

A geofizikai kutatások szerepe és jelentősége a nemzetgazdaságban¹

MESKÓ ATTILA²

A Földön élünk és a földből élünk. Építőanyagaink, az ércekből nyert fémek a Földből származnak. Ez elmondható az energiaforrások döntő többségéről is: a mélyebb rétegekből termeljük a fosszilis energiaforrásokat, a szén, olajat és gázt, de még az alternatív energiaforrások jelentős része is a Földhöz kötődik. A geotermikus energia a radioaktív bomlásnak és a litoszféra folyamatainak köszönhető. A vízerőművek vagy szélenergiaforrások a Nap, de működésükben szerepe van a hidroszférának és az atmoszférának is.

Evidenciának tűnik, hogy minden lényeges dolgot tudnunk kellene a Földről. A földtudomány művelése, ezen belül a geofizika sokoldalú eszköztárának használata a Föld és a Föld körüli térség megismerésének egyik alapja. A geofizika fontos részterülete a nyersanyagok és energiaforrások kutatása. Nemzetgazdasági jelentősége nyilvánvaló: az iparnak, mezőgazdaságnak, közlekedésnek nyersanyagokra és energiaforrásokra van szüksége. De a geofizika más alkalmazásokban is szerepet kap: az építőipar igényli a felszínközeli rétegsor ismeretét, törekszünk a földrendésbiztos építkezésre, biztonságos környezetben kell elhelyeznünk a veszélyes hulladékokat.

A geofizikai mérések közvetve vagy közvetlenül a földben lévő anyagok fizikai tulajdonságai közötti különbségeket tudják kimutatni. A legfontosabb módszerek részleteiről — a potenciáalterek méréséről és felhasználásáról, a szeizmikáról, a mélyfúrásokban végezhető geofizikai mérésekről ugyanúgy, mint fontos nyersanyagok (szénhidrogének) kutatásáról vagy az általános geofizikáról — külön cikkek számolnak be. Céлом emiatt az lehet, hogy átfogó képet adjak arról: mit tudtak, illetve hogyan vélekedtek a geofizikáról, és milyen mértékben hasznosították lehetőségeit az elmúlt évszázadban.

A XIX. század végén az ipari fejlődés egyre sürgetőbben igényelte az új energiaforrásokat. A lelőhelyek szakszerű kutatása állami monopóliummá vált. A Kincstár által végzett kutatások az egyetlen jelentős eredményt Egbell környékén hozták. A földtani térképezés alapján mélyített fúrások 70–160 métertől földgázt, 160–250 méter között kőolajat fedeztek fel. A világszerte ugrásszerűen növekedő számú meddő fúrások gyökeresen új megközelítést igényeltek. Ezt az első geofizikai módszer: EÖTVÖS Loránd torziós ingája szolgáltatta, amely lehetővé tette olyan földtani szerkezetek (felboltozódások) kimutatását, amelyben a szénhidrogén (olaj vagy gáz) halmozódhat fel.

Az 1930-as években PAPP Simon főgeológusként kezdett hozzá a magyar olajipar kialakításához. Igen sikeresen, mert munkássága — nem kis részben az új geofizikai módszerek meghonosítása révén — 1948-ig összesen több mint 5 millió tonna olaj és közelítőleg 7 milliárd köbméter gáz termelését tette lehetővé. A második korszak negyven esztendejét (1952–1992) a szeizmikus módszer és az azt megalapozó potenciáltér-mérések tudományos igényű alkalmazása jellemezte (a feltárt kitermelhető készlet 93,7 millió tonna kőolaj, 249,1 milliárd köbméter éghető földgáz).

A geofizika fejlődését világszerte az olajipar igényelte és támogatta. Joggal lehetünk büszkéek arra, hogy a modern gyakorlati geofizika EÖTVÖS munkásságával kezdődött. De sikeres volt a geofizika a nem energiaforrásos ásványi nyersanyagok lelőhelyeinek felderítésében, a vízkutatásban és a környezetvédelmi feladatok megoldásában is.

A. MESKÓ: The role and significance of geophysical exploration in the economy

We live on the Earth and we live from the resources of the Earth. Constructional materials, metal ores are mined from the Earth. Fossil fuels: coal, petroleum and natural gas, as well as uranium, used in nuclear power plants, are also obtained from deeper strata of the Earth, but other, partly renewable, energy sources such as geothermal energy or water and wind power generation are also connected to the Earth. The final source of geothermal energy is radioactive fission and though the final source of water and wind power is the Sun, but the interplay of the hydrosphere and atmosphere is inevitable.

It is obvious, that we should acquire as much knowledge about the Earth as possible. The earth sciences accumulated knowledge since several centuries and geophysics, a relatively young member of the family of earth sciences, contributed tremendously in the last century, using a large variety of instruments and methods to investigate both the Earth as well as its environment. One of the most important applications of geophysics is the exploration for resources. Its economical significance is evident: industry, agriculture, transportation etc. all require material from the Earth. But geophysics has other applications as well. The building industry requires the geometry and physical properties of the uppermost layers for being able to construct earthquake resistant structures, the safe disposal of hazardous wastes is based upon a thorough knowledge of the geological condition of the sites.

Geophysical measurements detect, directly or indirectly, the differences of some physical properties of layers or materials within the layers. Details of the most widely used methods: measurements of potential fields, seismic exploration, borehole geophysics, together with their applications as well as the scope and results of general geophysics are dealt with in separate papers. The purpose of the present contribution is to give an overall picture on

¹ Beérkezett: 2003. december 16-án

² Magyar Tudományos Akadémia,
H-1051 Budapest, Roosevelt tér 9.,
e-mail: mesko@office.mta.hu

the development of geophysics in the last century, on the changing awareness of its potential and the opportunities it provides.

The rapid growth of industrial activity required an ever-increasing quantity of energy sources already at the end of the 19th century. After the turning of the century exploration for oil and gas became a state monopoly in Hungary. The only significant discovery of the exploration led by the Treasury was the Egbell anticline structure, where borings, allocated by geological mapping, found gas between depths 70 and 160 meters and petroleum between 160 and 250 meters. The number of dry holes increased rapidly worldwide, evidencing the necessity of a basically new approach for finding anticlines. In the first years of the 20th century Baron Lorand EÖTVÖS improved the precision of the torsion balance to such a degree that it could solve the problem: it could detect anticlines.

Dr Simon PAPP, chief geologist in the 1930's and early 1940's introduced the (then) latest geophysical methods and enhanced the performance of both the exploration and the production. His outstanding leadership can be summarized in two figures: up to 1948 more than 5 million tons of petroleum and over 7 billion cubic meters of gas were produced in Hungary. In the second, 40-year long period of oil exploration in Hungary (1952–1992), dominated by the application of potential field and seismic methods 93,7 tons of petroleum and about 250 billion cubic meter gas were found.

The oil industry demand and support were the dominating forces in the development of exploration geophysics. We may rightly be proud of the fact that modern exploration geophysics started with the EÖTVÖS torsion balance at the beginning of the last century. But geophysics was successful in finding other resources: coal, bauxite, minerals, water etc. and it plays an increasing role in the solution of environmental problems.

Bevezetés

A Földön élünk és földből élünk. Építőanyagaink, az ércből nyert fémek, a víz innen származnak. A Földből termeljük a fosszilis energiahordozókat, a szenet, az olajat és a gázt. Az alternatív energiaforrások jelentős része is a Földhöz kötődik. A geotermikus energia a radioaktív bomlásnak és a litoszféra folyamatainak köszönhető. A vízi erőművek vagy szélerőművek végső energiaforrása a Nap, de működésükben szerepe van a hidroszférának és atmoszférának is. Bolygónkat a Föld geológiai és biológiai rendszerei: a légkör, a hidroszféra, a talaj és a bioszféra tartják életben.

A földtudomány célja megérteni a földi rendszerek múlt-, jelen- és jövőbeli viselkedését. A diszciplína legutóbb megadott definíciója [PANTÓ et al. 2002] szerint tudományágunk „a Föld szerkezetének, tulajdonságainak, folyamatainak, történetének és fejlődésének vizsgálatával foglalkozik”, ... „azzal a bolygóval, amelyen élünk, azokkal a kontinensekkel és óceáni medencékkel, amelyekből ásványi nyersanyagainkat és készleteinket nyerjük, a közetekkel, amelyekből a talaj képződik, amelyen terményeinket állítjuk elő, és azokkal a kőzetformációkkal, ahová hulladékaikat helyezük el.” A földtani környezetünkre vonatkozó ismeretek fontosak, alapvetők, a helyes döntések meghozatalához elengedhetetlenek.

A földtudomány hagyományos részterületei a bányászat, a geodézia, a geológia, a geofizika, a geokémia, a hidrológia, a meteorológia, a paleontológia stb. A XX. század első felében e részterületeket csoportokba osztották, a csoportok tagjai közötti érintkezés nagyon kevés volt. Az elmúlt évtizedekben azonban néhány nagy felfedezés elősegítette a speciális területek közötti együttműködést, illetve elmosta az azok közötti határokat. Jelenlegi fejlődésére három fő kutatási irány van nagy hatással: a lemeztektonika, a térinformatika és az ember és a környezet kölcsönhatásait elemző környezettudomány. A geofizikának komoly szerepe van az első területen, de nem képzelhető el geofizikai kutatások nélkül a környezettudomány sem [ÁDÁM, MESKÓ 2001].

Ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy az energia- és anyagszükséglet biztosítása a XXI. század egyik legnagyobb feladata. Természetesen az energia és a nyersanyagok felhasználásának hatékonyságát is javítani kell, de mindenekelőtt meg kell találni a kitermelésre érdemes készleteket.

A geofizika szerepe a nyersanyagkutatásban

A XX. századot túlzás nélkül nevezhetjük a szénhidrogén századának. A geofizika fejlődését világszerte az olajipar igényelte és támogatta. Joggal lehetünk büszkéek arra, hogy a modern gyakorlati geofizika EÖTVÖS munkásságával kezdődött. De sikeres volt a geofizika a nem energiahordozó ásványi nyersanyagok lelőhelyeinek felderítésében, a vízkutatásban és a környezetvédelmi feladatok megoldásában is.

A Geofizikai Szolgáltató Vállalat kiadásában megjelent kiadvány [KÉSMÁRKY 2002] összegzi és értékeli a felszíni geofizika szerepét és jelentőségét a hazai szénhidrogénkutatásban. A kötet a MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalat alapításának ötvenedik évfordulója tiszteletére jelent meg. Számos szerzője volt, szerkesztőbizottság gondozta és KÉSMÁRKY István szerkesztette. A kötet — természetesen — legnagyobb terjedelemben a szeizmikus kutatással foglalkozik, de képet ad a mágneses és gravitációs mérésekről, valamint a geoelektromos kutatási tevékenységről is.

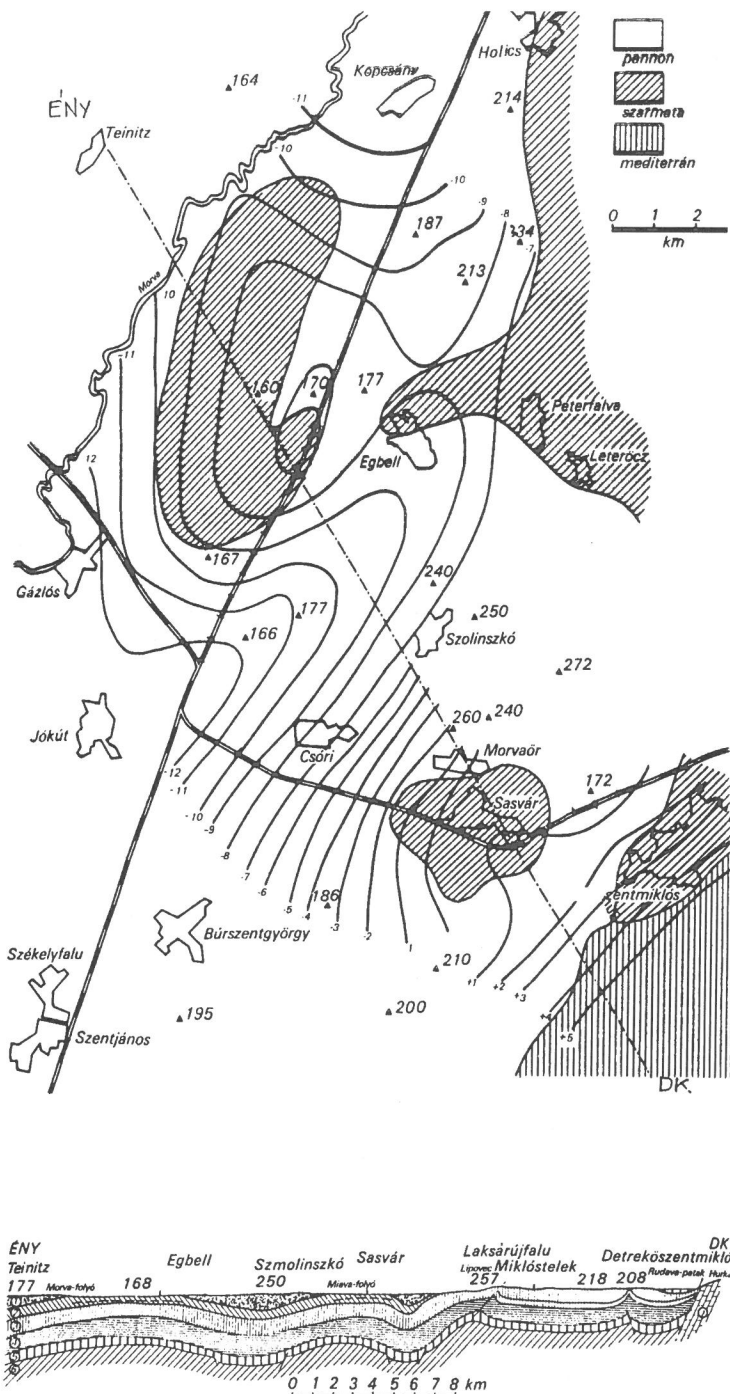
A magyar szénhidrogén-kutatás első korszaka az 1850-es évektől a második világháború végéig tartott. Az első próbálkozások csak keresgélésnek nevezhetők, amelynek végén — ha szerencsénk volt — a vállalkozók akár olajra is bukkanhattak. A XIX. század végén az ipari fejlődés azonban egyre sürgetőbben igényelte az új energiahordozókat. Az állam ezt időben felismerte és százezer koronáig terjedő szubvencióval támogatta a megbízható vállalkozókat. 1893-ban WEKERLE miniszterelnök levelet küldött BÖCKH Jánosnak, a Magyar Királyi Földtani Intézet igazgatójának, amelyben az intézetet bízta meg a kutatási támogatás felhasználásának ellenőrzésével. Érdemes idézni a levélből, mert ma is érvényes megállapításokat tartalmaz.

„... A hazai fogyasztóközönségre úgy, mint a kifejlett kőolajiparunkra nézve fölöttébb fontos, hogy a nyersolaj az országban nyeressék...Több helyen akadtak petróleumra is, de sehol sem olyan mennyiségre, hogy kiadós termelésre számítani lehessen. ...Szükségesnek találom, hogy a mélyfúrások a geológiai viszonyok alapos tanulmányozásával kezdessenek meg, a fúrólukak pedig alkalmas pontokon mindaddig mélyítessenek le, míg a petróleum formációt keresztül nem fúrják, oly célból, hogy megtudjuk: vajon van-e benne kőolajtartány.”

Az állami támogatás azonban csak fokozta a spekulációt. 1910-ben ugyan már 30 ezer ún. zártkutatómánt tartottak nyilván, de csak nagyon kevés hasznosítható kőolajtelepet találtak.

Az állam végül az 1911. évi VI. törvénycikk megalkotásával az ország valószínű petróleum-lelőhelyeinek szakszerű kutatását állami monopóliummá tette. A Kincstár által végzett kutatások az egyetlen jelentős eredményt Egbell környékén hozták, a földtani térképezés alapján mélyített fúrások 70–160 métertől földgázt, 160–250 méter között kőolajat fedeztek fel.

A világszerte ugrásszerűen növekedő számú meddő fúrások gyökeresen új megközelítést igényeltek. Ezt az első geofizikai módszer, EÖTVÖS Loránd báró torziós ingája szolgáltatta, amely lehetővé tette vastag üledékrétegekkel fedett medenceterületeken is olyan földtani szerkezetek kimutatását, amelyekben a szénhidrogén (olaj vagy gáz) felhalmozódhatott. A egbelli mérésekből levezetett gravitációsanomália-térképet és a földtani szerkezetet az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. Az Egbell–Sasvár szerkezet Eötvös-ingamérésekből levezetett gravitációsanomália-térképe és egy földtani szelvény

Fig. 1. Gravity anomaly field, derived from torsion balance measurements over the Egbell–Sasvár geological structure (top) and a geological cross section (bottom)

A korszak kiemelkedően nagy kutatója PAPP Simon volt. Bár az 1921–25 között végzett magyarországi kutatások egy angol koncessziós szerződés keretében teljesen eredménytelenek voltak, PAPP Simon meg volt győződve arról,

hogy nálunk is van kereskedelmi mennyiségű olaj, csak meg kell találni. 1933 júniusában az EUROGASCO (European Gas and Electric Co.) megkötötte a koncessziót a magyar állammal és PAPP Simon a vállalat főgeológusa-

ként kapott lehetőséget arra, hogy hozzákezdjen nagyszabású tervéhez, a magyar olajipar kialakításához. Pozícióját 15 éven át megtartva egészen 1948. augusztus 12-ig a magyarországi kutatások vezetője volt és olyan eredményeket ért el, amilyeneket előtte senkinek sem sikerült. Valóban megteremtette a magyar olajipart.

Az olaj- és gáztermelés alakulását az 1. táblázat összegzi (kerekített adatok, forrás: PAPP Simon: Életem című könyve).

Év	Olajtermelés (ezer tonna)	Földgáztermelés (millió köbméter)
1937	1,4	2,3
1938	37,3	15,0
1939	141,8	46,3
1940	249,6	75,9
1941	421,6	136,6
1942	665,2	221,9
1943	837,7	266,1
1944	810,0	310,7
1945	665,6	363,5
1946	674,5	412,2
1947	569,3	374,1
Összesen	5064,0	6964,1

1. táblázat. A kőolaj- és földgáztermelés változása 1937 és 1947 között

Table 1. Petroleum (first column) and gas production (second column) from 1937 to 1947

Az összesen több mint 5 millió tonna olaj és közelítőleg 7 milliárd köbméter gáz termelése kiemelkedő eredmény volt. Különösen figyelemre méltó a rendkívül gyors felfutás: a termelés néhány év alatt megszázszorozódott. Valamennyi termelő kutat PAPP Simon vezetésével alakították ki. Még felmérni is nehéz, mennyit veszített az ország azzal, hogy kutatásait 1948 októberétől már nem folytathatta.

A koncepciók perben ellene emelt vádak teljes egészükben alaptalanok voltak. Ennek illusztrálására csak egy példát idézek (PAPP Simon: Életem, 222–232. oldal). Az egyik súlyos vád az volt, hogy az ismert mezők termelését szándékosan csökkentette. A 2. táblázat a teljes hazai termelést (első oszlop) hasonlíttja össze az 1948-ban már ismert és PAPP Simonnak köszönhető mezők termelésével (második oszlop).

Év	Teljes termelés (ezer tonna)	1948-ban ismert mezők termelése (ezer tonna)
1948	482,6	482,6
1949	503,1	503,1
1950	508,5	467,1
1951	494,8	418,1
1952	585,5	448,9
1953	824,1	406,8
1954	1197,4	372,4

2. táblázat. A magyar kőolajtermelés 1948 és 1954 között, összehasonlítva az 1948-ban már ismert mezők termelésével

Table 2. Petroleum production in Hungary from 1948 to 1954 (first column) and the production from fields, known in 1948

A számok világosan mutatják, hogy a már ismert mezőkből egyszerűen nem lehetett többet termelni. A teljes termelés csak azután növekedett, amikor 1950-től kezdve a Lendvaujfalu, majd 1951-től a Nagylengyel környéki mezők termelése is megindult. Egyébként ez utóbbi mezők feltáráshoz vezető kutatómunka kezdeti lépéseit is PAPP Simon irányította. A táblázat már átvezet a második korszakba.

A második korszak a második világháború vége és 1992 közötti periódus. A háborús károk felszámolásának feladatai között kiemelt szerepe volt az energia biztosításának mind a lakosság, mind az ipari tevékenység számára. Újraindították a dunántúli olajmezők termelését és megkezdték a kutatásokat az Alföldön. A MAORT-nál a termelés 1945 áprilisában indult újra. A visszatért amerikai vezetés azonban az állam sokirányú beavatkozása miatt nagyobb kutatási programot már nem valósíthatott meg. A MAORT elleni koncepciók per után 1948 szeptemberében a Magyar–Amerikai Részvénytársaságot államosították.

A munkát nehezítő átszervezések ellenére a kutatás eredményes volt. 1951-ben felfedezték a nagylengyeli olajmezőt, ami azért is jelentős, mert igazolta, hogy az antiklinálisok mellett más földtani szerkezetek is alkalmasak kőolaj és földgáz tárolására.

1952. október 1-én a magyar kőolajipar egésze a MASZOLAJ Rt. kezelésébe került és ugyanakkor megalakult a Geofizikai Vállalat, mint annak kutatórészlege. A második korszakot mind a kutatások, mind a szénhidrogéntalálatok szempontjából aranykorszaknak nevezik a szerzők. Ekkor fedezték fel Nagylengyel, Pusztaföldvár, Hajdúszoboszló, Algyő stb. szénhidrogénmezőit. Egy évvel ezt megelőzően két geofizikai tanszék létesítettek, Sopronban a Földmérő Mérnöki Karon és a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán. A tanszékek első vezetői KÁNTÁS Károly (Sopron) és EGYED László (Budapest) voltak. Tavaly mindkét tanszék megünnepelte fennállásának 50 éves évfordulóját.

A MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalatát az első időkben szovjet szakemberek vezették. A szovjet szakemberek a szeizmikus kutatás fontosságát hangsúlyozták, és regionális refrakciós szeizmikus méréseket is végeztek, hogy a részletező mérések helyét a legtöbbet ígérő területeken jelölhesék ki. A Pusztaföldvár, Algyő és Hajdúszoboszló térségében kirajzolódó neogén boltozatokra az alföldi II, III és V regionális mérések hívták fel a figyelmet és a későbbi részletező szeizmikus mérések (1957–61) adatai alapján kitűzött fúrások tárták fel az ezekben rejtőző, gazdaságilag jelentős szénhidrogéntelepeket.

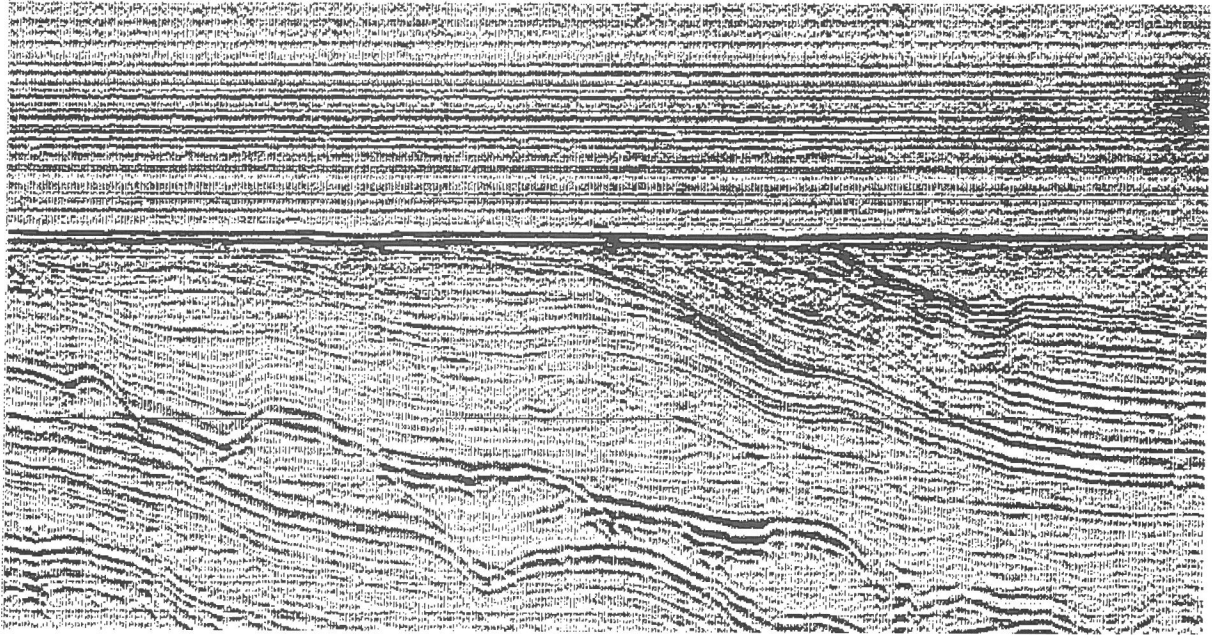
A refrakciós módszer akkor alkalmazható, ha a rétegsorban van egy, a felette elhelyezkedőnél lényegesen nagyobb szeizmikus terjedési sebességgel bíró réteg. A mélybe hatoló hullámok ennek a rétegnek a határán mozognak és a felszín felé úgynevezett fejhullámokat sugároznak. Ezeket érzékeljük a felszínen mint refrakciós beérkezéseket. A beérkezési időkből következtetni lehet a terjedési sebességekre és a refraktált hullámokat keltő réteg felső határának mélységére. Ez a réteg, amelyben a szeizmikus hullámok nagyobb sebességgel terjednek, rendszerint a medencealjzat. Kedvező esetben az üledékes összletben is van egy, esetleg két követhető felület. Nem teszi lehetővé azonban a módszer a további réteghatárok megismerését, hiszen kisebb sebességkontraszt esetén nem kapunk értékelhető refraktált hullámot.

A reflexiós szeizmika lehetőségei sokkal jobbák: minden réteghatárról kapunk visszaverődést, ha a határ két oldalán elhelyezkedő közegek akusztikus impedanciái között elegendő nagy különbség van. (Az akusztikus impedancia a sebesség és sűrűség szorzata). A reflexiós szeizmika ezért alkalmas az üledékes medencékben számos réteghatár pontos követésére.

1966-ban a fotoregisztrálású szeizmikus technikát váltotta az analóg mágneses jelelregisztrálás. Ekkorra már domináns volt a reflexiós szeizmika és a módszerrel előállított időszelvények alkalmazása.

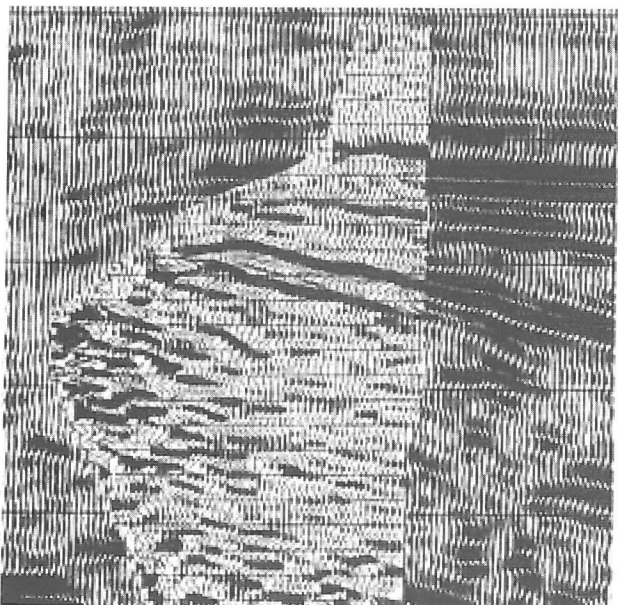
Az analóg terepi műszerek és számítóközpont használ-

atba vétele lehetővé tette időszelvények előállítását a többszörös fedés elvének alkalmazásával. 1968-ban kezdődött a felkészülés a digitális technika fogadására és 1971-ben érkezett meg az első digitális terepi műszer, kezdődött meg a számítógépes adatfeldolgozás. A digitális adatfeldolgozás nemcsak az addiginál sokkal jobb minőségű időszelvények előállítását tette lehetővé, de számos más művelet elvégzését is (dekonvolúció, automatikus statikus korrekciójavítás, sebességanalízis, migráció, pszeudo-sebesség szelvény, szeizmikus attribútumok meghatározása, AVO analízis stb.). Digitálisan regisztrált és feldolgozott időszelvényt mutat be a 2. ábra.



2. ábra. Reflexiós szeizmikus szelvény. Az egymás mellett ábrázolt csatornák kirajzolják a visszaverő felületek képét

Fig. 2. Seismic reflection profile. The consecutive traces of the time section give an idea about the strong subsurface reflectors



3. ábra. Időszelvény és (középen) a szelvénybe illesztett offsetes VSP szelvény

Fig. 3. Seismic reflection profile and (about the middle part) an in-laid migrated off-set VSP section, illustrating that the VSP section serves as a final calibration tool

1978 a vibroszeiz módszer, 1982 a Vertical Seismic Profiling (VSP) módszer alkalmazásának kezdő éve. A VSP módszert a „végső kalibrációs eszköznek” is nevezik. Ezt illusztrálja a 3. ábra.

1986-ban alkalmaztak először modern telemetrikus digitális terepi műszereket. 1990-ban végezték az első saját kivitelezésű hazai 3-D-s szeizmikus mérést.

1992-től kezdve a telemetrikus digitális mérőműszerek használata kizárólagossá, a környezetbarát vibroszeiz módszer pedig a robbantásos módszerrel szemben dominánssá vált.

A második korszak negyven esztendejének (1952–1992) eredményei a következőben összegezhetők. Geofizikai módszerekkel felmérték a földtani kutatásra érdemesnek tartott valamennyi területet. Összesen 873, kőolajkutatásra alkalmas földtani alakulatot mutattak ki. Közülük 1991 végéig 650-et vizsgáltak meg fúrásokkal és 130-ban találtak kitermelhető szénhidrogénkészletet. Ez 20% körüli találati arány. 5257 kutatófúrást mélyítettek, összesen 9 621 000 méter hosszúságban. Ebből 2533 volt eredményes (48,2%). 2518 feltáró fúrás készült, összesen 4 393 000 méter hosszúságban. Az eredményesség 82,6%.

A feltárt kitermelhető készlet 1991 végéig 93,7 millió tonna kőolaj, 249,1 milliárd köbméter éghető földgáz és 34 milliárd köbméter szén-dioxid gáz. A kőolajkészletből

1991-ig 74 millió tonnát, a földgázból 160 milliárd köbmétert termeltek ki.

10 mező tartalmazza a megismert készletek 71,4%-át, ebből három a készletek 48,4%-át. A maradék 28,6% 120 mező között oszlik el. Ez jelzi a telepek zömének kis méretét, a kutatás bonyolultságát, egyben a magyar szakemberek kiváló felkészültségét. Mivel nem szeretnék méltatlanul kihagyni valakit azok közül, akiknek tevékenysége a módszerek meghonosításában, alkalmazásában vagy a geofizikai eredmények földtani értelmezésében segítette az eredmények elérését, inkább egyetlen nevet sem említek. Szakmánki csapatmunka és csak akkor lehet sikeres, ha valamennyi résztvevő megteszi a magáét. A szénhidrogén-kutató geofizikában dolgozók túlnyomó többsége mindig tudta ezt és ennek szellemében cselekedett.

A magyar szénhidrogén-kutatás harmadik korszakának kezdetét az 1993-as bányatörvény hatályba lépésétől lehet számítani. A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény a kutatásokkal kapcsolatban új szabályozást alkotott, az állami monopólium meghatározott időre és területre történő átadását koncessziós szerződések alapján. Ezzel a magyar szénhidrogén-kutatást kiszolgáltatta a nagy nemzetközi olajvállalatoknak. Ugyanebben az évben kormányrendelet szabályozta a Magyar Geológiai Szolgálat új feladatkörét és létrehozták a Magyar Bányászati Hivatalt.

A Geofizikai Szolgáltató (GES) Kft. 1993. január 1-től kezdve kizárólag szolgáltatással, terepi adatgyűjtéssel és adatfeldolgozással foglalkozott. A mérések és adatfeldolgozás tervezése, ellenőrzése és értelmezése a MOL szervezetén belül maradt. Ez azt jelentette, hogy a társaság szigorúan a gazdasági környezet szabályai szerint, a MOL Rt. elvárásai alapján működött.

Világszerte jellemző tendencia a 2-D mérések arányának csökkenése és a 3-D mérések arányának növekedése. Már 1994-től kezdve a háromdimenziós mérésekben használt szeizmikus csatornák száma meghaladta vagy megközelítette a kétdimenziós kutatásban használt csatornák számát. Jellemző a csatornák számának jelentős növekedése is, az utóbbi öt évben évente 60–80 millió csatornát mértek.

A modern szeizmikus mérések mennyiségére jellemző, hogy az 1971–2000 között mért 2-D-s digitális szeizmikus szelvények együttes hossza kétszerese a Föld Egyenlítőjének. A 3-D projektek összes száma pedig napjainkig meghaladta a félszázat.

A geofizikai módszerek segítségével (is) megtalált közelítően 100 millió tonna kőolaj és 250 milliárd köbméter földgáz gazdaságilag is jelentős az ország életében.

A nyersanyagkutatásban dolgozó geofizikusok mindig követték a szakma fejlődését, törekedtek az új módszerek megértésére, majd meghonosítására és értő alkalmazására. Ezt mutatja a digitális szeizmika gyors meghonosítása, a VSP alkalmazása vagy a 3-D szeizmika bevezetése a hazai gyakorlatba. Itt teszek említést az erőter-geofizikáról (a gravitációs és az elektromágneses módszerekről), amelyekkel nem foglalkozom. Feltétlenül ide kíváncsok azonban, hogy ezeket is világszínvonalon művelték mind a GES Kft.-ben, mind az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben.

A sikerek titka, hogy a geofizikusok szakmai tevékenységüket hivatástudattal, lelkesedéssel végezték a közös cél: az új kőolaj- és földgázmezők felfedezése érdekében, még a legnehezebb időkben is.

Remélem, hogy a magyar olajipar újból vállalkozik mérész célok elérésére, ha nem is a teljes hazai szükségletet kielégítő, de jelentős új mezők megtalálására. A következő öt, tíz év távlatában azonban a tartós fejlődést és fennmaradást csak egy-két külföldi piacon való tartós jelenlét biztosíthatja. A jelentős, új mezők egy részét ott kell megtalálni. A szakértelem és a közös munka vállalása megvan a magyar szakemberekben. Széles látókörű vezetőkre, eszközökre és némi szerencsére még szükségünk van. Kívánom, hogy a jövő ezeket is hozza meg.

A geofizika szerepe a környezettudományban

Amíg a Földön kevés ember élt és az ember gyenge és kiszolgáltatott volt, le akarta győzni a természetet. A XX. században az a téves eszme terjedt el, hogy a tudomány fejlődése majd minden gondot megold. Feledésbe merült a természeti népek tapasztalata, hogy az embernek a természettel összhangban kell élnie. A „fejlődés” bűvkörébe esett emberiség mindent át akart alakítani és a beavatkozások gyakran károsnak bizonyultak, szennyezték a környezetet, akadályozták az ökológiai rendszerek működését.

A Föld ökológiai rendszereiből ered számos életfontosságú anyag: táplálék, építőanyag, tüzelő, gyógyszeranyag, ipari nyersanyag. Számos funkciójuk hasonlóan fontos: a vízkörforgás és más vegyületek körforgása, víztisztulás, áradások megfékezése, termények beporzása, a légkör tisztulása és mások. A gének, fajok és ökoszisztémák sokfélesége önmagában is értékes. Ma már tudjuk, hogy saját életünk fennmaradása is csak úgy képzelhető el, ha megőrizzük a Föld életünk számára kedvező körülményeket teremtő rendszereinek működését, az ökoszisztémák működőképességét, a fajok állapotát a gyorsan változó körülmények között. Ehhez sokkal többet kellene tudnunk az életfontosságú rendszerek elemeiről és működéséről, melyeknek része a földtani környezet is [World Commission on Environment... 1987, United Nations Conference on Environment... 1992, Board on Sustainable Development 2000].

Az emberi tevékenység következményei közül csak a hulladékok, közöttük a veszélyes vegyi és radioaktív hulladékok mennyiségének rendkívül gyors növekedését említem. Más, tiszta technológiákra, újrafelhasználásra, de addig is a hulladékok kezelésére (égetés, megsemmisítés), illetve gondos elhelyezésére van szükség. Ebben szintén elengedhetetlen a földtudomány szerepe. Olyan tárolókat kell kialakítani, amelyek már földtani adottságaik miatt sem engedik kijutni a káros anyagokat a környezetbe. A feladatok a hulladék típusától függően változnak. Kevesebb előkészítő munka szükséges egy kommunális hulladék-tároló kialakításához, mint a kis vagy közepes radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezéséhez. A nagy aktivitású radioaktív hulladékok, a kiégett fűtőelemek végleges tárolására alkalmas helyek megtalálása majd kialakítása több évtizedes intenzív földtani kutatómunkát igényel.

Az Európai Unió környezetvédelmi teendőit a jelenleg folyó hatodik Akcióprogram a 2001–2010 közötti időszakra fogalmazza meg. A múltra visszatekintve megállapítja, hogy az elmúlt évtizedekben az Európai Unió országai sokat foglalkoztak a környezet állapotával és az azt megőrző szabályozással. Az előző akcióprogramok végrehajtásá-

val sikerült javítani a környezet állapotán. Emiatt a 2001. január 1-vel indult „Környezet 2010” című hatodik Környezetvédelmi Akcióprogram a fenntarthatóság környezetvédelmi feltételeit állítja a középpontba.

A dokumentum hangsúlyozza, hogy a határozat céljai, prioritásai és cselekvései már egy kibővített közösségre alkalmazandók. Ennek 2004. május 1-től Magyarország is tagja lesz. Az Akcióprogram megállapítja, hogy a most még csak tagjelölt országok (Közép- és Kelet-Európa országai, Málta és Ciprus) csatlakozása után az Európai Unió 170 millió lakossal és 58%-kal nagyobb földterülettel fog rendelkezni, ugyanakkor számos környezeti kárral sújtott, elszennyezett területtel is bővül. Ezek megtisztítása a következő 5–10 évben komoly gondot fog jelenteni a csatlakozó országoknak. A megoldás kulcsa az EU szabályainak, törvényeinek elfogadása és következetes alkalmazása. Az Akcióprogram betervezte az első öt év után az előrehaladás felmérését és ennek eredményeként — amennyiben szükséges — a Program felülvizsgálatát és módosítását.

A Program négy súlyponti területet nevez meg. Ezek:

- a klímaváltozás és kezelése,
- a természetvédelem,
- a környezet és egészség,
- a természeti erőforrások megőrzése és a hulladékkezelés.

A program két súlyponti területe — a klímaváltozás, illetve a természeti erőforrások és hulladékkezelés — döntően a földtudomány eredményeinek alkalmazását igényli, de a másik kettőben is van szerepünk, hiszen a természetvédelem és környezet vizsgálata sem képzelhető el a földtudomány aktív részvétele nélkül. A környezeti geofizikának pedig döntő szerepe van az illegális lerakók megtalálásában és a hulladékok elhelyezésére alkalmas telephelyek kialakításában.

A környezeti geofizika

A környezeti geofizika kezdetben a szilárd Föld felszínközeli részének vizsgálatát jelentette, hiszen a szennyeződés nagy részének a végállomása éppen ez a térrész. A környezettudományi-környezetvédelmi célú megközelítés azonban hamar megmutatkozott a globális és regionális léptékű geofizikában is. A környezetgeofizikában is beszélhetünk lokális, regionális és globális feladatokról [SZARKA et al. 2001]. A regionális feladatok közül talán a legfontosabb a földrengés-veszélyeztetettség meghatározása.

A földrengések leírása és hatásaik térképi ábrázolása hazánkban csaknem két évszázados múltra tekint vissza. Az 1810. január 14-i móri földrengés hatásáról KITAIBEL P. és TOMTSÁNYI R. 1814-ben térképet szerkesztett. Nyilakkal ábrázolták az első lökés irányát és szaggatott vonallal megrajzolták a nagyobb kárt szenvedett terület határát. Ezzel — korukat messze megelőzve — lényegében bevezették az izoszeizta (=azonos megrázottságú területeken határoló) vonalak használatát. Sajnos a nemzetközi tudományos szakirodalomban munkájuk nem vált közismertté és az izoszeizta fogalom bevezetését R. MALLETT angol tudósnak tulajdonítják, aki az 1857. december 16-i nápolyi földrengés okozta károkat ábrázolta térképen. MALLETT a legerősebben megrázott rész középpontját nevezte epicentrumnak. Az intenzitás és izoszeizta pontos definíciója és a megrázottság mértékét minősítő 12 fokozatú Mercalli-skála csak jóval később jelent meg.

Az intenzitást a földrengés „erősségének” többé-kevésbé objektív jellemzésére több mint egy évszázada használják. Előnye, hogy a múlt földrengéseire az úgynevezett történelmi rengésekre is alkalmazható, amennyiben elegendő leírás van a károkról. Az intenzitás legnagyobb az epicentrumban és csökken a távolsággal. A csökkenés mértékéből következtetni lehet földrengés fészekmélységére és a terület átlagos energia-elnyelési együtthatójára. A számításokban használt egyenletet magyar szeizmológus, KÖVESLIGETHY Radó vezette le elsőként. A műszeres megfigyelések előtti időszakban ez volt, illetve történelmi rengések esetében ma is ez az egyetlen lehetőség a fészekmélység meghatározására. Az egyenletet a szakirodalom ma is Kövesligethy-képletként tartja számon.

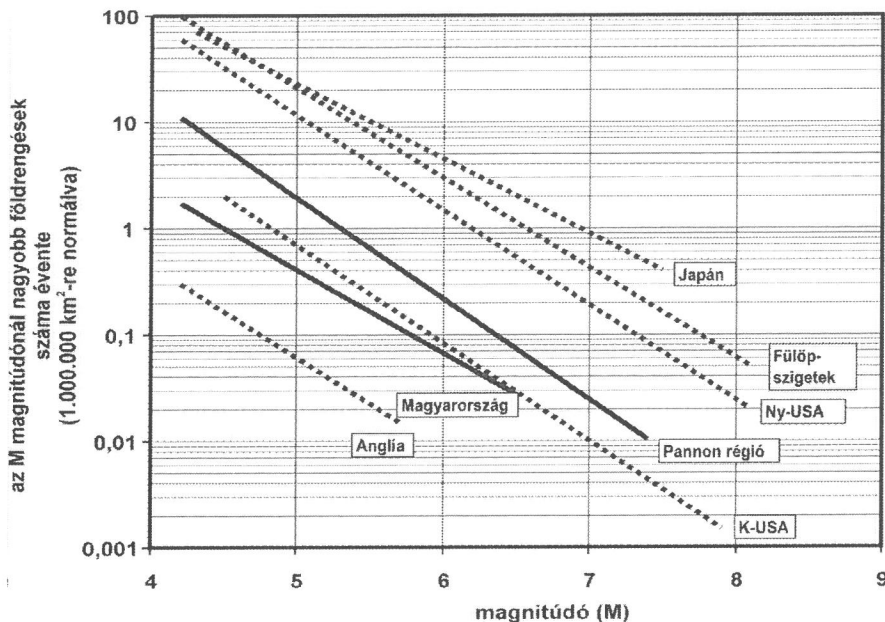
A Pannon-medence szeizmikus aktivitása viszonylag kicsiny, de nem elhanyagolható. Több nagy földrengés volt az utóbbi évszázadokban, amelyeket történelmi feljegyzések vagy — a későbbieket — műszeres megfigyelések és részletes kárfelmérés alapján jól ismerünk: Komárom (1763, 1783, 1806, 1851), Kecskemét (1908, 1911), Eger (1925), Dunaharaszti (1956) és Berhida (1985). A mérsékelt szeizmicitás tehát nem jelenti azt, hogy minden földrengés mérsékelt erősségű, csak azt, hogy a nagy rengések ritkábbak, mint a nagy aktivitású területeken (Japán, az Egyesült Államok nyugati partvidéke, vagy Európában a mediterrán területek). Hazánkban több, a Richter-skálán bizonyítottan a 6-os magnitúdót meghaladó rengés volt (Komárom, 1763 $M=6,2$, Érmellék, 1834 $M=6,2$) emiatt nem zárható ki, hogy a jövőben is lesznek 6,0 és 6,5 közötti, esetleg 7,0 magnitúdót is elérő rengések. Az epicentrumok eloszlását Magyarországon és környezetében a 4. ábra mutatja be. Az 5. ábra hasonlítja össze hazánk és néhány más terület földrengés-aktivitását a magnitúdó-gyakoriság eloszlások segítségével. A 6. ábrán Európa hazánkat is tartalmazó déli részének földrengés-veszélyeztetettségét mutatja be. A térkép nemzetközi kutatómunka eredménye, amelyben magyar szeizmológusok is részt vettek.

Hazánk területén jelenleg 4 általános célú obszervatórium működik: Sopronban, Piskéztetőn és Gyulán modern digitális műszerekkel és Budapesten (a Sas-hegy belsejében) analóg műszerrel. Ezt egészíti ki a Paksi Atomerőmű földrengés-veszélyeztetettségének megállapítására 1995-ben felállított mikroszeizmikus hálózat és az 5 úgynevezett gyorsulásmérő (vagy strong-motion) műszer. A Paks körüli hálózat központi feldolgozó számítógépe Budapesten van és a kis földrengések helyének, nagyságának, kedvező esetben a mozgás jellegének meghatározására is alkalmas. A hálózat működtetésétől joggal várják a szeizmológusok, hogy a hazai földrengés-tevékenységről néhány év (évtized) után minden eddiginél pontosabb képet fognak kapni [TÓTH, MÓNUS 1997].

A nukleáris erőművek veszélyeztetettsége közismert és komoly erőfeszítéseket is tesznek a biztonságos működtetésre — többek között Magyarországon is [MAROSI, MESKÓ 1998]. A különösen fontos és védendő létesítmények földrengés-veszélyeztetettségét az időtartamok és valószínűségek különböző szintjeivel jellemzik. Az építési szabványokban is rendszerint az adott időtartamhoz és valószínűséghez tartozó intenzitás vagy az abból következő horizontális gyorsulás szerepel. Például atomerőművek esetén a biztonságos működésre vonatkozó érték a $T=100$ év és a 0,5 valószínűségi

szint lehet (úgynevezett OBE = operation basis earthquake), míg a biztonságos lezáráshoz tartozó érték meghatározásához a $T = 10\,000$ évet és ugyancsak a 0,5 valószínűségi szintet választhatjuk (úgynevezett SSE = safe shutdown earthquake). Az első adat annak a földrengésnek az intenzitása,

melynek bekövetkezése esetén a működésben még semmilyen zavar nem lesz. A második azt adja meg, hogy a működést ugyan abba kell hagyni egy ekkora rengés esetén, de az erőmű biztonságosan lezárható — anélkül, hogy a környezetbe radioaktív anyagok kerülnének ki.



5. ábra. Magnitúdó-gyakoriság kapcsolat néhány területre

Fig. 5. Magnitude-frequency relation for some areas

Nem ilyen megnyugtató a helyzet más nagy létesítmények földrengés-veszélyeztetettségével kapcsolatban. Talán a mérnökök számára beláthatatlannak tűnő időtartamok miatt a földrengés-veszélyeztetettséget sokszor elhanyagolják. (Nagyméretű víztárolók gátjaira lakott területek közelsége esetén rendszerint $T = 30\,000$ évet írnak elő. Még hosszabb időtartamra kell számításokat végezni nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésekor, hiszen az anyagot több százezer évig kell biztonságosan elszigetelni környezetétől.) A geodéziai módszerekkel jól nyomon követhető szintváltozások jelzik egyes területek emelkedését, mások süllyedését. A GPS mérési kampányok képet adnak a horizontális elmozdulásokról. A feszültségmérésekből világosan kitűnik, hogy Magyarország nem feszültségmentes terület. A nagyobb mélységek viszonyait felderítő szeizmikus mérések sok törésvonalat — tört, zúzott övet — tártak fel. Ezek egy része ma is aktív lehet, vagy tektonikai aktivitása felújulhat.

A földrengések előrejelzése a világon sehol sem megoldott, a földrengéskárok mérséklésének jelenleg egyetlen hatékony módja a földrengésálló építkezés: olyan építési technológiák alkalmazása, melyek biztosítják az épületek földrengésállóságát. Emiatt lényeges feladat az Európai Unióban használatos földrengés-biztonsági építési normák átvétele és betartása. Az EU egységes szabályozásának (EUROCODE8) hazai honosítása folyamatban van.

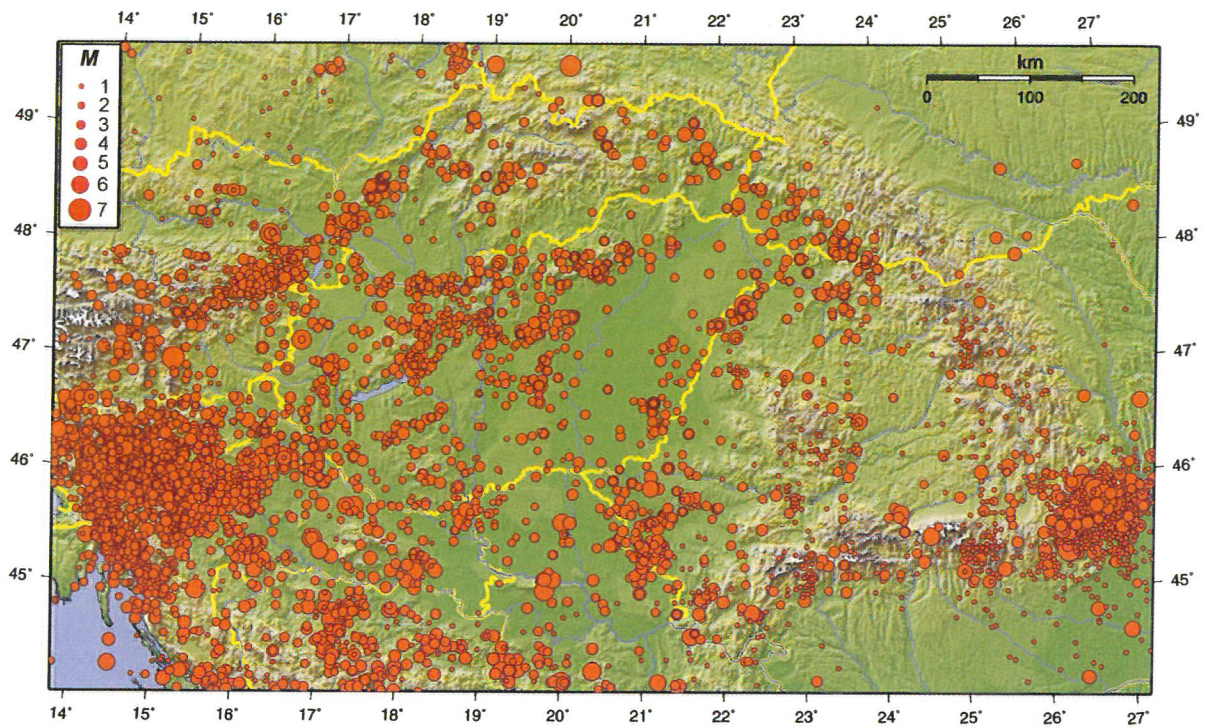
A jövő fontos feladata a Paksi Atomerőmű és a kialakítandó kis és közepes aktivitású hulladéktároló szeizmológiai monitorozásának folyamatos biztosítása, valamint a nagy aktivitású (kiégett fűtőelemek elhelyezésére szolgáló) tároló hely kiválasztásának szeizmológiai előkészítése.

Az a tény, hogy a geofizikai mérésekkel — közvetve vagy közvetlenül — a földben lévő anyagok fizikai tulajdonságai közötti különbségek felderíthetők, jól alkalmazható a lokális feladatok megoldására alkalmazott környezeti

geofizikában is. Egy hulladéktárolóból szivárgó szennyezett, a porózus közetrétegben lassan áramló oldatnak más az elektromos ellenállása, mint az ugyanolyan mélységben és közetrétegben áramló tiszta talajvíznek. Veszélyes hulladékot tároló, elásott hordóknak más a mágnesezhetőségük, mint a környező vagy fedő talajé. A fémhordóknak saját mágneses terük is van — míg a környező talajnak nincsen. De még az egyszerűen csak megbolygatott talaj szerkezete és több fizikai paramétere is megváltozik. Nemcsak természet alkotta üregek, de kiásott, majd betemetett árkok is megtalálhatók geofizikai mérésekkel — még akkor is, ha évszázadok alatt új rétegek kerülnek rájuk és felszíni nyomaik a szem számára láthatatlanná válnak. Ugyanezt a jelenséget használják ki a régészeti felderítésre kiterjedten alkalmazott, és gyorsasága és megbízhatósága miatt közkedvelt részletes mágneses mérések is.

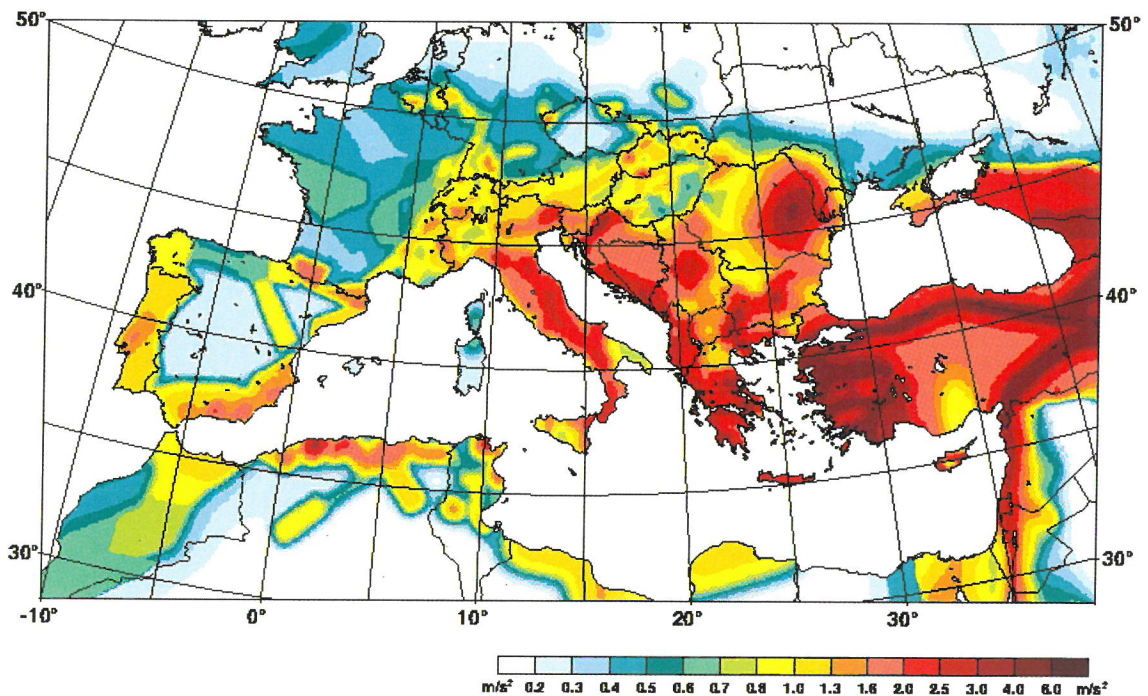
Az elektromágneses hullámok is, a rugalmas hullámokhoz hasonló módon, visszaverődnek különböző rétegek határáról és így a rétegek helyzete meghatározható a felszínen keltett és érzékelt hullámokkal. Ezt hasznosítja a földradar (GPR) — bár sokkal sekélyebb rétegek, de sokkal jobb felbontású, részletesebb megismerésére. A 7. ábra egy feldolgozott földradarmérés szelvényét és — alatta — a mérések értelmezését mutatja be.

A földmozgások okozta veszélyek között a földrengések mellett a földcsuszamlásokat, omlásokat kell említenünk. Szerencsére hazánkban viszonylag ritkán okoznak nagyobb károkat, de állandó potenciális veszélyt jelentenek, amelyre fel kell készülnünk. A csuszamlások és rokon folyamatok problémáját nem lehet egyedi megoldásokkal tartósan kezelni, mivel nagy térséget érintő regionális környezeti problémáról van szó, amelyben a természeti folyamatok és antropogén hatások együttesen eredményezik a veszélyhelyzetek kialakulását. Egységes szemlélettel és módszerekkel kell elvégezni a tudományos vizsgálatokat, majd



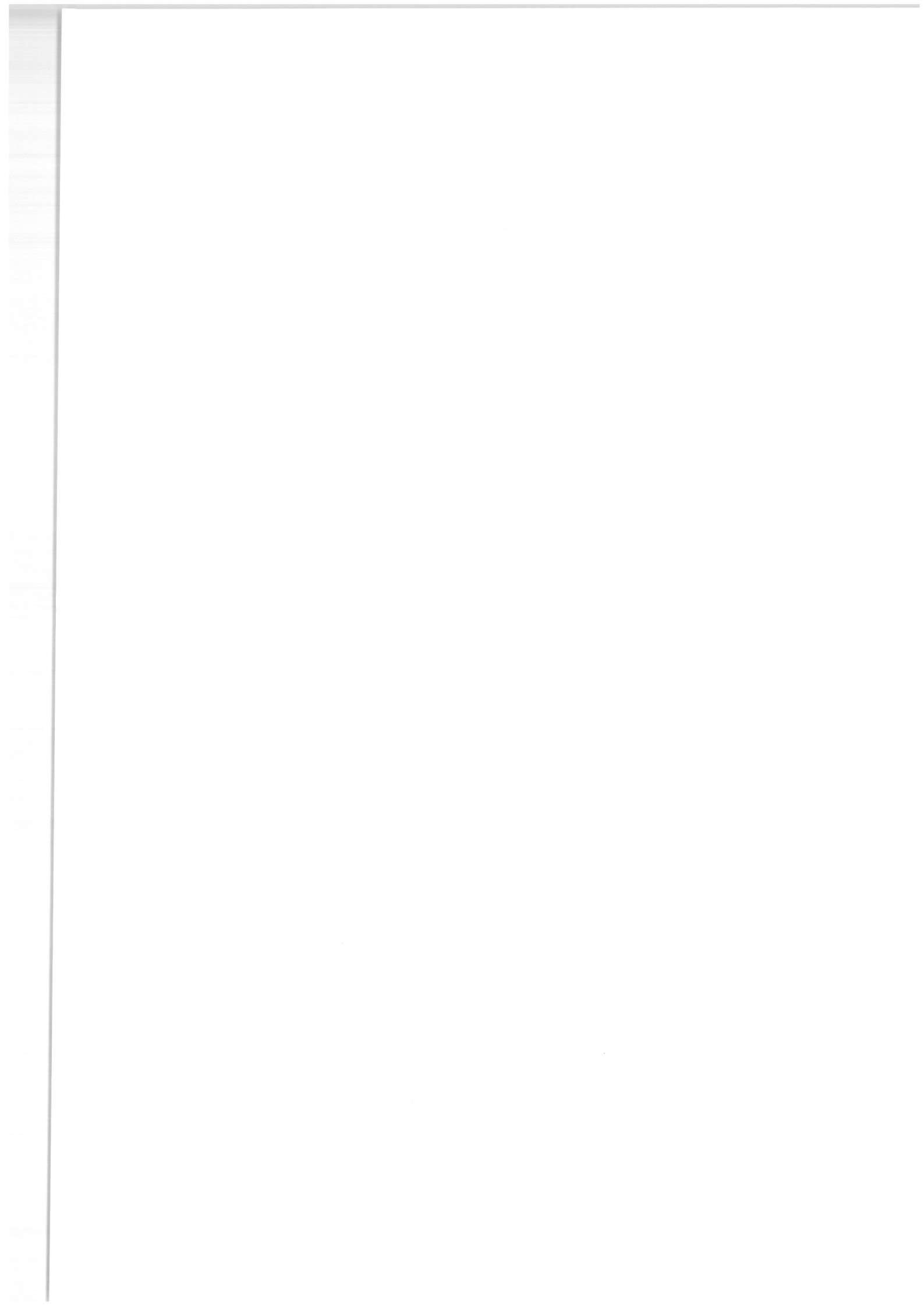
4. ábra. A földrengések epicentrumainak eloszlása a Pannon-medencében és a hozzá kapcsolódó területeken (44,0–50,0 É; 13,0–28,0 K). A katalógus több mint 20 ezer rengést tartalmaz a 456-tól 1998-ig terjedő időszakról. A körök mérete a rengések magnitúdójával arányos [TÓTH, ZSÍROS 2002 nyomán]

Figure 4. Epicenters in the Carpathian Basin and adjacent areas (44.0° – 50.0° N and 13.0° – 28.0° E). The catalog includes over 20,000 earthquakes in the time interval 456–1998. The radii of the circles are proportional to the magnitude [after TÓTH, ZSÍROS 2002]



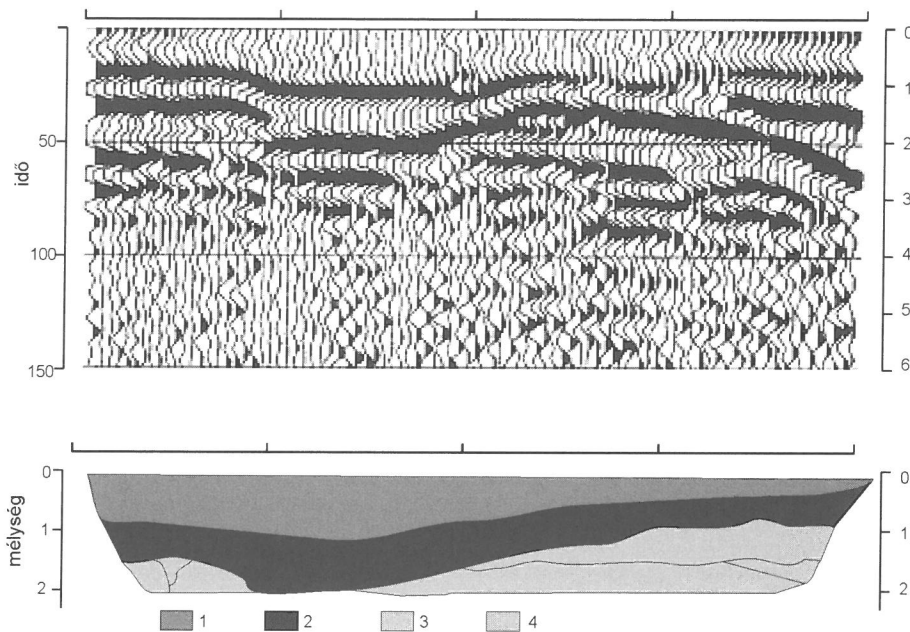
6. ábra. Közép- és Dél-Európa földrengés-veszélyzetettségi térképe (valószínűség 10%, időtartam 50 év, készült a GSHAP program során 1992–1998)

Figure 6. Seismic hazard map for Central and Southern Europe (probability level: 10%, time span: 50 years, constructed in the framework of the GSHAP 1992–1998)



végrehajtani a szükséges műszaki beavatkozásokat. A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy átgondolt településfejlesztési és rendezési tervvel, szakszerű közművesítéssel és felszíni vízelvezetéssel a partomlások, rogyások jelentős része elhárítható.

Mind a csuszamlásveszélyes területeket, mind a gátak állapotát célszerű ellenőrizni a környezeti geofizikai (köztük a földradar) mérések segítségével. A jelentős károk egy része így elkerülhető, azaz méréseink komoly gazdasági előnnyel is járhatnak.



7. ábra. Földradar felvétel (felül) és értelmezése (alul)

Fig. 7. Section obtained by ground penetrating radar (top) and its interpretation (bottom)

HIVATKOZÁSOK

ÁDÁM A., MESKÓ A. (szerk.) 2001: A földtudományok és földi folyamatok kockázati tényezői. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián 1–242 old., Magyar Tudományos Akadémia kiadása

Board on Sustainable Development, National Research Council 2000: Our Common Journey, a transition towards sustainability. National Academy Press, Washington, D.C.

KÉSMÁRKY I. (főszerk.) 2002: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban. GES Kft kiadása, 348 old.

MAROSI S., MESKÓ A. (szerk.) 1998: A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest. 178 old.

MESKÓ A. 1997: Energia és nyersanyagok a Földből. Magyar Tudomány **10**, 1188–1202

MESKÓ A. 2000: Átmenet a fenntarthatósághoz a 21. században. Magyar Tudomány **10**, 1252–1263

PANTÓ GY., ÁDÁM J., MÉSZÁROS E. 2002: Földtudomány. Tudománypolitika Magyarországon II. A diszciplínák művelése. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest

PAPP S. 1996: Életem. Magyar Olajipari Múzeum kiadása. 352 old.

SZARKA L., GYULAI Á., VERŐ L., 2001: A magyar környezetgeofizika — európai mércével. In: ÁDÁM A., MESKÓ A. (szerk.) 2001: A földtudományok és földi folyamatok kockázati tényezői. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián 1–242. old.

TÓTH L., MÓNUS P. 1997. A Paksi Atomerőmű mikro-szeizmikus megfigyelő hálózata. In: A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága (szerk.: MAROSI S., MESKÓ A.) 113–121

TÓTH L., ZSIROS T. 2002: A Pannon-medence szeizmicitása és kockázata In: Magyarország földrengésbiztonsága konferencia kiadványa, 129–138

United Nations Conference on Environment and Development, 1992: Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3–14 June 1992. (Annex I: Rio Declaration, Annex III: Agenda 21)

World Commission on Environment and Development 1987: Our Common future (Brundtland Report). Oxford University Press, New York