

szornak Németországban. 1932-ben a neutron tömegének pontos megmérése fűződik a nevéhez. Az általa meghatározott neutrontömeg kicsit nagyobb a proton tömegénél – ez a különbség sokáig vita tárgya volt abban az időben. Ő mutatta ki először az elektron–pozitron párképződést.

1938-ban Németország bekebelezte Ausztriát, és Meitnernek, zsidó származása miatt, menekülnie kellett. Végül Svédországba ment. Élete további részét Svédországban töltötte, ahol az atomerőművekkel kapcsolatos program egyik fontos személyiségként tevékenykedett. Emlékére a 109-es rendszámú elem a meitnerium (Mt) nevet kapta.



Cikksorozatunkban néhány, a radioaktivitás korai történetéhez tartozó felfedezést, kutatót mutattunk be, különös tekintettel a nőkre. Célunk az emlékezés, a múlt azon értékeinek bemutatása volt, amelyre büszkék lehetünk.

De ezen kívül célunk volt az is, hogy olyan gondolatmeneteket ismertessünk meg, amelyekről úgy gon-

doljunk, hogy az oktatás számára hasznosak lehetnek – nem csak a közoktatásban, hanem a felsőoktatásban is. A történet során alkalmunk adódott, hogy ne csak a végeredményt mutassuk be, hanem az ahhoz vezető utat, megvitassuk a felmerült kérdéseket, elemezzük a nemegyszer rendkívül ötletes kísérleti elrendezéseket is. Az első részben bemutatott számításaink, becsléseink érdekessé tehetik a feladatmegoldó órákat, gyakorlatokat, hiszen konkrét kutatások során felmerült kvantitatív problémákat lehet megoldani.

Irodalom

1. Goldsmith, M.: *Frédéric Joliot-Curie*. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1979.
2. Hráskó P.: Epizódok a maghasadás felfedezésének történetéből. *Természet Világa* különszám (2006) 59–66.
3. Noddack, I.: On Element 93. *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 47 (September, 1934) 653.
4. Inzelt G.: *Vegykönyhájában szintén megteszi*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006.
5. Meitner, L., Frisch, O.R.: Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction. *Nature* 143 (Febr. 11, 1939) 239–240.

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

SZÉNHYDROGÉNEK SZEREPE A JÖVŐ ENERGIAELLÁTÁSÁBAN

Az utóbbi időben hazánk és a világ energiaellátása az érdeklődés homlokterébe került. Napjainkban a világ energiafelhasználásának közel 60 százalékát a kőolaj és a földgáz szolgáltatja. Ugyanakkor az optimista előrejelzéseket megcáfolva a kőolaj ára az utóbbi hónapokban eddig sohasem látott magasságokba szökkent. Meggyőződésem, hogy a jövő kilátásait nem lehet a geológiai adottságok figyelembe vétele nélkül helyesen megítélni. Ezt kívánja elősegíteni ez a rövid ismertetés.

A szénhidrogén-előfordulásokat konvencionális és nem-konvencionális csoportra osztják. Ezek évmilliókkal ezelőtt élt tengeri élőlények szerves anyagának 80–110 fokos hőmérsékleten és nagy nyomáson történt vegyi átalakulása révén jöttek létre. A keletkezett kőolaj és földgáz elkezdett a kisebb nyomás irányába vándorolni, amíg egy záró kőzet meg nem akadályozta a vándorlást. Csapdákknak nevezik ezeket a földtani szerkezeteket. Ezek többnyire boltozatok, vagy törésvonalak menti kiemelkedések (1. ábra). A csapdák felső részén helyezkedik el a földgáz, alatta a kőolaj és legalul víz. A mai termelés zöme konvencionális előfordulásokból történik.

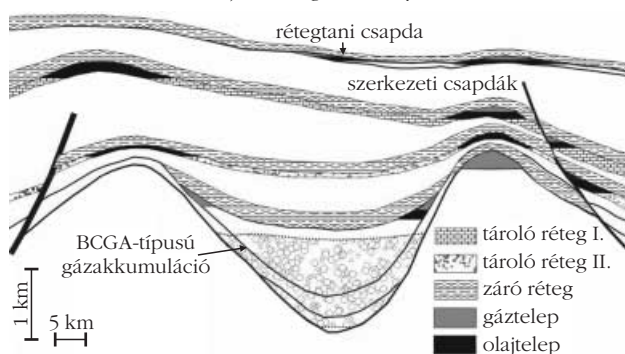
A nem-konvencionális kőolaj-előfordulásokhoz tartoznak az *olajhomokok*, amelyek erősen viszkózus bitument tartalmaznak. Legnagyobb ismert előfordulásuk Kanadában, Alberta tartományban van, ahol e homokok nagy területen a felszínre is kibukkannak. Itt nagy külfejtésekben, hagyományos bányászati

módszerekkel termelhetők ki. A költségeket nagyon megnöveli, hogy a bitument csak forró gőzzel és kémiai oldószerekkel lehet a homoktól elválasztani.

A közepesen viszkózus *nehéz olajok* átmenetet képeznek a hagyományos kőolaj és a bitumen között. Legnagyobb ismert előfordulásuk Venezuelában, az Orinoco torkolatvidékén van. Gazdaságos kitermelésük ma még nem megoldott.

Az *olajpalák* olyan márgás kőzetek, melyek pórusait kerogén tölti ki. Erősen viszkózus, éretlen kőolaj ez. Fő ismert előfordulásai az Egyesült Államokban, Utah, Colorado és Wyoming államokban vannak. Hatalmas készletekről van szó, de gazdaságos kitermelésüket és feldolgozásukat eddig nem sikerült megoldani.

1. ábra. Kőolaj- és földgázlelőhelyek kialakulása



A nem-konvencionális földgáz-előfordulások legfontosabbjai az úgynevezett *BCGA-típusú előfordulások* (Basin Centered Gas Accumulations) több ezer méter mélységben a szokásosnál nagyobb nyomáson és hőmérsékleten halmozódtak fel. A nagy nyomás miatt a kőzet pórusai nagyrészt elzáródtak és ez nagy akadályt jelent a földgáz kitermelésének. Hazánkban a Makói-árokban található egy ilyen előfordulás. Legfontosabb ismert telepei az Egyesült Államokban, a Sziklás-hegység keleti előterében találhatók.

A legkevésbé megismert nem-konvencionális gáz-előfordulások a *metán-klatrátok*. A metán-hidrát kristályok belsejében helyezkedik el. Hideg égővek óceáni üledékeiben és az örök fagy talajaiban találhatók. Hatalmas készleteket képeznek, de kinyerésük és feldolgozásuk még a jövő feladata.

A kutatás és a kitermelés módszerei

A kutatások első lépése a földtani térképezés annak megállapítására, hogy vannak-e az adott területen szénhidrogén-előfordulások jelenlétére utaló földtani szerkezetek. *Eötvös Loránd* nevéhez fűződik a torziós inga megalkotása, amely a geofizikai szénhidrogén-kutatás alapjait vetette meg. Napjainkra a geofizika a szénhidrogén-kutatás egyik legfontosabb eszközévé vált. Legsikeresebb módszere a szeizmika, amely robbantással, vagy vibrációval állít elő mesterséges földrengéshullámokat. Ezek számítógépes kiértékelése lehetővé teszi a tároló szerkezetek (rezervoárok) térbeli helyzetének meghatározását.

A felszíni kutatásokat követik a *fúrások*. Az első sikeres olajkutató fúrást 1848-ban Baku térségében *F.N. Szemjonov* orosz mérnök mélyítette. A fúrási technológia azóta óriásit fejlődött. A függőleges fúrások mellett ferde, sőt vízszintesre elterelt fúrások is megvalósultak, amelyek a kutatás mellett a kitermelést is szolgálják. A fúrások 6–8000 méterre is lehatolnak. Hazánkban az eddigi legmélyebb fúrás a Makó 7 számú 6085 méter mélységgel (2006).

A fúrások kezdetben csak a szárazföldön folytak, majd kiterjedtek a „kontinentális talapzatok” sekély, 50–500 méter mély részeire, például az Északi-tengerben. A fúrás ilyenkor mesterséges szigeteken történik. Az utóbbi években a fúrások 1000–3000 méter mély tengerrészekre is kiterjedtek, például a Mexikói-öbölben és Brazília délkeleti partjai mentén. Ezek jóval költségesebbek a szárazföldi fúrásoknál.

A készletszámítások bizonytalansága

Hazánkban a közvélemény, a gazdaság és a politika szereplőinek nagy része a Föld szénhidrogénkészleteit szinte kimeríthetetlennek tartja, de legalábbis a 21. század végéig elégségesnek véli. Pedig a szénhidrogének nem megújuló erőforrások, készleteik végesek. A nyilvántartott készletek ismeretességük szerint két fő csoportra oszthatók: a reménybeli és az ismert készle-

tekre. A *reménybeli készletek* csak földtani és geofizikai ismeretekre alapozott szakértői vélemények. Lehet, hogy az adott helyen a mélyben a feltételezettnél sokkal több szénhidrogén van, de lehet, hogy egyáltalában nincsen. Az *ismert készletek* fúrások eredményeire alapulnak, de a földtani szerkezetek változékonysága miatt ezeknek is nagy a bizonytalansága. A bizonytalanság mértéke szerint *lehetséges, valószínű* és *bizonyított* készleteket különböztetnek meg. Az utóbbiak bizonytalansága a legkisebb, de még mindig 10–30%. Földtani vagyonnak nevezik a föld mélyében ténylegesen jelen levő szénhidrogén-mennyiséget. A *kitermelhető vagyon* ennek a gazdaságosan kitermelhető része. A technika jelenlegi szintjén a tényleges (földtani) kőolajkészlet 30–40%-a, a földgáz 75–90%-a termelhető ki. Világszerte nagy erőfeszítéseket tesznek a kitermelhető arány megnövelésére.

A *kitermelhető vagyont* szénhidrogénmezőnként és országonként összesítik. Egyes állami intézmények, például az USA Földtani Szolgálat (USGS), vagy multinacionális cégek évente globális összesítéseket készítenek. Ezek eredményei sajnos lényegesen eltérnek egymástól. Ennek egyik oka a készletszámítások bizonytalansága, a másik a manipulálások lehetősége. Sajnos ma a készletek körülbelül 90%-a nem auditált, azaz független külső szakértők által nem ellenőrzött, tehát „bemondásos” alapon jelenik meg. Tapasztalataim szerint főleg a Közel-Kelet országaiban gyakori a készletek manipulálása. Az is megtévesztő, hogy ezek a globális táblázatok országonként egyetlen számot közölnek, mintha ezek teljes pontosságot fejeznének ki.

A mai készletek és termelés

Tapasztalataim szerint a British Petroleum (BP) éves készlet- és termelés-kimutatásai a legmegbízhatóbbak, ezért a következőkben legutolsó, 2007 júniusában megjelent kimutatásait ismertetem, amelyek a 2006. évre vonatkoznak. E szerint ez év végén a világ „bizonyított” kőolajkészlete 164,5 gigatonna, illetve 1198,0 gigahordó volt. (Egy hordó, angolul barrel, 157,35 liternek felel meg.) Persze ehhez $\pm 30\%$ bizonytalanságot kell figyelembe venni. E készletek mintegy 77%-a állami kézben van, a nagy multinacionális cégek részesedése fokozatosan körülbelül 10%-ra csökkent.

A világ legnagyobb, „bizonyított” kőolajkészletekkel rendelkező országai: 1. Szaúd-Arábia 36,3 Mrd tonnával, 2. Irán, 18,9 Mrd t; 3. Irak, 15,5 Mrd t; 4. Kuvait, 14,0 Mrd t; 5. Egyesült Arab Emírségek, 13,0 Mrd t. A Közel-Kelet országaiban van az ismert kőolajkészletek 65%-a.

Hazánk az Országos Bányászati és Földtani Hivatal (OBFH) kimutatása szerint 0,016 Mrd tonna bizonyított kőolajkészlettel rendelkezik. A legnagyobb olajmezők Algyő, Nagylengyel, Lovászi és Budafa.

A világ legnagyobb kőolaj termelő országai 2006-ban: 1. Szaúd-Arábia, 13,1%; 2. Oroszország, 12,3%; 3. Egyesült Államok, 8,0%; 4. Irán, 5,4%; 5. Mexikó, 4,7%; 6. Kína, 4,6%.

A világ kőolajtermelése 2005-től 2006-ra csak 0,4%-kal nőtt, tehát stagnál.

A világ „bizonyított” földgázkészlete a kimutatás szerint 181,5 tera m³. A legnagyobb készletekkel rendelkező országok: 1. Oroszország, 47,6 Tm³; 2. Irán, 28,1 Tm³; 3. Katar, 25,4 Tm³; 4. Szaúd-Arábia, 7,1 Tm³; 5. Egyesült Arab Emírségek, 6,1 Tm³; 6. Egyesült Államok, 5,9 Tm³.

Hazánk az OBFH kimutatása szerint 0,06 Tm³ ismert földgázkészlettel rendelkezik.

A legnagyobb földgáztermelő országok 2006-ban: 1. Oroszország, 40,4%; 2. Egyesült Államok, 18,5%; 3. Kanada, 6,5%; 4. Irán, 3,7%; 5. Norvégia, 3,0%; 6. Algéria, 2,9%.

A világ földgáztermelése 2005-ről 2006-ra a kőolajénál jóval dinamikusabban, 3,0%-kal nőtt.

A jövő kilátásai

A jövő kilátásaira nézve a következő négy kérdést tartom a legfontosabbnak:

1. Mennyi szénhidrogén felkutatására van még remény és hol?

2. Mekkora lesznek e kutatások költségei és kockázatai?

3. Milyen ütemben fognak nőni a világgazdaság szénhidrogénigényei?

4. Miként alakulhat a szénhidrogén-termelés az elkövetkező évtizedekben?

1. kérdéshez: A mérsékelt égövi, szárazföldi területeken érdemi készletnövekedést nem várok. Ezt bizonyítja az ismert készletek mintegy 65%-át adó *óriás mezők* megtalálási arányának rohamos csökkenése az utóbbi három évtizedben. A szub-poláris és poláris térségekben (Alaska, Észak-Kanada, Észak-Szibéria) nem kizárt jelentős készletek jelenléte. Súlyos akadály a zord éghajlat és az infrastruktúra hiánya. A sekély tengerek térségein az utóbbi évtizedekben intenzív kutatás folyt. A kimutatott mezőkön azonban a termelés csökken. Itt sem számítok érdemi készletnövekedésre. A mélyvízi óceánpart-menti övezetekben (Mexikói-öböl, Brazília, Angola és Nigéria parti övezetei) az utóbbi években új mezőket találtak 1000–3000 méter tengerszélvonal alatt. Itt további készletnövekedés remélhető. A nem-konvencionális kőolajkészletek közül az olajhomokok főleg Kanadában jelentősek. Ugyancsak jelentősek a BCGA-típusú földgáz-előfordulások.

2. kérdéshez: A szubpoláris és a poláris, valamint a mélyvízi térségekben a kutatások költsége messze meghaladja a hagyományos szárazföldi kutatások költségeit. A tengeri szénhidrogén-kutatást a tengeri viharok súlyosan veszélyeztetik. Jó példa erre a 2005-ös hurrikán, amely a Mexikói-öbölben számos kutatófűrészt elpusztított, milliárd dolláros kárt okozva. További súlyos költségnövelő tényező a kutatási infrastruktúra nem várt gyors elhasználódása (korrózió stb.). Növekvő kockázati tényező a Közel-Keleten a fundamentalista terrorizmus, amelynek további ala-

kulása ma kiszámíthatatlan. A nem-konvencionális kőolajhomokok és a BCGA-típusú földgáz-előfordulások kitermelése és feldolgozása is jóval költségesebb a hagyományosaknál, sőt számos esetben maga a gazdaságos kitermelhetőség is kérdéses. Mindezeket figyelembe véve az utóbbi hónapok rohamos kőolajár-növekedését sem lehet kizárólag a termelők profitérvelésével magyarázni, hanem a termelés és feldolgozás növekvő költségei is jelentős szerepet játszanak ebben. Tévesek szerintem egyes közgazdászok várakozásai, amelyek jelentős és tartós árcsökkenéssel számolnak.

3. kérdéshez: A világgazdaság szénhidrogénigényeinek növekedését közelítően lehet előre jelezni. A British Petroleum 2007-ben készült értékelése szerint 1996 és 2006 között a globális növekedés évi 3–4% volt. A 2050-ig terjedő időszakra óvatos becsléssel 2–3% éves növekedést tételeznek fel. A világgazdaság kőolajfogyasztása 1996 és 2006 között évente 1,5%-kal, a földgázfogyasztás pedig 2,5%-kal nőtt. Az előrejelzés szerint a kereslet 2050-ig évente kőolajra 1–2%-kal, a földgázra 2–3%-kal fog nőni.

4. kérdéshez: A közvélekedés nagy tévedése az, hogy a jövő évtizedek szénhidrogén-termelését a kereslet fogja meghatározni. Szerintem a földtani, a technikai feltételek, valamint a kitermelés költségei együttesen fogják megszabni az elérhető maximális termelést. A termelés minden mezőn szükségszerűen a lassú növekedés után egy csúcspontot ér el és onnan fokozatosan csökken a mező lezárásáig. Ma globálisan körülbelül négyszer annyi olajat termelünk, mint amennyit új kutatással megtalálunk. Azt, hogy a globális termelési csúcspont mikor következik be a szakértők és intézmények eltérően ítélik meg. Becsléseik 2007 és 2037 között mozognak. (Szerintem a korábbi évhez állunk közelebb.) Földgázra a termelési csúcspont 2035 és 2045 között tételezik fel.

Következtetések

1. Nem tudjuk egyértelműen megmondani, hogy melyik előrejelzésnek van igaza, mert a készletek körülbelül 90%-a nem auditált. Nem látok reményt az auditálás érdemi kiterjesztésére a közeli jövőben.

2. Kicsiny a valószínűsége a hazai konvencionális készletek érdemi megnövelésének. A földtani, geofizikai és fúrásos kutatást mégis folytatni kell, mert kis mezők is lehetnek gazdaságosak.

3. A makói árok BCGA-típusú földgáz-előfordulásának továbbkutatása indokolt a gazdaságos kitermelhetőség megállapítása céljából.

4. Hazánkban fokozott erőfeszítéseket kellene tenni a megújuló alternatív energiaforrások alkalmazására.

5. *A paksi atomerőmű élettartam-hosszabbítását és egy harmadik generációs új blokk építését tartom energiaellátásunk leg gazdaságosabb forrásának.*

Bárdossy György
az MTA rendes tagja