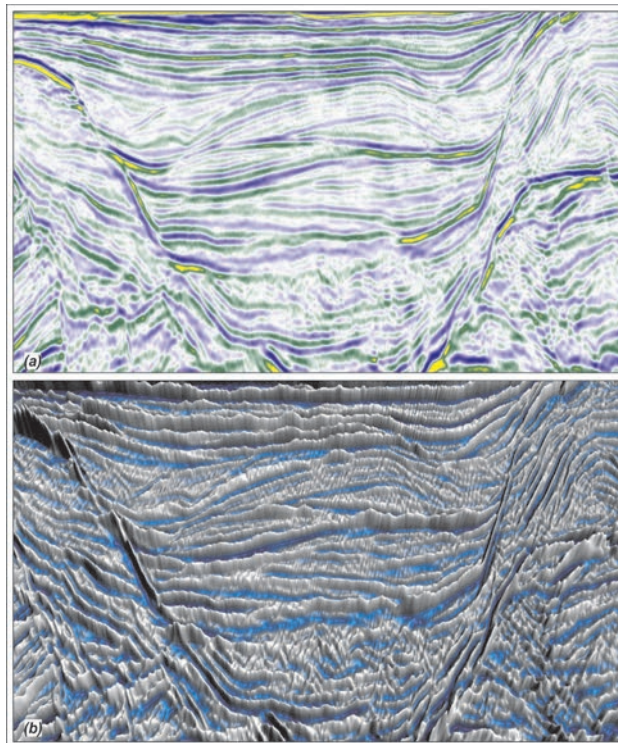


27. ábra. (a) Egy hagyományos tekercses érzékelő és egy modern gyorsulás-mérő szenzor méretbeli viszonyai (TÓTH 2016 nyomán); (b) szőlő geofon, adatgyűjtővel és akkumulátorral egy közelmúltbeli mérésen; (c) öt különböző integrált nodális rendszer (geofon+elem+adattároló) DEAN & SWEENEY (2019) nyomán

**Figure 27.** (a) Dimensional relations between a conventional coil sensor and a modern acceleration sensor (following TÓTH 2016); (b) planted single geophone with data storage box and battery in a recent measurement; (c) five different integrated nodal systems (geophone + battery + data storage „all in”) following DEAN & SWEENEY (2019)

A szeizmikus feldolgozási technológia is rengeteget fejlődött az elmúlt időszakban. A számítógépes kapacitások növekedése erre a területre is erőteljes hatással van. A rutin feldolgozások időigénye jelentősen csökkent, és – a kutatás igényeinek megfelelően – egyre inkább elmozdult a speciális feldolgozások felé. A jelenleg és várhatóan a jövőben is teret nyerő részletes szeizmikus (és geológiai) fácies-, valamint a DHI-kutatáshoz speciális feldolgozásokra van szükség. Ilyenek a szögtartomány stackek és az azokból nyerhető derivátumok (az AVO értelmezésekhez), a több komponensű szeizmikus mérésekből kinyerhető S-hullám, a megfelelően feldolgozott szeizmikus anyagból inverzióval (sebesség, sűrűség, impedancia stb.) vagy az anyag spektrális kiegyenlítésével (spectral balancing) kinyerhető fácieselemzéshez használható attribútumadatok többek között, de a lehetőségek tárháza szinte végtelen. A feldolgozás/vizualizáció tekintetében is vannak olyan úttörő jellegű fejlesztések, amelyek hasznos eszközei lehetnek a jövőbeli kutatásnak. Ilyen például az ún. „wavefield” megjelenítés (28. ábra), ahol a szeizmikus amplitúdók erőssége nemcsak színként, hanem térben is megjelenítésre kerül (2,5D), elősegítve ezzel a régi és új adatok más szemléletű vizualizációját és részletesebb értelmezését (LYNCH 2008), vagy az azimutális feldolgozási eljárások, amelyek a repedezett tárolók értelmezésében és leképezésében nyújthatnak jövőbeli perspektívát (TREADGOLD et al. 2008).

Mindezt összefoglalva láthatjuk, hogy a szeizmikus mérések és feldolgozás terén hatalmas előrelépés történt az el-



28. ábra. (a) Változó sűrűség hullámképpel kijátszott és (b) „wavefield” 2,5D vizualizáció ugyanazon a szeizmikus szelvényen (forrás: www.visualwavefiled.com)

**Figure 28.** (a) Variable density display and (b) 2.5D „wavefield” visualization of the same seismic section (source: www.visualwavefiled.com)

múlt egy-két évtizedben, és további erőteljes fejlődés várható. E fejlődés egyes lépcsőfokait már meglettük. Ilyenek például a már rutinszerűen készülő szeizmikus újrafeldolgozások, az AVO- és attribútumalapú kutatás vagy az inverziós eljárások egyre szélesebb körű alkalmazása. A következő szint alapja lehet, hogy

a) a hazai 3D szeizmikus adattömbök egy része (5–8000 km<sup>2</sup>) még a 2000-es évek előtt (1. és 11. ábrák), a mai szemmel nézve elavult mérési és jelrögzítési technikával került lemerésre;

b) a frissebb mérések egy jelentős része pedig többnyire a fiatal, posztrift üledékekre van mérés technológiailag „kihelyezve”, különösen az Alföld területén.

Mindezt összevetve azzal, hogy a szénhidrogén-kutatásban dolgozó szakemberek a Pannon-medencében az idősebb miocén és preneogén (dominánsan repedezett) képződmények kutatásában látják a lehetséges jövőt, magában hordozza, hogy a fent említett mérések még adatszinten sem tartalmazzák azokat az információkat, amelyekre szükség lenne a további sikeres kutatáshoz. Így – ahogy az megtörtént már számos, érett szénhidrogén-medence esetében – a jövő egyik lehetőségét jelentheti a mérések megismétlése a régi 3D szeizmikus mérési területeken modern szemlélettel és technológiai háttérrel. Ez extra potenciált adhat olyan területeken is, melyek a régmúltban a kutatás–termelés fókuszában voltak, de mára – a korábbi kutatási szemléletet alkalmazva – nem rendelkeznek jövőbeli perspektívával.

## Üzletpolitikai lehetőségek

### Hibrid kutatás, avagy a CH- és a geotermikus kutatás kombinálása már a kezdeti lépésektől

Az érett medencékben a kutatási objektumok méretének csökkenésével és/vagy a növekvő kockázattal párhuzamosan folyamatosan felmerül a kérdés, hogy meddig lehet még a szénhidrogén-kutatást, -termelést gazdaságosan folytatni. Ugyanakkor – különösen a kisebb méretű szereplők esetében – felmerülhet a kérdés, hogy miért nem próbáljuk (már a tervezés szintjén is) kombinálni a nagyobb kockázatú, de gyorsabb megtérülést biztosító szénhidrogén-kutatást a kisebb kockázatú, de hosszabb megtérülést – és jelenleg nagyobb politikai támogatottságot, különösen EU szinten – előrevetítő geotermikusenergia-kutatással. A két üzletág alapvetően azonos vagy nagyon hasonló kutatási eszközöket használ, tehát a kérdés jogosságához nem férhet kétség. Jelenleg a legtöbb szénhidrogén-kutató cégnek abban merül ki a geotermikus energiához fűződő kapcsolata, hogy felajánlja a meddő, de meleg víz termelésére még hasznosítható fúrásait geotermikus energiatermelés céljára, de az esetek többségében ez a kutak felszámolásával végződik, ugyanis legtöbbször a kút technikailag alkalmatlan a geotermia céljaira. Megfelelő üzletpolitikával, kezdve a kutatási területek gondos, több szempontot is figyelembe vevő megválasztásával, a mindkét üzletág szükségleteit figyelembe vevő kutatástervezésen keresztül, a több szempontnak megfelelő műszaki kivitelezésig bezárólag azonban egy több lábon álló, hibrid kutató-termelő céget lehetne kialakítani. Egy ilyen típusú sikeres kutatás-termelés magasabb határfokkal és gazdaságosabban működhetne, kihasználva két iparág előnyeit, valamint olyan területeken is fenntartható lenne, mint az érett és fokozottan költséghétkény szénhidrogén-provinciák.

Más típusú megközelítés lehetne a kimerülőben levő, jelentős vízhányaddal termelő szénhidrogénmezők termelt vízeiben rejtőző hőenergia hasznosítása (GLUYAS et al. 2018). Ilyenre több példa is van, különösen Anglia területén (HIRST et al. 2015), ahol mind a lakossági ellátásban, mind egy-egy mező termelési infrastruktúrájának elektromos energiaellátásában is megtalálták (vagy megtalálhatták volna) a helyét az ilyen módon termelt energiának, így csökkentve a működési költségeket (OPEX) és növelve a hatékonyságot, valamint a mezők élettartamát (GLUYAS 2020).

A téma megközelítéséből adódóan kevesebb szó esik azokról a gazdasági, szabályozási háttérű kérdésekről, amelyek egy ilyen érett medence esetében meghatározzák a kutatás lehetőségeit és egyben az olajipar jövőjét. Az előzőekben felsorolt jövőbeli földtani lehetőségek vagy méretükből, vagy földtani kockázatukból adódóan gazdasági értelemben véve is kockázatosak. Ahhoz, hogy egy vállalkozás e jelentős kockázatokat felvállalja, olyan támogató, rugalmas és hosszú távon kiszámítható jogi és gazdasági környezet szükséges, amelyben a befektetők jó lehetőséget látnak a jövő tekintetében is. A nem túl régen elindult koncessziós rendszerben való működés mellett a szabályozások rendsze-

res felülvizsgálata, a rugalmas együttműködés, az egyes szereplők érdekeinek folyamatos egyeztetése, esetenként az állam direkt szerepvállalása lennének a kutatásban az olajipar jövőjének ugyancsak meghatározó alapkövei.

## Konklúzió

Mit is lehetne egy ilyen léptékű áttekintés végén konklúzióként, tanulságként levonni?

A Pannon-medence, azon belül a magyarországi medencérek egy érett kutatási medence jellemvonásait viselik magukon (1–2. és 9. ábrák). A mai napig sikeres kutatási-termelési tevékenység eredményeként az idáig megismert és termelésbe fogott playekből évi 6–900 000 tonna olaj, valamint 1,9–2,1 milliárd m<sup>3</sup> földgáz kerül kitermelésre és hasznosításra. Mindez azonban jelenleg csak 15–17%-át fedezi hazánk éves szénhidrogén-szükségletének.

Tudomásul kell vennünk, hogy az aranykor már a múlt. Látható, hogy a szénhidrogén-kutatás az ismert playekben a jelenlegi kis/közepes kockázatok mellett egyre kisebb és kisebb reménybeli és felfedezett méretekkel jellemezhető már napjainkban is, és csak elvétve remélhetünk hazai viszonylatban jelentős méretű találatokat. Új koncepciókra, playekre van szükség ahhoz, hogy a kutatás és vele a termelés közep-távon meg tudjon újulni és fennmaradjon.

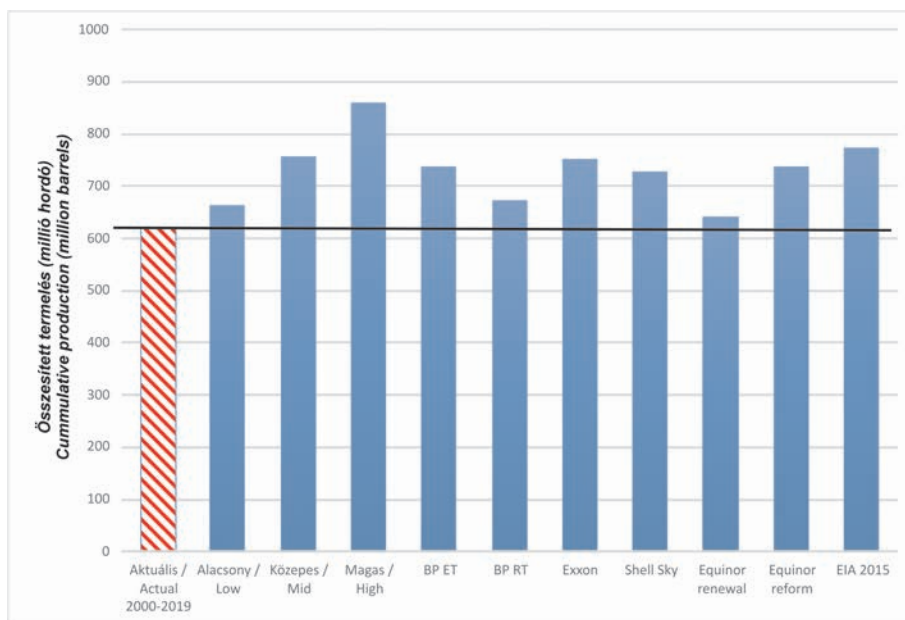
A jövőről szóló fejezetben igyekeztünk összefoglalni, bemutatni azokat a szénhidrogén-földtani, technológiai és üzletpolitikai lehetőségeket, amelyeket a jövő reménybeli mezőinek sikeres kutatása és termelésbe állítása érdekében alkalmazhatunk. A lehetőségek adottak, a koncessziós területek egy része az aktuális piaci szereplők által kutatásban van és számos terület lett előkészítve arra, hogy a közeljövőben pályáztatásra kerüljön (12. ábra).

A jövő azonban nehéz kérdés más szempontból is, amit nem tárgyaltunk ebben az alapvetően geoszakmai munkában, mégis néhány szót kell róla ejtenünk.

Jelentős kihívásokkal küszködik nemcsak a hazai, de a globális olajipar is. A globalizáció miatt „rövidre zárt” ellátási láncok, az olajárban jelen lévő nagymértékű gazdasági és politikai függőség, az Európai Unió által választott energiapolitika és a megújuló energia üdvözlendő előretörése hosszú távon lesz komoly kihívás az olajipar számára. Egy világméretű (de elég csak egy nagy fogyasztó vagy termelő régiót érintő) járványhelyzet miatt (is) indukált gazdasági válság pedig rövid és középtávon olyan méretű kihívást jelent, amellyel egyre nehezebb a kutatásban részt vevő cégeknek és szakembereknek napi szinten megbirkózniuk.

Ugyanakkor figyelemre méltó az a középtávú előrejelzés, amelyet a világ vezető olajipari cégei, valamint a Nemzetközi Energiaügyi Hivatal (EIA) jelentései alapján foglalt össze FOM (2020). A 29. ábrán látható, hogy még a zöld energia legnagyobb mértékű előretörésével számoló modell (Equinor renewal) sem számol globális szinten csökkenéssel az olaj iránti kereslet tekintetében az elkövetkező 20 évben. Sőt inkább növekedéssel számolnak.

A földgáz esetében az előrejelzések (BP és Exxon Energy



29. ábra. Kumulált olajigény-előrejelzés 2020 és 2040 között a legfőbb publikus előrejelzések és Fom saját modellezési eredményei alapján. A világ kumulált olajtermelése 615 milliárd hordó volt 2000 és 2020 között (FOM 2020 nyomán)

Figure 29. Forecast of cumulative oil demand 2020-2040 based on main public forecasts and Fom modelling. Cumulative production from 2000-2020 was 615 billion barrels (after FOM 2020)

Outlooks, IEA) még jelentősebb növekedést prognosztizálnak. Ennek oka, hogy a földgáz növekvő felhasználása a jelenlegi szénalapú villamosenergia-termelés helyett bizonyítottan drasztikusan csökkenti a szén-dioxid kibocsátást, gondoljunk a palagáz-forradalom hatására az Amerikai Egyesült Államokban (TINKER 2017, 2019). A megújuló energiaforrásokra való áttéréshez a földgáz mint „transition fuel” kiemelt szerepet fog kapni több évtizeden keresztül (LEONARD 2020).

Látható, hogy a szénhidrogénekre még jó ideig szükség lesz a világ egyre növekvő energiaigényének ellátása érdekében, és ez jelenti a reményt az érett medencék kutatás-termelését és a hazai olajipar jövőjét tekintve is.

### Köszönetnyilvánítás

A cikk szerzői szeretnék köszönetüket kifejezni Dave WESTLUNDnak és VÁRKONYI Attilának, az OGD Central Kft.-nek, valamint Scott SCHULZnak és a Magyar Hori-

zont Energia Kft.-nek, akik adatokhoz való hozzáféréssel, valamint szakmai véleményezéssel segítettek e munka létrejöttét. Köszönet illeti TARI Gábort, Pete NOLANT és FÜLÖP Katalint, akik szakmai véleményükkel, tapasztalataikkal segítettek. Külön köszönet az IHS Markit részére, amely cég biztosította a fúrési és mezőszintű adatbázist analíziseinkhez. A cikkben felhasznált és bemutatott IHS Markittól származó adatok a cég tulajdonában maradtak (Copyright © IHS Markit, 2020. All rights reserved). Köszönet dr. CSEH Valentinnak, GÁL Krisztinának és SIMON Istvánnak, a Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum munkatársainak a könyvtár és az irattár használatában nyújtott segítségükért és a konzultáció lehetőségéért. Köszönet HORVÁTH Janinának és HORVÁTH Tibornak a kitérésekről készült felvételekért, valamint SOMLAI Ottónak az iszapszelvényezés rész elkészüléséhez nyújtott segítségéért. Végezetül köszönettel tartozunk a munka bírálóinak, KIRÁLY Andrásnak, NÉMETH Andrásnak és TARI Gábornak, akik alapos lektorálásukkal emelték e munka színvonalát.

### Irodalom – References

- ALLIQUANDER Ö. 1931: Magyarország bányá- és kohóipara az 1912–1926. évben II. rész (Táblázatok). – Magyar Királyi Állami Nyomda, Budapest, 557 p., [https://mek.oszk.hu/09000/09058/pdf/mo\\_bk\\_2.pdf](https://mek.oszk.hu/09000/09058/pdf/mo_bk_2.pdf)
- ALLIQUANDER Ö. 1968: Adalékok a magyarországi mélyfúrás történetéhez, különös tekintettel a szénhidrogén kutató- és feltáró fúrásokra. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **101/1**, 82–92, [https://en.mandadb.hu/common/file-servlet/document/458952/default/doc\\_url/bklkoolajfoldg\\_1968\\_01szpdf.pdf](https://en.mandadb.hu/common/file-servlet/document/458952/default/doc_url/bklkoolajfoldg_1968_01szpdf.pdf)

- ALLIQUANDER Ö. 1986: A magyarországi szénhidrogénkutatás vázlatos története (1935-ig). – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **119/10**, 289–294, [https://en.mandadb.hu/common/file-servlet/document/436258/default/doc\\_url/bklkoolajesfoldgaz\\_1986\\_10.pdf](https://en.mandadb.hu/common/file-servlet/document/436258/default/doc_url/bklkoolajesfoldgaz_1986_10.pdf)
- ARZMÜLLER, G., BUCHTA, S., RALBOVSKY, E. & WESSELY, G. 2006: The Vienna basin. In: GOLONKA, J. & PICHA, F. J. (eds): *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. – AAPG Memoir* **84**, 191–204. <https://doi.org/10.1306/985608M843068>.
- BADICS, B. & VETŐ, I. 2012: Source rocks and petroleum systems in the Hungarian part of the Pannonian Basin: The potential for shale gas and shale oil plays. – *Marine and Petroleum Geology* **31**, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.08.015>.
- BADICS, B., UHRIN, A., VETŐ, I., BARTHA, A. & SAJGÓ, Cs. 2011: Basin-centered gas in the Makó Trough, Hungary: A 3D basin and petroleum system modelling investigation. – *Petroleum Geoscience* **17**, 405–416. <http://dx.doi.org/10.1144/1354-079310-063>.
- BAKER, R. A., GEHMAN, H. M., JAMES, W. R. & WHITE, D. A. 1986: Geologic Field Number and Size Assessment of Oil and Gas Plays. – In: RICE, D. D. (ed.): *Oil and gas assessment – Methods and applications. – AAPG Studies in Geology* **21**, 25–31, <https://doi.org/10.1306/St21460C2>
- BALÁZS, A., MATENCO, L., MAGYAR, I., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 2016: The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. – *Tectonics* **35/6**, 1526–1559. <http://dx.doi.org/10.1002/2015TC004109>.
- BALÁZS, A., GRANJEON, D., MATENCO, L., SZTANÓ, O. & CLOETINGH, S. 2017: Tectonic and Climatic Controls on Asymmetric Half-Graben Sedimentation: Inferences From 3-D Numerical Modeling. – *Tectonics* **36/10**, 2123–2141. <https://doi.org/10.1002/2017TC004647>.
- BARÁTH I. & KISS B. 2004: A mélyfúrési geofizika története Magyarországon (avagy „a világszínvonalról a világszínvonalig”). – *Magyar Geofizika* **45**, jubileumi különszám, 49–58.
- BARÁTH I., JESCH A., KISS B. & LAKATOS S. 1994: A mélyfúrési geofizikai kutatás története Magyarországon. – *Magyar Geofizika* **35/2**, 95–102, [http://epa.oszk.hu/03400/03436/00140/pdf/EPA03436\\_magyar\\_geofizika\\_1994\\_02\\_095-102.pdf](http://epa.oszk.hu/03400/03436/00140/pdf/EPA03436_magyar_geofizika_1994_02_095-102.pdf)
- BARTHA, A., BALÁZS, A. & SZALAY, Á. 2018: On the tectono-stratigraphic evolution and hydrocarbon systems of extensional back-arc basins: inferences from 2D basin modelling from the Pannonian basin. – *Acta Geodaetica et Geophysica* **53**, 369–394. <https://doi.org/10.1007/s40328-018-0225-0>.
- BODOKY T. & POLCZ I. (szerk.) 2016: A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet története, II. rész: 1965–2012. – *MFGI*, 1–726, <http://real.mtak.hu/id/eprint/46825>.
- BÖCKH H. 1917: Brachiantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. – *Bányászati és Kohászati Lapok* **50(1)/9**, 265–273, [http://bkl.uni-miskolc.hu/1917\\_1/index.php](http://bkl.uni-miskolc.hu/1917_1/index.php)
- BÖCKH J. 1908: A petróleumra való kutatások állása a magyar Szent Korona országában. – *A Magyar Kir. Földtani Intézet Évkönyve* **16/6**, 370–479, [http://epa.oszk.hu/03200/03274/00238/pdf/EPA03274\\_mafi\\_evkonyv\\_1908\\_06.pdf](http://epa.oszk.hu/03200/03274/00238/pdf/EPA03274_mafi_evkonyv_1908_06.pdf)
- BÖHM F. 1939: Ásványolaj- és földgázbányászat Magyarországon 1935-ig. – *Bányászati és Kohászati Lapok* **72/9**, 153–189, <http://bkl.uni-miskolc.hu/1939/index.php>
- BRUKNER-WEIN, A. & SAJGÓ, Cs. 1990: Diagenesis in Neogene coal sequence. A study on soluble organic matter. – *Organic Geochemistry* **16**, 219–227. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(90\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0146-6380(90)90042-X)
- CRISTIANSEN, P. & WAGGONER, J. 2004: Using multicomponent seismic data to better understand reservoir characteristics. – *5<sup>th</sup> Conference and Exposition on Petroleum Geophysics*, Hyderabad-2004, India, 628–636.
- CSATH B. 1975: 10 éve tört fel az olaj a tápéi termálfűrészből. – *Kőolaj és Földgáz*, **8(108)/7**, 207–214, [https://mandadb.hu/common/file-servlet/document/444766/default/doc\\_url/koolaj\\_es\\_foldgaz\\_1975\\_07.pdf](https://mandadb.hu/common/file-servlet/document/444766/default/doc_url/koolaj_es_foldgaz_1975_07.pdf)
- DALLOS F-NÉ 2001: A magyar szénhidrogénipar gazdálkodó és irányító szervezetei a MOL Rt megalakulása előtti időszakban: 1933. VI. 8 és 1991. X. 1 között. – *Kőolaj és Földgáz* **34(134)/8**, 101–114, [https://www.ombkenet.hu/bkl/koolaj/2001/bklkoolaj2001\\_08\\_01.pdf](https://www.ombkenet.hu/bkl/koolaj/2001/bklkoolaj2001_08_01.pdf)
- DANK, V. 1985: Hydrocarbon exploration in Hungary. In: HÁLA, J. (ed.): *Neogene Mineral Resources in the Carpathian Basin. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest*, 107–213.
- DEAN, T. & SWEENEY, D. 2019: Recent advances in nodal land seismic acquisition systems. – *ASEG Extended abstracts*, **2019/1**, 1–4. <https://doi.org/10.1080/22020586.2019.12073232>.
- FARKAS, K. & LEMBERKOVICS, V. 2017: New concepts in HC exploration of Miocene sequence in the Pannonian Basin. – *Nosztalgeo Konferencia*, Algyő – előadás.
- FOUM, A. 2020: Petroleum Perspectives, Past Present and Future. – *AAPG Europe Region Webinars*, [https://www.aapg.org/videos/webinar/er/articleid/57419/alan-foum-petroleum-perspectives-past-present-and-future?utm\\_medium=website&utm\\_source=Right3Pane](https://www.aapg.org/videos/webinar/er/articleid/57419/alan-foum-petroleum-perspectives-past-present-and-future?utm_medium=website&utm_source=Right3Pane)
- GAJDOS I., PAP S., SOMFAI A. & VÖLGYI L. 1983: Az Alföld pannóniai (s. l.) képződményei. – *MÁFI alkalmi kiadvány*, 1–70, ISBN 963 10 5785 2, <https://mek.oszk.hu/20100/20142/>
- GLUYAS, J. G. 2020: Some like it hot, for others warm is sufficient: exploiting waste heat. – *AAPG webinar* 29<sup>th</sup> June 2020
- GLUYAS, J. G., AULD, A., ADAMS, C., HIRST, C. M., HOGG, S. & CRAIG, J. 2018: Geothermal Potential of the Global Oil Industry. – *Intechopen*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.81062>.
- GOMBÁR L. & KÉSMÁRKY I. 2002: A szeizmikus terepi mérési technológia története (1972–). – In: KÉSMÁRKY, I. (szerk.): *A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban. – GES Kft.*, 187–200.
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD Gy. 2010: *Magyarország prekainozoos földtani térképe, 1:500 000 [Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000]*. – A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa.
- HAMILTON, W., WAGNER, L. & WESSELY, G. 2000: Oil and gas in Austria: Aspects of geology in Austria. – *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* **92**, 235–262.
- HAROLD, Zs., BARTHA, A., CSIZMEG, J. & SZTANÓ, O. 2019a: Petroleum systems analysis based on simulation results of a 2D numerical

- model, eastern Pannonian Basin. – *AAPG Europe Region, Paratethys Petroleum Systems Regional Conference*, 26–27 March, 2019, Vienna, Austria – *Abstract Book*, 71.
- HAROLD, ZS., BALÁZS, A., BARTHA, A. & SZALAY, Á. 2019b: The potential for gas hydrate formation in the Pannonian basin. – *AAPG GTW: Exploration and Production in the Black Sea, Caucasus, and Caspian Region Conference*, 18–19 September 2019, Batumi, Georgia – *Abstract book*.
- HÁMOR T. 2020: A földtani szakigazgatás története. – *Földtani Közlöny* **150/1**, 195–208, <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2020.150.1.195>.
- HIRST, C. M., GLUYAS, J. G. & MATHIAS, S. A. 2015: The late field life of the East Midlands Petroleum Province; a new geothermal prospect? – *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* **48**, 104–114. <https://doi.org/10.1144/qjegh2014-072>.
- HOLDITCH, S. A. 2013. Unconventional oil and gas resource development – Let’s do it right. – *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources* **1–2**, 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.juogr.2013.05.001>.
- IZSÓ I. 2007: A magyar bányajog történetének főbb állomásai. – *Bányászattörténeti Közlemények* III. (III/1), 3–16, <http://epa.oszk.hu/01400/01466/00003/pdf/01.pdf>
- IZSÓ I. 2010a: A magyar bányajog fejlődésének átmeneti korszaka (1945–1958) Okmánytári kiegészítéssel I. kötet. – Miskolc, 152 p., <https://mek.oszk.hu/09000/09009/pdf/banyajog1.pdf>
- IZSÓ I. 2010b: A magyar bányajog fejlődésének átmeneti korszaka (1945–1958) Okmánytári kiegészítéssel II. kötet. – Miskolc, 163 p.
- IZSÓ I. 2019: A bányahatóság története Magyarországon. – Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 129 p., <https://mek.oszk.hu/19700/19786/19786.pdf>
- JUHÁSZ Gy. 1992: A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. – *Földtani Közlöny* **122/2–4**, 133–165, <http://epa.oszk.hu/html/vgi/kardexlap.phtml?id=1635>
- JUHÁSZ, Gy. & MAGYAR, I. 1992: A pannóniai (s.l.) litofáciesek és molluszka-biofáciesek jellemzése és korrelációja az Alföldön. – *Földtani Közlöny* **122/2–4**, 167–194, <http://epa.oszk.hu/html/vgi/kardexlap.phtml?id=1635>
- JURATOVICS A. 1995: A Szeged–Algyői szénhidrogénmezők kutatási-művelési története 1965–1990. – Szeged, Móra Ferenc Múzeum, 495 p.
- KÉSMÁRKY I. (szerk.) 2002: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban a felszíni geofizika szerepe és jelentősége a hazai szénhidrogénkutatásban. – Budapest: *Geofizikai Szolgáltató Kft.*, 260 p.
- KISS K. 2016: Jelen, jövő – magyarországi szénhidrogén kutatás. – *Nosztalgeo Konferencia*, Szeged – előadás.
- KISS K. & MAGYAR I. 2012. Derecskei süllyedék Miocén képződményeinek új kutatási eredményei. – *Nosztalgeo Konferencia*, Szeged – előadás.
- KLARNER, S., KIRNOS, D., IVANOVA, N., GRITSENKO, A. & MALINOVSKAYA, O. 2020: Comparing Bayesian and neural network supported lithotype prediction from seismic data. – *First Break* **38**, 75–80. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2020053>
- KOVÁCS G., VÉRTESY L., OROSZ L., BAUER M., GULYÁS Á., KISS J., LENDVAY P., MAIGUT V. & KOVÁCS Zs. 2018: Az MBFSZ adatszolgáltatásai a szénhidrogén-kutatás támogatására. – In: KOVÁCS Zs. (szerk.): *Szénhidrogének Magyarországon*. – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest, 279–286.
- KOVÁCS Zs., CSERKÉSZ-NAGY Á., JENCSEL H. & THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2018: Nem hagyományos szénhidrogén-előfordulások. – In: KOVÁCS Zs. (szerk.), *Szénhidrogének Magyarországon*. – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest, 205–222.
- KÖRÖSSY L. 1987: A kislalföldi kőolaj- és földgázkutatás földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **22**, 99–174, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00022/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_1987\\_22\\_099-174.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00022/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_1987_22_099-174.pdf)
- KÖRÖSSY L. 1988: A Zala-medencei kőolaj- és földgázkutatás földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **23**, 3–162.
- KÖRÖSSY L. 1989: A Dráva-medencei kőolaj- és földgázkutatás földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **24**, 3–121, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00024/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_1989\\_24\\_003-121.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00024/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_1989_24_003-121.pdf)
- KÖRÖSSY L. 1990: A Délkelet-Dunántúl kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **25**, 3–53, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00025/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_1990\\_25\\_003-053.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00025/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_1990_25_003-053.pdf)
- KÖRÖSSY L. 1993: A Duna–Tisza köze kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **26**, 3–161, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00026/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_1993\\_26\\_003-161.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00026/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_1993_26_003-161.pdf)
- KÖRÖSSY L. (sajtó alá rendezte: KÁZMÉR M.) 2004: Az észak-magyarországi paleogén medence kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **28**, 9–120, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00028/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_2004\\_28\\_009-120.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00028/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_2004_28_009-120.pdf)
- KÖRÖSSY L. (sajtó alá rendezte: KÁZMÉR M.) 2005a: Az Alföld délkeleti része kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei I. – *Általános Földtani Szemle*, **29**, 41–132, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00029/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_29\\_041-132.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00029/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_29_041-132.pdf)
- KÖRÖSSY L. (sajtó alá rendezte: KÁZMÉR M.) 2005b: Az Alföld délkeleti része kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei II. – *Általános Földtani Szemle* **30**, 7–92, [https://epa.oszk.hu/02700/02751/00030/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_30\\_007-092.pdf](https://epa.oszk.hu/02700/02751/00030/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_30_007-092.pdf)
- KÖRÖSSY L. (sajtó alá rendezte: KÁZMÉR M.) 2014: Az Észak-Tiszántúl kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **31**, 51–178, [http://epa.niif.hu/02700/02751/00031/pdf/EPA02751\\_alt\\_foldt\\_szemle\\_31\\_2014\\_051-178.pdf](http://epa.niif.hu/02700/02751/00031/pdf/EPA02751_alt_foldt_szemle_31_2014_051-178.pdf)
- LAW, B. E. 2002: Basin-Centered Gas Systems. – *AAPG Bulletin* **86/11**, 1891–1919. <https://doi.org/10.1306/61EEDDB4-173E-11D7-8645000102C1865D>.
- LEMBERKOVICS, V. 2017: An alternative technique to determine source layers without direct geochemical measurements – case study from the Pannonian Basin, southern Hungary. – *Nosztalgeo Konferencia* – Szeged – előadás.
- LEMBERKOVICS, V., PÁVEL, E., BADICS, B., LÓRINCZ, K., RODIONOV, A. & GALIMULLIN, I. 2018: Petroleum system of Miocene troughs of the Pannonian Basin in southern Hungary, based on 3D basin modelling. – *Interpretation* **6/1**, SB37–SB50. <http://dx.doi.org/10.1190/INT-2017-0075.1>.
- LEONARD, R. 2020: Climate Change and COVID–19: Their Effect on Energy’s Future. – AAPG Let’s Connect Series, Webinar – June 2020, <https://na.eventscloud.com/website/13538/webinar-recordings/>

- LYNCH, S. 2008: *More than meets the eye – A study in seismic visualization*. – PhD Thesis, University of Calgary, Department of Geoscience, Calgary, 419 p.
- MAGYAR HORIZONT ENERGIA KFT. 2011: Kutatási zárójelentés a Barcs–Lenti–Letenye–Csurgó szénhidrogén kutatási blokkokra, I. fejezet, 1–57, T.22490.
- MAGYARORSZÁG ÁSVÁNYI NYERSANYAGVAGYONA, [https://mbfsz.gov.hu/asvanyvagyon\\_nyilvantartas](https://mbfsz.gov.hu/asvanyvagyon_nyilvantartas)
- MOLNÁR K., KLOSKA K., NAGY Z., RUMPLER J. & TÓTH J. 1995: A szénhidrogén-kutatásban alkalmazott geofizikai módszerek fejlődésének főbb állomásai a kezdetektől napjainkig. – *Magyar Geofizika* **36/1**, 77–79, <http://epa.oszk.hu/03400/03436/00143/pdf/>
- OSTRANDER, W. J. 1984: Plane wave reflection coefficients for gas sands at non-normal angles of incidence. – *Geophysics* **49**, 1637–1648, <https://doi.org/10.1190/1.1441571>
- PALCSÚ, L., VETŐ, I., FUTÓ, I., VODILA, G., PAPP, L. & MAJOR, Z. 2014: In-reservoir mixing of mantle-derived CO<sub>2</sub> and metasedimentary CH<sub>4</sub>–N<sub>2</sub> fluids – Noble gas and stable isotope study of two multistacked fields (Pannonian Basin System, W-Hungary). – *Marine and Petroleum Geology* **54**, 216–227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.03.013>
- PALOTAI, M. 2013: Oligocene–Miocene Tectonic Evolution of the Central Part of the Mid-Hungarian Shear Zone. – PhD Dissertation, ELTE TTK, Budapest, 147 p.
- PAP S. 1990: Felpikkelyezett rétegsorok a Közép-Tiszántúlon. – *A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa*, Budapest, 1–36, <http://mek.oszk.hu/20100/20177/20177.pdf>
- PAPP S. 1963: A magyarországi kőolaj és földgázkutatás az 1780-tól 1945-ig terjedő időszakban I. rész. – *Magyar Tudományos Akadémia Közleményei* **32/1–4**, 449–465, [http://real-j.mtak.hu/1761/1/MUSZTUD\\_32.pdf](http://real-j.mtak.hu/1761/1/MUSZTUD_32.pdf)
- PAPP S. 1964: A magyarországi kőolaj és földgázkutatás az 1780-tól 1945-ig terjedő időszakban II. rész. – *Magyar Tudományos Akadémia Közleményei* **33/1–4**, 421–437, [http://real-j.mtak.hu/1762/1/MUSZTUD\\_33.pdf](http://real-j.mtak.hu/1762/1/MUSZTUD_33.pdf)
- PAPP S. 1965: A magyarországi földolaj- és földgázkutatás története az utolsó 60 év alatt. – *Kézirat*, MOGIM, 157 p., 32 tábla
- PÁVEL, E. & LEMBERKOVICS, V. 2015: New results of geological and geochemical investigations and basin modelling of the Neogene sequence, Southern part of the Great Hungarian Plain, Hungary. – *RCMNS 6<sup>th</sup> workshop on the Neogene of central and south-eastern Europe, Orfű, Hungary, Abstract book*, 68–69.
- PÁVEL E., FARKAS K. & LEMBERKOVICS V. 2016: A miocén rétegek kutatása az Alföldön – kihívások és lehetőségek a hazai szénhidrogén-kutatás jövőjében. – *Nosztalgio Konferencia*, Szeged – előadás.
- PETTKŐ J. 1856: Jelentés Magyarországnak March folyóval határos részéről. – *A Magyarhoni Földtani Társulat munkálatai* **1**, 53–68, <https://epa.oszk.hu/02000/02013/00001/pdf/>
- PHILLIPS, R. L., RÉVÉSZ, I. & BÉRCZI, I. 1994: Lower Pannonian Deltaic–Lacustrine Processes and Sedimentation, Békés Basin. – In: TELEKI, P. G., MATTICK, R. E. & KÓKAI, J. (eds): *Basin Analysis in the Exploration. A case study from the Békés basin, Hungary*. Kluwer Academic Publishers, 67–82, <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0954-3>
- POSEWITZ T. 1906: Petroleum és aszfalt Magyarországon. – *A Magyar Kir. Földtani Intézet Évkönyve* **15/4**, 210–444, <https://epa.oszk.hu/03200/03274/00205/pdf/>
- RÉZ G. 1908: Adatok a Magyarországon eddig végzett petroleum kutatások eredményeiről. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat*, **41(1)/3**, 145–150, [http://bkl.uni-miskolc.hu/1908\\_1/index.php](http://bkl.uni-miskolc.hu/1908_1/index.php)
- ROEDER, D. 2010: Fold-thrust belts at Peak Oil. – *Geological Society, London, Special Publications* **348**, 7–31. <https://doi.org/10.1144/SP348.2>
- RÓZSAY J. 1864: A Pekleniczai hegyi kátrány Muraközben. – *A magyar orvosok és természetvizsgálók 1863. September 19–26. Pesten tartott IX. nagygyűlésének történeti vázlatja és munkálatai* – Pest, nyomtatott Emich Gusztáv M. Akad. Nyomdásznál, 326–337, <https://core.ac.uk/reader/35136585>
- RUPRECHT, B. J., SACHSENHOFER, R. F., ZACH, C., BECHTEL A., GRATZER, R. & KUCHER F. 2018: Oil and gas in the Vienna Basin: hydrocarbon generation and alteration in a classical hydrocarbon province. – *Petroleum Geoscience* **25**, 3–29. <https://doi.org/10.1144/petgeo2017-056>
- SCHMIDT E. R. 1939: A Kincstár csonkamagyarországi szénhidrogénkutató mélyfúrásai. – *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **34/1**, 3–204, [http://epa.oszk.hu/03200/03274/00043/pdf/EPA03274\\_mafi\\_evkonyv\\_1939\\_01\\_003-204.pdf](http://epa.oszk.hu/03200/03274/00043/pdf/EPA03274_mafi_evkonyv_1939_01_003-204.pdf)
- SEBE, K., SELMECZI, I., SZUROMI-KORECZ, A. HABLY, L., KOVÁCS, Á. & BENKÓ, ZS. 2019: Miocene syn-rift lacustrine sediments in the Mecsek Mts. (SW Hungary). – *Swiss Journal of Geosciences* **112**, 83–100. <https://doi.org/10.1007/s00015-018-0336-1>
- SHERIFF, R. E. 2002: Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics (4 ed.). – *Society of Exploration Geophysicists* **13**, 429 p., <http://dx.doi.org/10.1190/1.9781560802969>
- STIRLING, E. J., FUGELLI, E. M. & THOMPSON, M. 2017: The edges of the wedges: a systematic approach to trap definition for stratigraphic, combination and sub-unconformity traps. – In: BOWMAN, M. & LEVELL, B. (eds): *Petroleum Geology of NW Europe: 50 Years of Learning*. – Proceedings of the 8<sup>th</sup> Petroleum Geology Conference. <https://doi.org/10.1144/PGC8.19>
- SZALAY Á. 2014: Biogén szénhidrogén rendszerek Magyarországon. – *Geokémiai előadóiülés*, MTA kutatóház, Budapest – előadás.
- SZENTGYÖRGYI K-NÉ 1994: Zárójelentés a 14. Kengyel és környéke területen végzett szénhidrogénkutatási tevékenységről. – MOL US Üzletsoport, Hazai Kutatási Üzletág, 1–142, T.20127
- SZENTGYÖRGYI K-NÉ 2010: Zárójelentés a 100. Darvas–Komádi kutatási területen végzett szénhidrogénkutatási tevékenységről. – MOL Kutatás–Termelés Divízió, Eurázsiai Kutatás–Termelés, Eurázsiai Kutatási Projektek, I–V, 1–231, T.22416
- TARI, G. & HORVÁTH, F. 2006: Alpine Evolution and Hydrocarbon Geology of the Pannonian Basin: An Overview. – In: GOLONKA, J. & PICHA, F. J. (eds): *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*. – *AAPG Memoir* **84**, 605–618. <https://doi.org/10.1306/985733M843141>
- TARI, G., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1992: Styles of extension in the Pannonian Basin. – *Tectonophysics* **208**, 203–219, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90345-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90345-7)

- 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. – *Geological Society Special Publication* **156**, 215–250, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.12>.
- TINKER, S. 2017: Energy Security and Energy Poverty. – Adapted from oral presentation given at Forum, “The Next 100 Years of Global Energy Use: Resources, Impacts and Economics,” at AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, April 4, 2017, [http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2017/70268tinker/ndx\\_tinker.pdf.html](http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2017/70268tinker/ndx_tinker.pdf.html)
- TINKER, S. 2019: Sustainable Energy Transitions. – Oklahoma City University, oral presentation. <https://www.youtube.com/watch?v=BSAwvHFYn-w>
- TÓTH T. 2016: Szeizmikus mérések anno, ma és holnap – egy százéves geofizikai kutatási módszer jövője. – *Nosztalgeo Konferencia*, Szeged. előadás.
- TÓTH, T. & TARI, G. 2014: Structural Inversions in Western Hungary and Eastern Slovenia: Their Impact on Hydrocarbon Trapping and Reservoir Quality. – *AAPG International Conference & Exhibition*, Istanbul, Turkey, September 14–17, 2014 – Oral presentation.
- TREADGOLD, G., SICKING, C., SUBLETTE, V. & HOOVER, G. 2008: Azimuthal Processing for Fracture Prediction and Image Improvement. – *Recorder* **33/ 5**, 40–45. <https://csegrecorder.com/articles/view/azimuthal-processing-for-fracture-prediction-and-image-improvement>
- VÁGÓ J. 2006: A műszerkabinok szerepe és működése a szénhidrogén-kutatásban. – *A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat* **69**, 31–38. [https://matarka.hu/koz/ISSN\\_1417-5398/69k\\_2006/ISSN\\_1417-5398\\_69k\\_2006\\_031-038.pdf](https://matarka.hu/koz/ISSN_1417-5398/69k_2006/ISSN_1417-5398_69k_2006_031-038.pdf)
- VAKARCS, G. 1997: Sequence stratigraphy of the Cenozoic Pannonian basin, Hungary. – PhD Dissertation, RICE University, Houston, Texas, 386 p.
- VETŐ I 2014: Biogén metán a Pannon medence üledékeiben és felszínalatti vizeiben. – In: PÁL-MOLNÁR E. (ed.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások*. – GeoLitera, Szeged, 99–108.
- VETŐ, I., FUTÓ, I., HORVÁTH, I. & SZÁNTÓ, Zs. 2004: Late and deep fermentative methanogenesis as reflected in the H-C-O-S isotopy of the methane-water system in deep aquifers of the Pannonian Basin (SE Hungary). – *Organic Geochemistry* **35/6**, 713–723. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2004.02.004>
- VÖLGYI L., SUBA S., BALLA K. & CSALAGOVITS I. 1970: *Magyarország szénhidrogén telepei: Algyő*. – Budapest, OKGT kiadvány, 423 p. és 64 melléklet
- WAHLNER A. 1897–1920: Magyarország bányá- és kohóipara 1896–1916 évben. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **30/13–19**, – **53/1/különszám**, <http://bkl.uni-miskolc.hu/1897/index.php> ... [http://bkl.uni-miskolc.hu/1920\\_1/index.php](http://bkl.uni-miskolc.hu/1920_1/index.php)
- ZELENKA T. 1993: A magyarországi állami földtani-geofizikai kutatások története (1868–1949). – *Földtani Közlöny* **123/1**, 99–105, [https://epa.oszk.hu/01600/01635/00271/pdf/EPA01635\\_foldtani\\_kozlony\\_1993\\_123\\_1\\_099-105.pdf](https://epa.oszk.hu/01600/01635/00271/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1993_123_1_099-105.pdf)

Kézirat beérkezett: 2020. 09. 07.