

Nagy entalpiájú geotermikus rezervoárok Magyarországon

High enthalpy geothermal reservoirs
in Hungary¹

STEGENA Lajos, HORVÁTH Ferenc, LANDY Kornélné,
NAGY Zoltán és RUMPLER János²

(4 ábrával)

Összefoglalás

Elméleti megfontolások szerint a Pannon-medence mezozoós-paleozoós aljzatában, közepes mélységben (4–5 km), magas entalpiájú geotermikus rezervoárok létezhetnek. A Fábiánsebestyén-4 mélyfúrás víz/gőz kitörése (1985. december 16—1986. január 31) látványos gyakorlati alátámasztást adott e nézetnek. A mélyfúrás szélesebb térségében elvégzett vizsgálatok megmutatták, hogy az ilyen rezervoárok jól nyomozhatók szeizmikus, geokémiai és geoelektromos módszerek együttes alkalmazásával. E vizsgálatok elvégzése szükségesnek látszik a medence valamennyi perspektívikus területén, mivel a magas entalpiájú rezervoárok reményt adnak geotermikus erőművek létesítésére és gazdaságos üzemeltetésére Magyarországon.

Abstract

Theoretical studies have shown that high enthalpy geothermal reservoirs can be present in the pre-Tertiary basement rocks at medium depth range (4–5 km) within the Pannonian Basin. This expectation was proven by the hotwater/steam blowout of Fábiánsebestyén-4 borehole (1985. 12. 16—1986. 01. 31). Exploration efforts carried out during 1987–88 in the broad vicinity of the borehole proved that reservoirs of this type can be found by the combination of seismic reflection, geochemical and magnetotelluric sounding methods. Deliberate prospection should be continued in all perspective areas within the basin, because high enthalpy reservoirs promise profitable operation of geothermal power stations in Hungary.

Key words: tectonics, geothermal energy, Hungary

¹Full text in English will be published in *Geothermics* (1993).

²STEGENA Lajos, HORVÁTH Ferenc, Eötvös Loránd Tudományegyetem, 1083 Budapest, Ludovika tér 2.
LANDY Kornélné, NAGY Zoltán, RUMPLER János, Geofizikai Kutató Vállalat, 1062 Budapest, Andrássy út 59.

A kézirat beérkezett: 1991. július 24.

Átdolgozva: 1992. január 6.

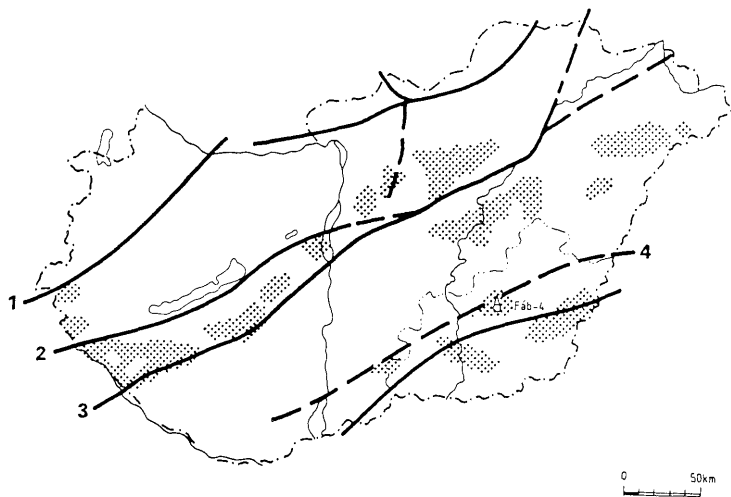
Bevezetés

A Pannon-medence pannóniai korú porózus üledékeinek rétegvizei általában enyhén túlnyomásosak és a magasabb hőmérsékleti gradiens folytán melegebbek az átlagnál ($G \approx 40\text{--}60$ mK/m). A fiatal üledékek artézi vizeinek hasznosítása balneológiai célokra, majd üvegházak és épületek fűtésére 1866 óta folyik, és különösen a második világháború után gyorsult fel (OTTLIK et al., 1981). E törekvések ellenére a Pannon-medence központi, magyarországi részén a kitermelt geotermikus teljesítmény összesen mintegy 10^3 MW-ra tehető (1982, UNECE 1984) szemben a terület gazdaságosan kitermelhető mintegy $4 \cdot 10^{20}$ Joule geotermikus energiakészletével (BOBOK et al., 1987). Ez 50 évre számolva $\sim 3 \cdot 10^5$ MW teljesítményt jelent. A gyér felhasználás oka a teljesítmény alacsony területi sűrűsége (~ 3 MW/km²) és a hévizek alacsony (< 100 °C) hőmérséklete.

Jelen tanulmány célja a Pannon-medence mezozoos és paleozoos aljzatában lévő nagyobb mélységű és hőmérsékletű rezervoárok vizsgálata. Ezek nagyobb energiasűrűségük révén közvetlen elektromos energiatermelésre alkalmasak lehetnek (STEGENA, 1991).

A mélység növekedtével, a kompaktió révén, a törmelékeny kőzetek porozitása gyorsan csökken. Az átlagos porozitás a felszín közelében mintegy 40%, 3 km mélyen 5%, 5 km mélyen már csak mintegy 2% (STEGENA, 1985b). E nagyobb, 3—5 km-es mélységekben is van lehetőség másodlagos porozitás lokális kialakulására, tektonikus törések, hidraulikus breccsásodás és karsztosodás révén, lehetőséget adva geotermikus rezervoárok létrejöttéhez. Kérdés, hol vannak — ha vannak — ezek a rezervoárok? Valószínű elhelyezkedésük meghatározása az alábbi spekuláció, gondolatmenet alapján történt (STEGENA, 1986): a Pannon-medence több ezer mélyfúrása alapján megfelelő részletességű és pontosságú geotermikus hőmérsékleti térképek és a pretercier medencealjzat mélységére és korára vonatkozó térképek készültek (DÖVÉNYI et al., 1983; DANK és FÜLÖP, 1989; KILÉNYI és RUMPLER, 1984). Továbbá mélyfúrások adatai és hidrológiai megfigyelések alapján, bár bizonytalanul, de le lehetett határozni a medencealjzat valószínűleg karsztosodott, tektonizált részeit (ALFÖLDI et al., 1977). Az 1. ábra a 150 °C-nál magasabb tetőhőmérsékletű karsztos és karbonátos medencealjzatrészeket mutatja. Ezek a területek a nagymélységű geotermikus rezervoárok valószínű területei.

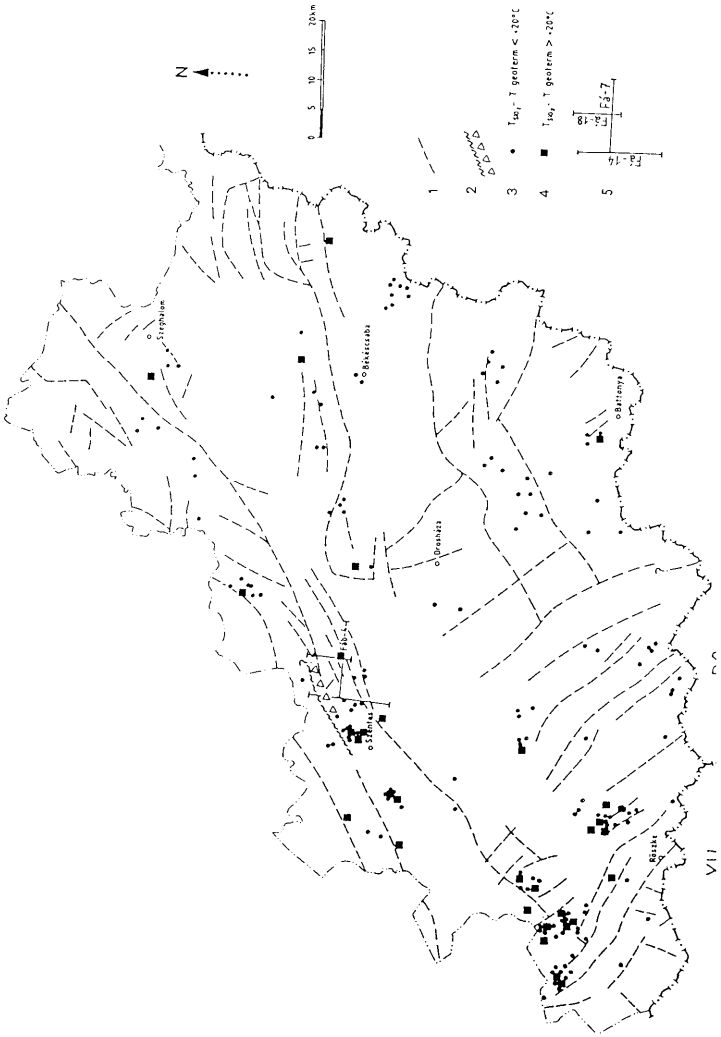
Az alkalmazott gondolatmenet és a feltételezések alkalmazásával levezetett térkép csak fenntartásokkal értelmezhető. Az 1. ábra mégis reálisnak tűnő képet mutat: magasabb entalpiájú rezervoárok a medencealjzatban a Magyarország közepén áthúzódkó ÉK—DNY-i sáv mentén, továbbá egy másik, az előbbivel párhuzamos sáv mentén, az ország DK-i részén várhatók. Ez egyezik a Pannon-medence ÉK—DNY-i fő tektonikai irányával és e tektonika helyzetével. Továbbá összecseng a szilícium-geotermométer vizsgálatokkal: egy, az ország területén eloszló, 124 mélyfúrára kiterjedő vizsgálat 20 mélyfúrásban mutatott a réteghőmérsékletnél szignifikánsan magasabb ($T_{\text{SiO}_2} - T_{\text{geo}} \geq 20$ °C) szilícium hőmérsékletet, jeléül annak, hogy e területeken nagyobb mélységből feláramló vízmigráció van. A 20 szignifikánsan magasabb szilícium-hőmérsékletű mélyfúrás közül 17 esett az előzőekben leírt módon kiválasztott medencealjzati helyekre (STEGENA, 1985a).



1. ábra. A 150 °C-nál magasabb telfőhőmérsékletű, karsztosodott/tektonizált, karbonátos medencealjzati területek Magyarországon. Ezek a területek a nagymélységi geotermikus rezervoárok potenciális helyei (pontozott részek). Vastagabb vonalak: A medencealjzat nagyszerkezeti egységeit elválasztó övek (HAAS 1987). 1: Rába-vonal. 2: Balaton-vonal. 3: Közép-magyarországi törési öv. 4: Békési vonal. A pont-vonással körülhatárolt területen (Békés és Csongrád megyében) végeztük a részletesebb vizsgálatokat (2. ábra).

Fig. 1. Karstified and/or tectonically fractured carbonate rocks in the basement of the Pannonian Basin with temperatures higher than 150 °C (dotted). These are potential areas for deep geothermal reservoirs. Thick lines show dividing zones between major structures in the basement (HAAS, 1987). 1: Rába line, 2: Balaton line, 3: Mid-Hungarian fault zone, 4: Békés line. Dotted line indicates the area of the detailed survey in SE Hungary (Fig. 2).

A nagy entalpiájú rezervoárokra vonatkozó előzetes megfontolásokat gyakorlatilag támasztotta alá egy, a medence DK-i részén mélyített fúrás (VÁNDORFI, 1987). A Fábiansbestyén község körzetében mélyített Fáb-4 fúrásból, 4000 m körüli mélységtartományból hatalmas erejű víz/gőz kitörés történt (1985. dec. 16). E kitörés elfojtása csak több hetes munkával sikerült, miközben a mélyfúrás további vizsgálatokra alkalmatlanná vált. A végzett mérések szerint a talphőmérséklet 4236 m-ben 202 °C volt; a szilíciumhőmérséklet a 3658–4239 m között megnyitott szakaszból származó vízmintából, ARNORSSON et al. (1983) képlete alapján 254 °C-nak adódott. A fúrás talpán valószínűsíthető nyomás 71 MPa volt, így a fluidum túlnyomása mintegy 30 MPa. A víz/gőz rendszer nyomás-sűrűség diagramjából (STEFANSSON és BJÖRNSSON, 1982) következően a víz a rétegekben zömmel folyadék alakban van jelen. A vizsgálatok szerint a folyadék magas sótartalmú (24–29 g/liter) és a só zömmel NaCl. A víz/gőz kitörés nagy intenzitása (5000–8500 m³-nap), valamint az, hogy az átlagos túlnyomás a kitörés időtartama során (1985 dec. 16 — 1986 jan. 31) észrevehetően nem csökkent, arra utal, hogy a rezervoár nagy méretű és izolált. A fúrás rétegsora: 0–2960 m:



pleisztocén és pliocén (pannóniai) agyagos—homokos laza üledékek, 2960—3153 m: középső miocén (bádeni) márgák, homokkövek, 3153—3750 m: felsőkréta (szenon) homokkövek, aleulitok és dolomitbreccsa, 3750—4034 m: középső triász dolomit, dolomitmárga és hidraulikus/tektonikus eredetű breccsa, 4034—4239 m: alsótriász kovás homokkő (VÁNDORFI, 1987).

A továbbiakban a mélyfúrás körzetében, 1987/88-ban végzett vizsgálatokat foglaljuk össze.

Szeizmikus vizsgálatok

A körzetben 1981 óta számos szeizmikus szelvényt mértek. Ezek reambulációja révén nagy részletességgel meg lehetett határozni a pretercier medencealjzat törészonáit (2. ábra). Az ábráról nyilvánvaló, hogy a Fáb—4 mélyfúrás jelentős, közel ÉK—DNy csapásirányú tektonikai zónába esik. E zóna feltehetőleg több száz km hosszú és néhány km széles. A szeizmikus szelvények tanúsága szerint a vetődések 4—6 km mélységig követhetők és egy jellegzetes enyhe boltozathoz kapcsolódnak. E pozitív szerkezet érdekessége az, hogy a magjában lévő alsótriász blokkok normál vetőkkel határolt árokszerű bemélyedést mutatnak, amely éppen ott a legmélyebb ahol a fedőjében lévő kréta és miocén rétegek a legjobban kiemelkednek (3. ábra) Ez úgy értelmezhető, hogy az árokszerkezet és az azt kitöltő üledékek a középső miocén során (végén?) kompressziós hatásra enyhén inerválódtak. Ilyen jellegű szerkezeti inverzió úgy alakulhat ki, hogy az egykori normálvetők mentén bizonyos mértékű ellentétes irányú elmozdulás, vagyis feltolódás történik.

A Pannon-medence neogén, extenziós fejlődési szakaszában az oldaleltolódásos vetőzónák mentén törvényszerűen kialakulnak lokális kompressziós, ún. transzpressziós szerkezetek. A Fáb—4 mélyfúrás is ilyen övben fekszik. Feltehető, hogy ezek az övek erősen repedezettek, töredeztettek és a mélybeli geotermikus rezervoárok kialakulásának kedvező területei (RUMPLER et al., 1987). Fontos további körülmény még az is, hogy a pozitív szerkezet feletti vastag, összefüggő márgaösszletben jelentős túlnyomás alakult ki, amely az alatta lévő rideg dolomitokban természetes hidraulikus rétegrepressztést idézett elő. Tárolóképeség és permeabilitás szempontjából a felsőkréta és középső triász dolomitbreccsa a legkedvezőbb, magmintákon mért 1—13% porozitással illetve rétegvizsgálat alapján kapott 68 mDarcy effektív hidraulikus vezetőképességgel.

2. ábra. A DK-magyarországi (Békés és Csongrád megyei) neogén medencealjzat törészonái és a SiO_2 -hőmérsékleti adatok. 1: Törés és neogénnél idősebb (medencealjzati) képződményekben. 2: Töredezett zóna. 3: Mélyfúrások (220 db) amelyek vízében a mért SiO_2 hőmérséklet azonos vagy alacsonyabb, mint a geotermikus hőmérséklet. 4: Mélyfúrások (31 db), amelyekben a T_{SiO_2} szignifikánsan magasabb mint a geotermikus hőmérséklet (mélyebbről feláramló vizek). 5: A 3. ábra szeizmikus szelvényeinek elhelyezkedése. Fig. 2. Faults and SiO_2 temperature data in SE Hungary (Csongrád and Békés counties). 1: Fault zone in the basement rocks. 2: Fractured zone. 3: Boreholes (220) where the SiO_2 temperature is the same or lower than the geothermal temperature. 4: Boreholes (31) with T_{SiO_2} temperature significantly higher than the geothermal temperature (indicating waters migrating from greater depths). Seismic reflection data and SiO_2 values exhibit a zone with NE strike where deep geothermal reservoirs are thought to be present. 5: Location of seismic profiles of Fig. 3.

Szilícium-hőmérős vizsgálatok

A vizsgált körzet területén (az ország DK-i része; l. az 1. ábrát), összesen 251 olyan mélyfúrás van, amelyekből SiO_2 -hőmérséklet és a vízmintavétel mélységében geotermikus (hőmérővel mért) hőmérséklet volt meghatározható. A szilícium-hőmérő alapelve, hogy a mindenütt gyakori SiO_2 telítésig oldódik a vizekben; az oldhatóság hőmérsékletfüggő és irreverzibilis: alacsonyabb hőmérsékletű helyre kerülvén az SiO_2 nem csapódik ki a vízből. A vizsgálati anyagból 151 mélyfúrásban a T_{SiO_2} nem tért el szignifikánsan a vízminta mélységében hőmérővel mért hőmérséklettől. Ezek a mélyfúrások tehát rétegvizet tartalmaznak. Egy második csoportban (69 mélyfúrás) a T_{SiO_2} szignifikánsan alacsonyabb mint a geotermikus hőmérséklet, e mélyfúrások vize feltehetőleg felszínközeli vízzel kevert víz. Végül a harmadik csoport (31 mélyfúrás) vizeinek SiO_2 hőmérséklete szignifikánsan magasabb mint a geotermikus hőmérséklet a vízminta mélységében. E mélyfúrások vize, legalább részben, nagyobb mélységből áramlott fel, és a SiO_2 hőmérséklet az eredeti, "bázishőmérsékletet" jelzi. Ez adja meg a szilícium-termometria jelentőségét a geotermikus rezervoár-kutatásban: megmutatja, hogy hol van felfelé irányuló vízmigráció, azaz hol lehet nagyobb mélységben víztartalmú rezervoár.

A DK-magyarországi körzet SiO_2 vizsgálata könnyen értelmezhető eredményt adott. A harmadik csoportba tartozó 31 mélyfúrás meglehetősen egyértelműen kijelöl egy kb. $90 \times 20 \text{ km}^2$ -es sávot, amely sáv egybeesik a szeizmikus mérésekkel meghatározott vetőzónával (2. ábra ÉNy-i pereme).

A 2. ábra szerint, a körzet DNY—D-i részén is vannak anomálsan magas SiO_2 hőmérsékletek. A medencealjzat itt is töredezett, a szeizmikusan kimutatható nyírással zónák itt is megvannak.

Az vélhető, hogy e két sávban 4—6 km mélységben töredezett mezozoós és/vagy idősebb kőzetösszegek helyezkednek el, jelentős másodlagos porozitással, amelyek valószínűleg nagy tömegű, 200—300 °C hőmérsékletű víz/gőz rendszert tartalmaznak. E vizek a töréses zónákban felefelé migrálnak és keveredve a sekélyebb vizekkel okozzák az anomális SiO_2 -hőmérséklet sávokat.

Magnetotellurikus vizsgálatok

A Fáb—4 mélyfúrás gőz/víz kitörése után a GKV magnetotellurikus mérések végzett a fúrás környezetében, Phoenix MT System típusú mérőrendszerrel. Irodalmi adatok (STANLEY et al., 1977; WRIGHT et al., 1985) szerint ugyanis geotermikus rezervoárhoz kimutatható elektromos vezetőképesség-anómália kapcsolódhat.

A mélyfúrás körzetében és a fúráson áthaladó szeizmikus szelvények mentén 28 MT szondázás történt. Az eredmények megjelenítésére vertikális és horizontális metszetet alkalmaztunk, a Bostick-transzformáció segítségével számolt fajlagos ellenállásértékek (GOLDBERG és ROTSTEIN, 1982; JONES, 1983) izovonalaival.

A Fáb—4 fúráson K—Ny illetve É—D irányában áthaladó szeizmikus szelvények mentén kapott magnetotellurikus eredményeket, valamint az 5 km mélységszintre megszerkesztett ellenállás metszetet a 4. ábra mutatja. Mind a vertikális ellenállás-szelvények, mind a horizontális metszet egyértelműen mutatja a megnövekedett vezetőképés-

ségű, mélybenyúló zónát, a geotermikus tároló közvetlen indikációjaként. Az emelt vezetőképességet véleményünk szerint elsődlegesen ionos vezetőképesség-növekedés okozza. A nagyobb vezetőképességű zóna kimutatott É—D-i irányú kiterjedése 2,5—3 km, és valószínű lehatolási mélysége 9—10 km.

Következtetések

A Fáb—4 mélyfúrás magas entalpiájú geotermikus rezervoárt tárt fel a Pannon-medence aljzatában. Az energiahordozó fluidum túlhevített sós víz, amelynek nyomása a hidrosztatikusnál jóval nagyobb. A rezervoár teljes egészében a töredezett-repedezett medencealjzatban helyezkedik el. A rezervoár töréses szerkezetét jelentős mértékben tektonikai hatások: oldaleltolódásos zónához tartozó lokális „push-up” folyamat hozta létre. Jelentős lehet a túlnyomásos márgaösszlet által generált természetes hidraulikus repedésrendszer is.

A rezervoár mind a szeizmikus, mind a szilícium-hőmérős és a magnetotellurikus mérések segítségével jól nyomozható volt. Kiterjedése néhányszor 10 km²-re tehető, és bizonyonnyal elegendő nagy lenne egy geotermikus erőmű ellátására. Feltehető, hogy a 25—30 g/l sótartalom, valamint az, hogy a mélyfúrás terméke nem száraz gőz hanem gőz/víz elegy, nem jelent megoldhatatlan nehézséget. Ezeket a problémákat a geotermikus energia-ipar sok mindenben megoldotta (UNECE 1984, OMBKE 1990). A régebbi eljárások mellett újabban a teljes fluidum porlasztott injektálását („total flow prime movers”, RILEY, 1985) és egy másodlagos, szerves folyadékot használó hőcikserélős („binary cycle”) eljárást ajánlják és használják Olaszországban, az USA-ban és Japánban. A guadeloupei Bouillante (JAUD és LAMETHE, 1985) a fábiansbestyánihez hasonló sós (27 g/l) víz/gőz rendszerből (240 °C, 20% gőz — 80% víz) termel elektromos energiát. Az oldott só mintegy 90%-a mindkét helyen NaCl, ami nem hoz létre sókiválást, szemben a Ca(HCO₃)₂-os vizekkel.

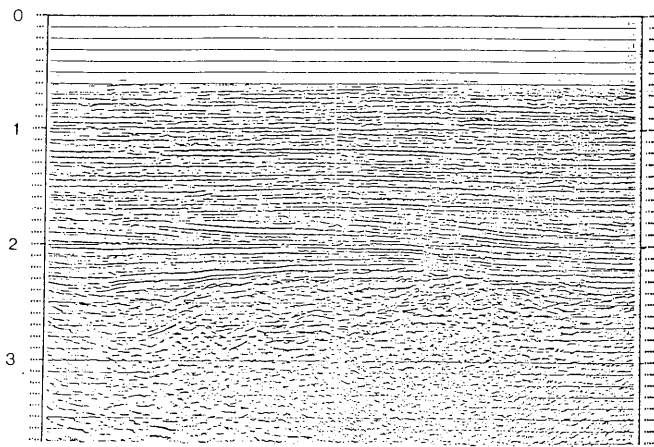
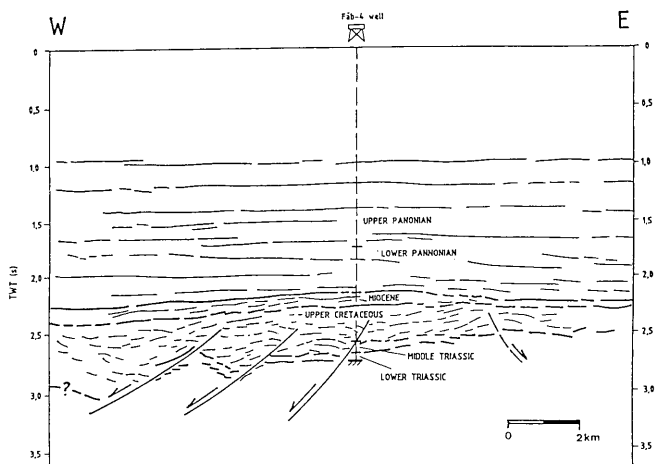
A Pannon-medence más részein feltételezhető mélybeli rezervoárok kutatására, Fábiansbestyán példáján, a szeizmikus, geokémiai és geoelektromos mérések alkalmasak. E kutatások perspektivitását újabb vizsgálatok (pl. a Nsz—3 mélyfúráson, 17 km-re a Fáb—4-től; NAGY et al., 1992) is alátámasztják.

Irodalom — References

- ALFÖLDI L., BÖCKER T. & LORBERER Á. (1977): Magyarország karbonátos-repedezett hévíztárolóinak hidrogeológiai jellemzői. [Hydrological characters of thermal water reservoirs in fractured carbonate rocks in Hungary.] In Magyarország Hévízkútjai [Thermal Wells of Hungary], Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet, Budapest, 3, 17—28. (In Hungarian)
- ARNORSSON, S., GUNNLAGSON, E. & SVAVARSSON, H. (1983): The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. — *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 567—577.
- BOBOK E., MATING B. & NAVRATIL L. (1987): Geotermikus energiakészlet-becslések összehasonlító vizsgálata. [A comparative study of geothermal energy supply estimations.] — Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság 3-8701-Et számú tanulmány [National Technology Development Committee, Report 3-8701-Et], pp. 68—79. (In Hungarian)

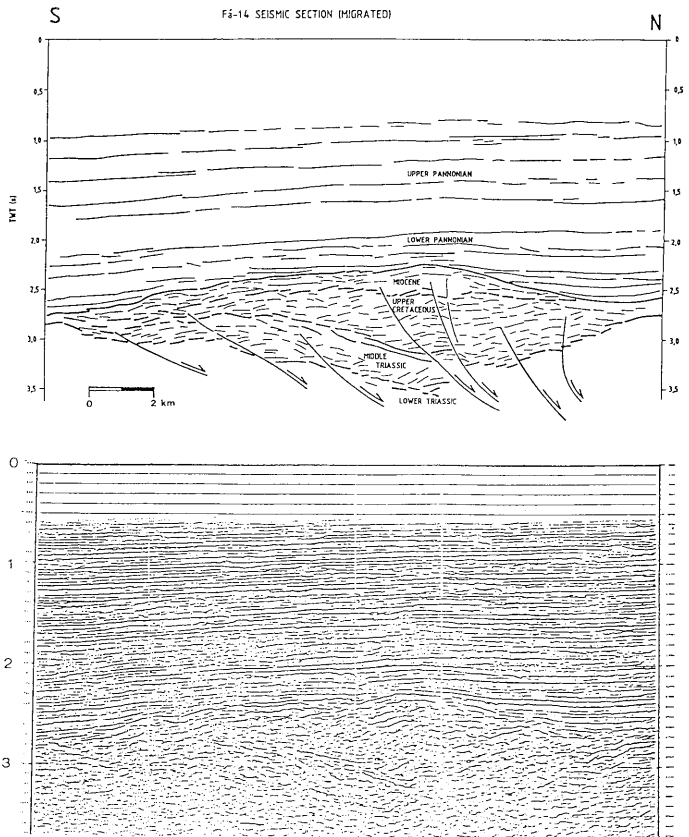
- FÜLÖP J. & DANK V. (1987): Magyarország Földtani Atlasza 2. Magyarország földtani térképe a kanozoikum elhagyásával. 1:500.000. [Geological Atlas of Hungary 2. Geological Map of Hungary, Cenozoic Formations Omitted. 1:500.000.] Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., LIEBE P., GÁLFI J. & ERKI I. (1983): Geothermal conditions of Hungary. — *Geophysical Transactions*, Budapest, 29/1, 3—114.
- GOLDBERG, S. & ROTSTEIN, Y. (1982): A simple form of presentation of magnetotelluric data using the Bostick transformation. — *Geophysical Prospecting*, 30, 211—216.
- HAAS J. (1987): Magyarország geológiai szerkezetének fő vonásai. [Outline of the structural geology of Hungary.] *In* Az Alföld medencealjának szerkezetfejlődése. [Structural Evolution of the basement of the Great Hungarian Plain.] MTA Szegedi Akadémiai Bizottság, Szeged, pp. 9—16. (In Hungarian)
- JAUD, P. & LAMETHE, D. (1985): The Bouillante geothermal power-plant, Guadeloupe. — *Geothermics*, 14/2—3, 197—205.
- JONES, A.G. (1983): On the equivalence of the Niblett and Bostick transformations in the magnetotelluric method. — *Journal of Geophysics*, 53, 72—73.
- KILÉNYI É. & RUMPLER J., (eds.) (1984): Pre-Tertiary basement relief map of Hungary 1:1.000.000. — *Geophysical Transactions*, Budapest, 30/4, 425—428 (with colour map supplement).
- NAGY Z., LANDY L., PAP S. & RUMPLER J. (1992): Results of magnetotelluric exploration for geothermal reservoirs in Hungary. — *Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica Hungarica* 27/1, 87—101, Budapest.
- OMBKE [Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület] (1990): 21. vándorgyűlés, Balatonszéplak, D szekció (Geotermikus Energia) anyaga. [National Hungarian Mining and Metallurgy Society, 21st Itinerary Conference, Balatonszéplak. Materials of Section D (Geothermal Energy.) Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest.
- OTTLIK P., GÁLFI J., HORVÁTH F., KORIM K. & STEGENA L. (1981): The low enthalpy geothermal resource of the Pannonian basin, Hungary. *In* RYBACH L., MUFFLER L.Y.P. (eds.): *Geothermal Systems: Principles and Case Histories*. John Wiley and Sons, Chichester, 201—245.
- RUMPLER J. (témafelelős), DEÁK J., DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., KONCZ I., KURUCZ B., NEMESI L., STEGENA L., TÓTH Gy. & VÖLGYI L. (1987): Nagymélységű, magas entalpiájú geotermikus rezervoárok kutatási lehetőségeinek vizsgálata. [Research for deep-seated high-enthalpy geothermal reservoirs in Hungary.] Központi Földtani Hivatal, 201/86 számú tanulmány. [Central Geological Office, Report 201/86.] (In Hungarian)
- RYLEY D.J. (1985): A critical appraisal of some aspects of the analysis of the wet steam nozzle as used in total flow machines. *Geothermics*, 14/2—3, 435—447.
- STANLEY, W.D., BOEHL, J.E., BOSTICK, F.X. & SMITH, H.W. (1977): Geothermal significance of magnetotelluric sounding in the Eastern Snake River, Plain-Yellowstone Region. — *Journal of Geophysical Research*, 82/17, 2501—2514.
- STEFANSSON, V. & BJÖRNSSON, S. (1982): Physical aspects of hydrothermal systems. *In* PALMASSON G. (ed.): *Continental and Oceanic Rifts*. American Geophysical Union, *Geodynamics Series* 8, 8—18.
- STEGENA L. (1985a): Application of silica-geothermometry in Hungary. *In* OMBKE [National Hungarian Mining and Metallurgy Society] 19th Petroleum Itinerary Conference, Budapest, pp. 212—216.
- STEGENA L. (1985b): On the subterranean hydraulics of closed basins. *In* ROMIN, E. (ed.): *Geothermics, Thermal-mineral Waters and Hydrogeology*. Theophrastus, Athens, 59—69.
- STEGENA L. (1986): Nagymélységű geotermikus rezervoárok a Pannon-medencében. [Deep-seated geothermal reservoirs in the Pannonian Basin.] Előadás a Magyar Geofizikusok Egyesülete 1986. április 17.-i ülésén. [Lecture before the Hungarian Association of Geophysicists on April 17, 1986]
- STEGENA L. (1991): Hasznosítható-e a geotermikus energia Magyarországon? [Is geothermal energy suitable for utilization in Hungary?] *Magyar Tudomány*, 36/7, 892—894, Budapest. (In Hungarian)
- UNECE (1984): Utilization of geothermal energy for electric power production and space heating. Seminar in Florenz. — *Geothermics*, 1985/3—4, Special Issue.
- VÁNDORFI R. (szerk.) (1987): A fábiansbestyéni gőzkítőrés műszaki-gazdasági értékelése, a hasznosítás lehetőségei. [Technical-economic evaluation of the vapour-outburst at Fábiansbestyén-4.] Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság tanulmány [National Technology Development Committee, Report] 3-8701-Et, 52 p., Budapest. (In Hungarian)
- WRIGHT, Ph.M., STANLEY, H.W., ROSSAND, H.P. & WEST, R.C. (1985): State of the art geophysical exploration for geothermal resources. *Geophysics*, 50/12, 2666—2699.

FÁ-7 SEISMIC SECTION (MIGRATED)



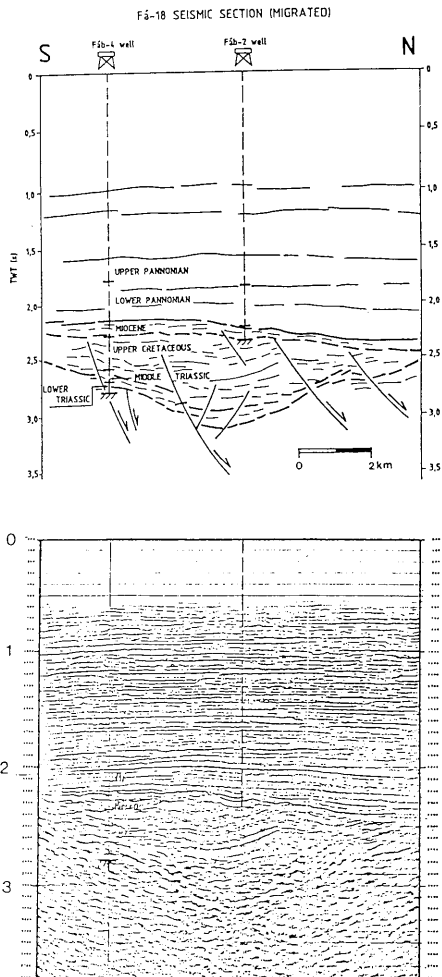
3a-c. ábra. Fábíánsebestyéni szeizmikus szelvények (Fá-7, Fá-14, Fá-18) transzpressziós (push up) töredezett szerkezetekkel. Ezek a nagymélységű geotermikus rezervoárok valószínű helyei.

Figs. 3a-c. Seismic sections at Fábíánsebestyén (Fá-7, Fá-14, Fá-18) showing fragmented push-up structures where geothermal reservoirs are probably present.

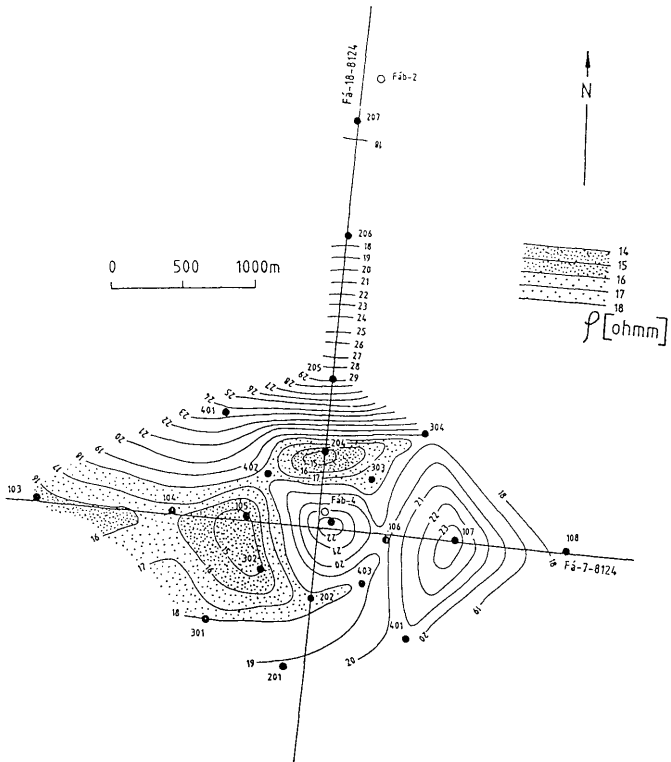


3b. ábra. Aláírás a 203. oldalon.

Fig. 3b. Caption on p. 203.



3c. ábra. Aláírás a 203. oldalon.
 Fig. 3c. Caption on p. 203.



4a. ábra. Magnetotellurikus mérési pontok (101-404) valamint a mérésekből meghatározott Bostick-transzformált fajlagos ellenállások (5-30 Ω) a Fáb-4 mélyfúrás környékén. A fajlagos ellenállások izovonalai 5 km mélységben. A Fáb-4 mélyfúrás közelében megnövekedett vezetőképességű, mélybe nyúló zóna jelentkezik, valószínűleg a geotermikus rezervoár indikációjaként.

Fig. 4a. Magnetotelluric sounding points (101-404) and Bostick-transformed resistivity values (5-30 Ω) around Fáb-4 borehole. Resistivity isolines in 5 km depth. In the vicinity of Fáb-4 borehole a high conductivity, deep zone indicates a geothermal reservoir, in all probability.

N



Fáb-4



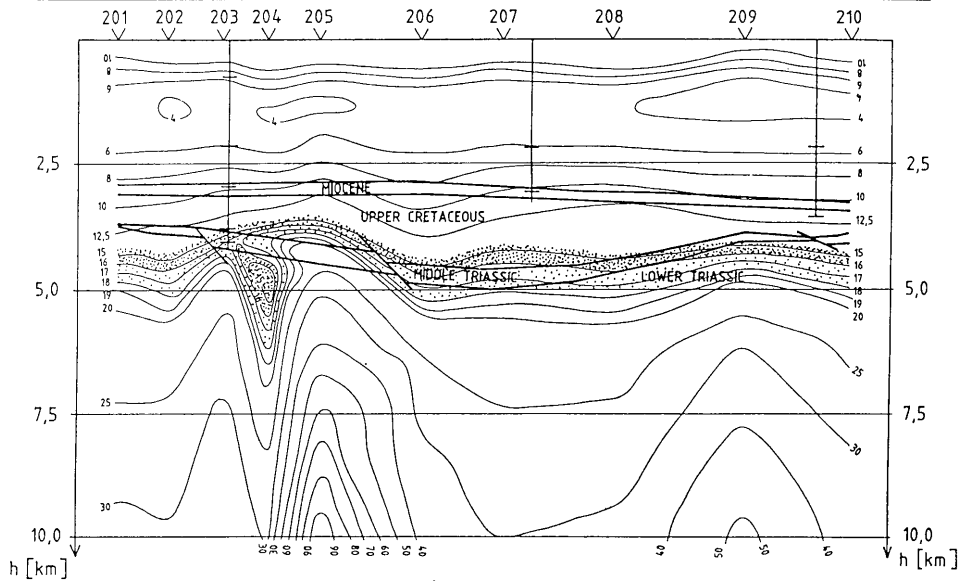
Fáb-2



Fáb-3

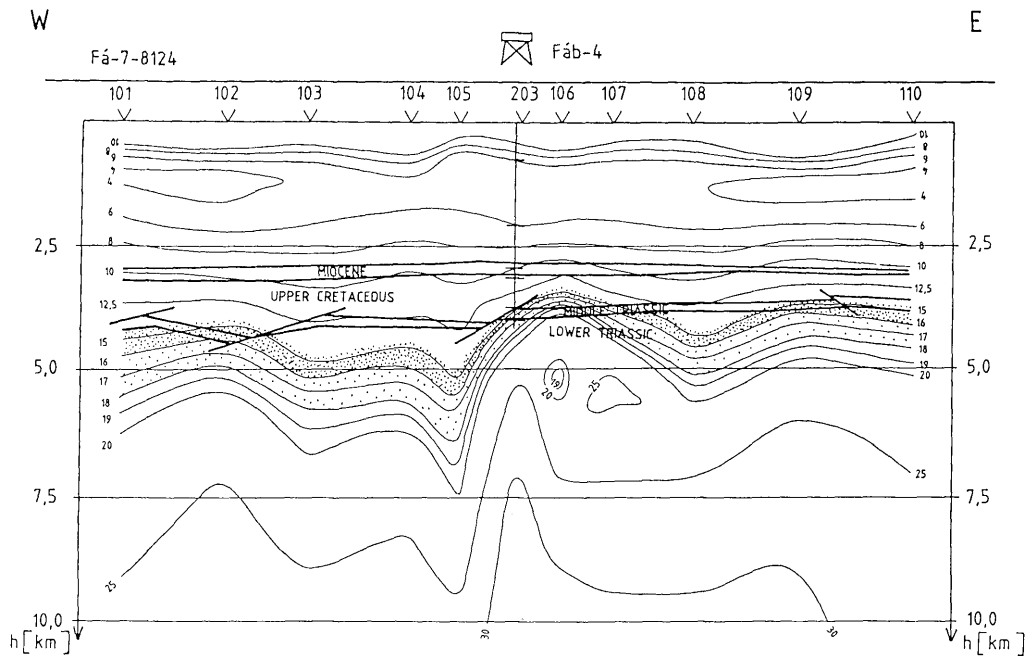
S

Fáb-18-8124



4b. ábra. A fajlagos ellenállás izovonalai az É—D-i szeizmikus vonal mentén. Jelmagyarázat a 4a. ábrán.

Fig. 4b. Resistivity isolines along the N—S seismic line. For explanations see Fig. 4a.



4c. ábra. A fajlagos ellenállás izovonalai a Ny-K-i szeizmikus vonal mentén. Jelmagyarázat a 4a. ábrán.
 Fig. 4c. Resistivity isolines along the W-E seismic line. For explanation see Fig. 4a.