

Results of deep geophysical survey within the framework of the DANREG project

László NEMESI^{*}, Ján ŠEFARA^{**}, Géza VARGA^{*}, Sándor KOVÁCSVÖLGYI^{*}

The Geophysics Team of the DANREG project has constructed the contour map of the base Pannonian for Hungarian and Slovak territories using new measurements and reprocessed earlier measurements. The contour map of the pre-Tertiary basement has been made more correct based on new seismic and telluric-magnetotelluric surveys. In magnetotellurics new results have been achieved by investigating the two major structural lines of the region: the Rába-Hurbanovo-Diós-jenő and the Mur-Mürz lines.

From integrated interpretation of gravity, magnetic, magnetotelluric and seismic surveys the conclusion has been drawn that the gravity and magnetic anomalies in the 8 km deep Neogene basin lying between Bratislava and Győr having their source within the basement can be explained by thinning of the crust, and by elevation of the mantle and the asthenosphere (mantle plume).

Keywords: mantle, asthenosphere, seismics, magnetotellurics, magnetics, gravity, DANREG

1. Geophysical results concerning the thickness of the Pannonian and lithofacies issues

Formations of Pannonian age can be found primarily in the large basin between Bratislava and Komárom, and in the Vienna Basin. Reflection seismic measurements played a decisive role in the investigation of the basins; such surveys were performed everywhere, although with different line

* Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI),
H-1145 Budapest, Kolombusz u. 17-23, Hungary

** Comenius University, 84215 Bratislava, Mlynská dolina, pav. 6. Slovakia

density. (Unfortunately, we have not received seismic material from the Austrian territory, therefore we can discuss in detail only the Slovak and Hungarian territories.) The most important thing is to point out that the strongest reflections which can unambiguously be traced on the time sections as well were obtained from the layer underlying the Pannonian series within the basins. Thus, one of the most reliable results of geophysical investigations is the depth map to the bottom of the Pannonian sequence (*Fig. 1*).

The Slovak and Hungarian maps — although based on measurements performed at different times, with different instruments, with different line density, and though the processing methods were also different — fitted perfectly along the border, in spite of the fact that the depth to this horizon is zero at the edges of the basin (e.g. at Bratislava or Tata), but exceeds even the 5 000 m in the central basin (at Gabčíkovo).

To construct the map the seismic measurements of Geofyzika Brno were used in Slovak territory. VVNP expert HRUŠECKÝ constructed the map from the up-to-date reprocessed versions of sections [HRUŠECKÝ et al. 1993]. The seismic material in Hungarian territory comes from the measurements of the Hungarian oil industry (GKV) and partly from the measurements of ELGI. At the beginning of the DANREG project the map constructed by the GEOS group which combined the results of the two Hungarian institutions was available. This was modified in the deepest part of the basin based on the most recent measurements of ELGI performed in the framework of the Kisalföld and DANREG projects, using the results of PÁPA, HERCZEG and SZEIDOVITZ.

Determination of the thickness of the layers overlying the Pannonian is by no means unambiguous. Although the 5 000 m thick sedimentary sequence is rich in reflections neither the bottom of the Quaternary nor the boundary between the Pliocene and Pannonian (between the Lower and Upper Pannonian according to others) is a characteristic horizon for any geophysical method. This is probably due to the continuous sediment deposition. Geoelectric measurements revealed a monotonous decrease in resistivity downwards which suggests a general downward decreasing trend in the grain size. (This is also clearly demonstrated by the magnetotelluric measurements shown in *Fig. 2*). Thus, we ventured to determine the thickness of the overlayers only along some profiles; these were handed over to the Geological Working Group as working material.

It is mentioned for the sake of interest that the resistivity of the complete Neogene sedimentary sequence, and particularly of the Pannonian forma-

tions, is about two times higher in one of the largest and deepest basins of the Carpathian Basin than the usual value in the other sub-basins. It is interesting to connect this with the fact that here hydrocarbon exploration did not bring outstanding results. The higher resistivity reflects either a grain size not fine enough for hydrocarbon generation or the sediments are more cemented and this is an obstacle to migration or there is no really impermeable layer which is a prerequisite of trapping after migration.

2. Geophysical results in tectonic studies

Tectonic maps are, of course, based on surface observations, aerial and satellite images, well data and results of geophysical surveys. Compilers of the DANREG tectonic maps used all these kinds of information. They examined all utilizable seismic profiles from the region, and carefully studied the fractures in the basement and the 'flower structures' within the sediments. Because no data are available in the deep basins attempts were made, for example, at drawing tectonic conclusions from the gravity data available everywhere. The filtered maps, gradient maps and the so-called lineament maps can be used for that. A dozen versions of these maps were constructed because effects caused by sources at different depths and of different lateral dimension, sometimes not by tectonic features but simply by changes, say, in rock density can be enhanced by different filters. There are, however, tectonic features which are clearly reflected already in the Bouguer anomaly map, by reduced isoline separation, e.g. the Hurbanovo-line. In Figure 9 of the chapter on gravity [ŠEFARA, SZABÓ present issue] that version of the lineament map series is shown which enhances those variations of the gravity field showing the closest correlation with different verifiable geological and geophysical data and can be interpreted as effects caused by faults and structural lines. This map should be considered as an extension of reliable information from certain areas to less reliable, less known areas.

One of the most significant results of geophysical surveys is the Rába-Hurbanovo-Diósjenő line detected by the magnetotelluric method. This result is of special interest because the geological literature has been dealing with the question of the Rába-line only since 1949 [SCHEFFER 1965]. Sometimes it was mentioned as the most significant structural line of the region, sometimes as a mistake and therefore does not exist. Different ideas were elaborated about its location if it did, indeed, exist, and there were

different ideas about its continuation on Slovak territory. The existence of the Rába-line was confirmed by the magnetotelluric measurements of the last one and half decades, its location was determined; measurements carried out in the framework of the DANREG project in the last five years demonstrated that the Rába-line continues in the Hurbanovo-line in Slovak territory, then in the so-called Diósjenő dislocation zone (Fig. 2). The magnetotelluric measurements revealed the differences primarily in the basement formations at two sides of the line. At the S, SE side of the line, where the Transdanubian Central Range can also be found, a geoelectric layer of $1-3 \Omega\text{m}$ was detected within the basement at a depth of 4–10 km. The two areas can unambiguously be distinguished even by qualitative analysis of the sounding curves measured N and S of the line because the curves are strikingly different (Fig. 3). The low resistivity of this deep layer can be explained in different ways (lithologic, petrologic or hydrochemical origin), its presence remains a basic fact and demonstrates the boundary nature of the line within the basement. The magnetotelluric measurements keep the Rába–Hurbanovo–Diósjenő line

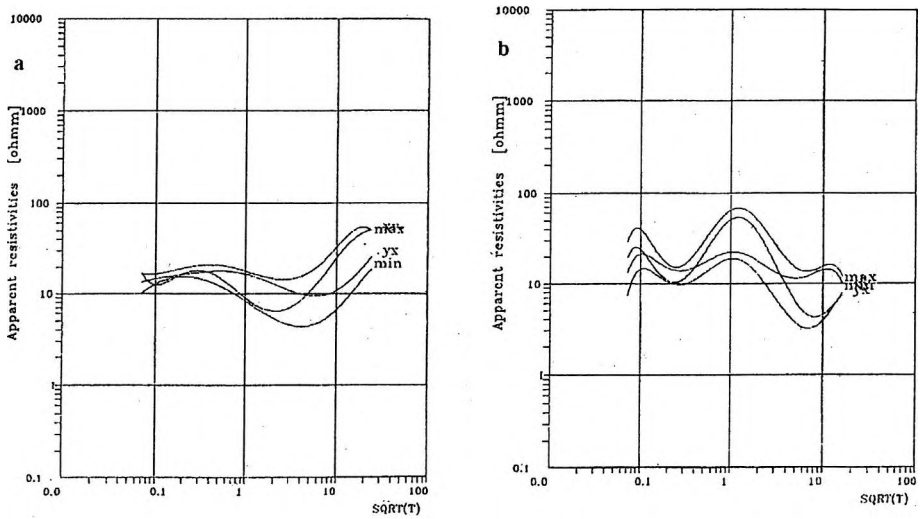


Fig. 3. Characteristic magnetotelluric sounding curves from two sides of the Rába–Hurbanovo line. a) station SDU3–7 can be found on the northern; b) station SDU3–4 on the southern side of the line

3. ábra. Jelleztes magnetotellurikus szondázási görbék a Rába–Hurbanovo vonal két oldaláról. a) SDU3–7 állomás az északi; b) SDU3–4 állomás a déli oldalról

within a 4–6 km zone along a length of almost 250 km. The plane of the fault cannot be determined from the measurements but this striking difference between the two sides of the line suggests a strike-slip structure rather than an overthrust.

Seismic characteristics of the Rába-line were studied by KILÉNYI et al. [1991]. They described significant differences in the reflection image of the basement, in the dip of the basement reflections, and how the reflections can be traced. On the other hand, it is interesting that so-called flower structures reflecting tectonic movements can be found on the S side of the Rába-line in the Neogene sediments while on the N side the seismic image suggests a more or less undisturbed layering.

The paleomagnetic surveys are also worth mentioning [MÁRTON 1990]. According to these the Transdanubian Central Range unit got into its present place after significant strike-slip and rotation before the Neogene period and this unit might belong to the African plate. The N side, with completely different paleomagnetic directions is part of the Indo-European plate.

Any of the theories might be true but it is certain that the geophysical measurements unambiguously detected the Rába–Hurbanovo–Diósjenő line based on different physical parameters.

Magnetotelluric investigation of the Vienna basin

Measurements financed by the Austrian GBA were carried out in the last year of the DANREG project, which joined the Hungarian section of the magnetotelluric profile K-1 and traversed the Vienna basin. The measurements provided interesting data about the depth of the basin, resistivity of the sediments and the bedrock but these meant no substantial novelty compared with the previous knowledge. It is worth mentioning, however, that approaching the Bohemian Massif the Upper Cretaceous–Paleocene flysch is much closer to the Neogene formations bearing in mind its physical parameters (similarly to the situation in the Carpathian basin) than to the Mesozoic–Paleozoic rocks of the pre-Tertiary basement. But the magnetotelluric image of the Mur–Mürz line is even more interesting. We can see not only sharp changes in the depth of the basin and physical parameters of the sediments along the magnetotelluric profile at this line (at the Danube) but a typical subduction zone was revealed as well. The conductor which appears close to the basement in the vicinity of the Danube gets deeper southeastward. We could trace this conductor for about 20 km down to a depth of several tens

of kilometres (*Figs. 2 and 4*). The phenomenon can be explained as the southeastward subsidence of the oceanic plate, the Mesozoic basement of the Vienna basin below the continental plate with crystalline basement.

We are aware of the different opinions about the type, nature and mechanism of genesis (subduction, strike-slip or combination of these) of these two significant tectonic lines, viz. the Rába–Hurbanovo–Dósjenő and Mur–Mürz lines. According to the magnetotelluric measurements the geoelectric images of these lines are completely different. Along the Rába–Hurbanovo–Dósjenő line the sediments seem to be uniform from the surface down to the bottom of the Neogene at the two sides of the line, flower structures might appear in the Neogene–Pliocene sequence only. The layers within the basement, their dip and resistivity are entirely different. Evidence of subsidence of any of the microplates, however, cannot be seen. (This suggests strike-slip.)

In addition to the deep structure suggesting typical subduction at the Mur–Mürz line it is obvious that (at the crossing of our profile and the Danube) the thickness of the Pleistocene coarse-grained gravel is several hundred metres on the left bank (based on the resistivity distribution), whereas on the right bank of the Danube this layer is either completely missing or its thickness is insignificant.

In our opinion the above facts should be taken into consideration in creating different theories independently of the idea finally accepted by the tectonics experts.

3. Investigation of the pre-Tertiary basement

The basement of the Neogene basins is one of the geophysically best detectable horizons in the Carpathian basin and in the Vienna basin after the formations underlying the Pannonian because there is a significant difference between the physical parameters of the basement and non-metamorphic young sediments. In spite of this almost every geophysical method encountered difficulties in the area of the large central Danube–Rába basin. It has been shown that gravity and magnetic anomalies are caused by sources within the basement or crust. The frequency range of telluric measurements was sometimes too high because of the unexpected great depths. Dynamite seismics struggled with drilling difficulties due to the gravel deposit of the Danube, the great depth caused lack of energy for the vibroseis method.

Finally, all methods encountered interpretation problems because no wells penetrated the basement and therefore none of the geophysical horizons could be identified as basement. This problem appeared, however, only in the regions deeper than 6 000 m. The map shown in *Fig. 5* is based primarily on the seismic measurements, in addition to well data. The basis of the depth map of *Fig. 5* is the the 'Pre-Tertiary Basement Contour Map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary' constructed by KILÉNYI, ŠEFARA, SUTORA, BIELIK, KRÖLL, STEINHAUSER, WEBER, PINTÉR and SZABÓ using the results of ÖMV, Geofyzika Brno, SLOVNAFT, OKGT and ELGI, and well data [KILÉNYI et al. 1991]. Just because of the above mentioned problems of the deepest basin parts HRUŠECKÝ and ŠEFARA constructed new map parts from up-to-date reprocessing of earlier measurements; in Hungarian territory NEMESI and SZEIDOVITZ modified the existing map based on new telluric, magnetotelluric and seismic measurements (*Fig. 5*).

4. About the internal structure of the basement (crust)

Geophysical textbooks and standard geophysical knowledge explain the gravity and magnetic anomalies by thickening of the young low density basin sediments, by basement structures or buried volcanic masses; these are the most obvious explanations.

In this situation it is enough to look at the Bouguer anomaly or magnetic ΔT anomaly map and at the contour map of the pre-Tertiary basement to recognize that these standard interpretations cannot be applied here. The Bouguer minimum of the Vienna basin suggests a much larger mass deficiency than that of the large Danube-Rába basin between Bratislava and Győr, though the depth to the basement is 5 000 m in the first, and 8 000 m in the latter one. We look in vain for similar features like the intensive magnetic anomalies of the central basin in the gravity or basement contour map, there is no correlation between them. And we look in vain for the volcanites in the reflection image of the most up-to-date seismic section K-1 (*Fig. 6*), those certainly do not exist down to a depth of 8 000 m in the deepest part of the basin. These facts have led us to search for other explanations for the phenomena. Recent calculations with different geophysical methods and joint interpretation of the results found the explanation in crustal structures and phenomena probably suggesting a mantle plume.

The starting point of our studies was that there is a series of maxima in both the magnetic and stripped gravity maps that follows the curve of the Rába–Hurbanovo line; the sources of these maxima certainly lie below the surface of the pre-Tertiary basement. These sources can be found in the area marked 'II' along the deep seismic profile K-1 measured between Bratislava and Győr and shown in Fig. 6. In this section there are no reflections within the crust, the Mohorovičić discontinuity cannot be seen but before the reflections disappear there are signs suggesting an upward trend in the horizons.

Finally, it is necessary to point out that the existence of a crust–mantle anomaly in the central Danube basin is obvious; in the Vienna basin anomalies of varying intensity can be obtained depending on the density parameters and these anomalies are negligible compared to the previous ones. Thus, the existence of a mantle plume is unlikely here.

After that, gravity modelling was performed using the MAGIX program (INTERPEX Ltd.). In Figs. 7 and 8 modelling of the straightened seismic profile K-1, running between Bratislava and Győr, is shown. The difference between the two figures is that one of them represents the elevation of the lower crust and mantle with a step-like structure, while the other one with a continuous transition. The density model is based on published data, the density of the 'upper granitic crust' is 2.7 t/m^3 , the density of the 'lower basaltic crust' is 0.3 t/m^3 , that of the upper mantle is 0.5 t/m^3 higher. Results of modelling correlate closely with the seismic section. In its northern half, N of the crust–mantle structure the Mohorovičić discontinuity can clearly be seen (Fig. 6). Thus, here we have data for the thickness of the crust as well. It can also be seen on the section that in its northern part reflections were obtained from the crust, while in its other half, as far as the Rába-line where the source of the gravity anomaly is located the seismic image is free of reflections. (It is mentioned that although they cannot be seen in the figure we have numerous seismic sections which show that S of the southern edge of the source — i.e. S of the Rába-line — there are reflecting horizons again within the basement.)

This kind of gravity interpretation is supported by the seismic image and interpretation. It correlates also with the magnetotelluric results; the depth to the bottom of the Neogene is about 8 km and the depth to the gravity source is 10 km.

Sources of the magnetic anomalies should be searched for within the basement. Seismic and magnetotelluric measurements absolutely preclude the

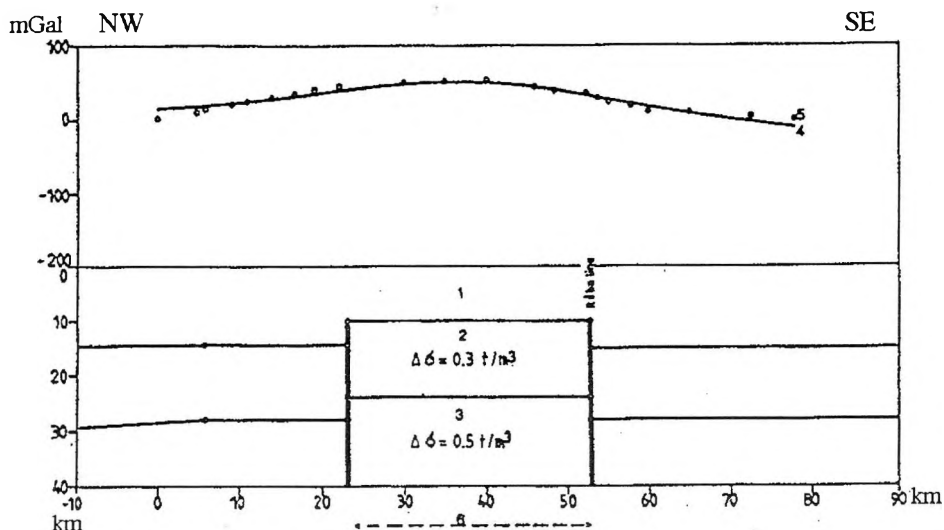


Fig. 7. Gravity model calculation along the seismic profile K-1 (for suddenly descending model). 1—granite layer of basement and crust; 2—basalt layer of crust (its density is 0.3 t/m^3 higher than that of the basement); 3—mantle (its density is 0.5 t/m^3 higher than that of the basement); 4—Bouguer anomaly without the effect of the Neogene basement; 5—calculated Bouguer effect of the crust-mantle elevation in the model

7. ábra. Gravitációs hatákszámítás a K-1 jelű szeizmikus szelvény metszetében (hirtelen mélyülő modellel). 1—az alaphegység és a kéreg gránit rétege; 2—a kéreg bazalt rétege (amelynek sűrűsége $0,3 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 3—a földköpeny (amelynek sűrűsége $0,5 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 4—a neogén medence hatásától megtisztított Bouguer-anomália érték; 5—a kéreg köpeny kiemelkedés számított Bouguer hatása modellünkből

possibility of sources within the sedimentary sequence. This holds true for the sources of the anomalies of larger extent and amplitude even if some wells penetrated Miocene andesite below the Pannonian sequence, e.g. close to the Rába; and smaller Pliocene basalt bodies can be found on the surface too. After that it was obvious that one should assume a common interpretation and identical sources of the gravity and magnetic anomalies. This has, however, partly failed. It can only be said that the location of the magnetic anomalies coincides with that of the gravity anomalies, but they can sometimes be found in the middle, sometimes at one of the edges of the gravity source; sometimes in the fault zone bordering the gravity source, sometimes between two fault lines (borders). If we consider the conclusions drawn from

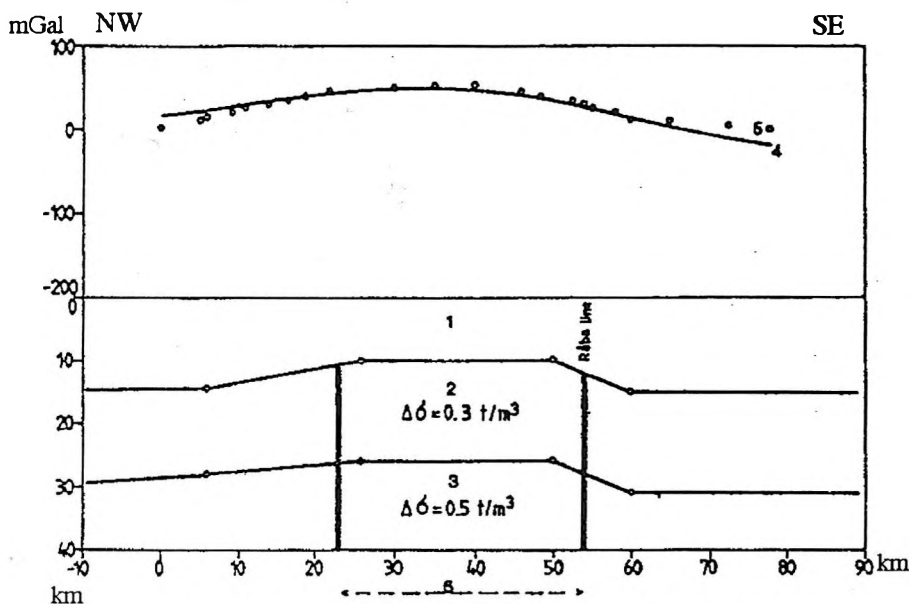


Fig. 8. Gravity model calculation along the seismic profile K-1 (for slowly descending model).

1—granite layer of basement and crust; 2—basalt layer of crust (its density is 0.3 t/m^3 higher than that of the basement); 3—mantle (its density is 0.5 t/m^3 higher than that of the basement); 4—Bouguer anomaly without the effect of the Neogene basement; 5—calculated Bouguer effect of the crust-mantle elevation in the model

8. ábra. Gravitációs hatákszámítás a K-1 jelű szeizmikus szelvény metszetében (lassan mélyülő modellre). 1—az alaphegység és a kéreg gránit rétege; 2—a kéreg bazalt rétege (amelynek sűrűsége $0,3 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 3—a földköpeny (amelynek sűrűsége $0,5 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 4—a neogén medence hatásától megtisztított Bouguer-anomália érték; 5—a kéreg köpeny kiemelkedés számított Bouguer hatása modellünkből

the magnetic measurements alone then due to the ambiguity of the inversion the magnetic body can be placed equally within the sedimentary sequence, at the depth of the basement or even deeper, using either the oldest or the most up-to-date inversion techniques. If we take into account the depth and geothermal conditions of the basin, a Curie temperature of $578 \text{ }^\circ\text{C}$ can be expected at depths between 10 and 25 km. As sources of the intensive anomalies bodies with a susceptibility of $3\text{--}7 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$, with significant extension but with a density not higher than 2.7 t/m^3 can be imagined (because such bodies do not cause gravity anomalies) whose upper surface lies close to the basement. Thus, finally a magnetic interpretation can be found which is not in contradiction with other data. These magnetic bodies can be assumed as low density (2.7 t/m^3) andesitic or basaltic bodies intruding upwards (not

higher than up to the bottom of the sediments) from the melt mantle plume along the weakened zones.

One of the authors (ŠEFARA) attempted to summarize these ideas and constructed a model based on all investigations performed up to now and aimed at determining the structure of the crust and mantle beneath the Danube–Rába basin which is in harmony with each result (*Fig. 9*).

The results used are taken from:

IBRMAJER et al. [in BUCHA et al. 1994], HRUŠECKÝ et al. [1993] for seismics;

ČERV et al. [in BUCHA et al. 1994], VARGA et al. [1993] for magnetotellurics;

BABUSKA et al. [in BUCHA et al. 1994], HORVÁTH [1993] for seismology;

POSGAY et al. [1989], HORVÁTH [1993], ŠEFARA et al. [in press] for the Mohorovičić discontinuity

The profile has been chosen to comprise all problematic features of the stripped map, including the Gabčíkovo magnetic anomaly. The density distribution is derived from different observations, especially from velocity sections with perpendicular sections necessary to estimate the velocity anisotropy. At the surface we take into consideration direct density measurements if pre-Tertiary rocks outcrop. Density distribution of deep structures is the continuation of the PREM model applied to the given area and accepting the increase in density towards the Earth's core. Asthenospheric masses in which a decrease in density due to partial melting can be supposed are exceptions.

Features of anomalies, especially the seismic and magnetotelluric image, show updoming or uproofing in the central part of the Danube–Rába basin. The Mohorovičić discontinuity has a similar vaulted shape. Detection of very low resistivity inhomogeneity within the Mohorovičić basement [ČERV et al. [in BUCHA et al. 1994, VARGA 1992] made the model more complicated. Its character might suggest relicts of partially melted masses, most probably in the form of outlet paths of geothermal energy by convection (see the form of the Curie isotherm). Another medium of the heat outlet could be the young uncontaminated basalt as was shown in the area of the Lučenec basin [ŠEFARA et al. in press].

Other anomalies in the stripped map, especially the Kolárovo gravity anomaly, are interpreted as a high density mass outlet of lower crust origin.

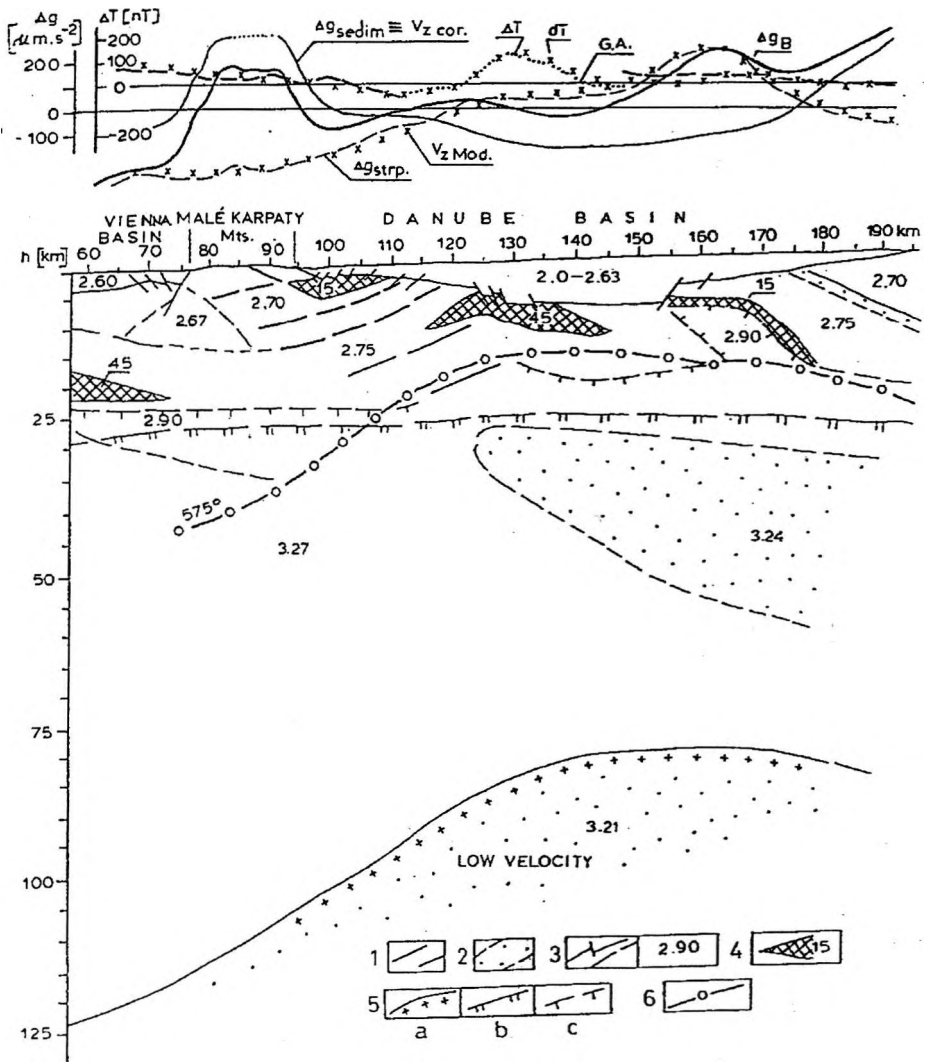


Fig. 9. Schematic integrated geophysical model of deep seated structures in the Danube-Rába basin. Explanations: $\Delta g_{\text{sedim}} = V_z \text{ cor.}$ —gravity effect of the Tertiary sedimentary layers, as a correction to the Bouguer anomaly (Δg_B), leads to the stripped gravity map ($\Delta g_{\text{strp.}}$); $V_z \text{ Mod.}$ —gravity effect of the deep seated models; ΔT —measured and dT —calculated magnetic anomaly; G.A.—Gábčíkovo anomaly incorporated into the model from the side (see Fig.3). Legend: 1—seismic results (reflection boundaries); 2—very low resistivity layers from MT; 3—density model (densities in g/cm^3); 4—magnetic model (units in 10^{-3} SI); 5—boundaries; a: lithosphere-asthenosphere; b: upper mantle-lower crust (Mohorovičić discontinuity); c: lower crust-upper crust; 6—Curie isotherm in $^{\circ}\text{C}$

A possible explanation for the Gabčíkovo magnetic anomaly could be an ongoing recent metamorphism outreaching to the sedimentary filling, represented by increased resistivities downward from about 5 km, especially in the area of higher temperature. The reason for this explanation is the high susceptibility of the source and the lack of comparability of seismic and magnetotelluric results. In this case the magnetic body would have higher susceptibility due to the high temperature close to the Curie point and it would belong to one of the lower tectonic units of the Alp-Carpathian tectonic system.

LITERATURE

- ÁDÁM A., NAGY Z., NEMESI L., VARGA G. 1990: Crustal conductivity anomalies in the Pannonian basin. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, **25**, 34, pp. 279–290
- BALLA Z. 1984: The Carpathian loop and the Pannonian basin: a kinematic analysis. *Geophysical Transactions*, **30**, pp. 313–353
- BALLA Z., DUDKO A., KÖVESI G. 1990: The Rába line and the interpretation of gravity anomalies along seismic profile MK–1. Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1988–89, pp.19–47
- BIEĽIA A. 1978: Regional geology. (in Slovak) Západných Kárpát. Bratislava, pp. 212–224
- BUCHA V., BLIŽKOVSKÝ M., BURDA M., KRS M., SUK M., ŠEFARA J. 1994: Crustal structure of the Bohemian Massif and the West Carpathians. Praha-Heidelberg, 355 p.
- ČERV V., PEK J. 1987: Interpretation of magnetotelluric measurements in southeastern Moravia. *Travaux Geophysiques XXXV*, **625**, pp.125–156
- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, (Amsterdam) **226**, pp. 333–357

9. ábra. A Duna–Rába medence mélyszerkezetének vázlatos komplex geofizikai modellje.

Jelmagyarázat: $\Delta g_{sedim.} = V_{zcor.}$ —a harmadkori üledékes rétegek gravitációs hatása, amelyet korrekcióként alkalmazva a Bouguer-anomáliára (Δg_B) kapjuk az üledékhatástól megtisztított gravitációs térképet (Δg_{strp}); V_{zmod} —a nagymélységű modellek gravitációs hatása; ΔT —mért és dT —számított mágneses anomália; G.A.—oldalirányból a modellbe beépített gabčíkovoí anomália (ld. 3. ábra);

1—szeizmikus eredmények (reflexiós határok); 2—nagyon kis ellenállású rétegek MT-ből; 3—sűrűségmodell (sűrűségértékek g/cm^3 -ben); 4—mágneses modell (egységek 10^{-3} SI-ben); 5—határfelületek: a: litoszféra–asztenoszféra; b: felső köpeny–alsó kéreg (Mohorovičić határfelület); c: alsó kéreg–felső kéreg; 6—Curie-izoterma °C-ban

- HRUŠECKÝ I., PERESZLÉNYI M., HÓK J., ŠEFARA J., VASS D. 1993: Geological structure of the Danube basin in the light of new and reinterpreted old geophysical data. (in Slovak) *In*: RAKÚS M. and VOZÁR J. (eds.): Geodynamic model and deep structure of Western Carpathians. Bratislava, pp. 291–296
- KILÉNYI É., KRÖLL A., OBERNAUER D., ŠEFARA J., STEINHAUSER P., SZABÓ Z., WESSELY G. 1991: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36, 1–2, pp. 15–36
- MÁRTON E. 1990: Kinematics of the principal tectonic units of Hungary from palaeomagnetic observations. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, 25, 3–4, pp. 387–397
- MESKÓ A., 1988: Reduced Regional Bouguer Anomaly Map of Hungary. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, 23, 1, pp. 89–96
- NEMESI L., HOBOT J., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R., VARGA G., 1994: Investigation of the basin basement and crust structure beneath the Kisalföld (performed in ELGI between 1982 and 1990). (in Hungarian) *Geophysical Transactions* 39, 2–3, pp. 193–223
- POSGAY K., ALBU I., MAYEROVÁ M., NAKLÁDALOVÁ Z., IBRMAJER I., BLIŽKOVSKÝ M., ARIC K., GUTDEUTSCH R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central Europe. *Geophysical Transactions* 36, 1–2 pp. 7–13
- SCHEFFER V. 1965: Regional geophysical overview of the edge zone of Eastern Alps. *Földt. Közlöny* XCV, 1, pp. 5–21
- ŠEFARA J. in press: The youngest stage of development of the Western Carpathian lithosphere and its interaction with asthenosphere. *Geolog. Carpathica*, Bratislava
- VARGA G. 1992: Report on the magnetotelluric measurements carried out in Slovakia in 1992, in the framework of the DANREG programme. *GEOCOMPLEX* Bratislava, ELGI Budapest, 45 p.

A nagymélységű kutatások eredményei a DANREG területen

NEMESI László, Ján ŠEFARA, VARGA Géza, KOVÁCSVÖLGYI Sándor

1. A pannon fekü mélységtérképe

A DANREG terület hozzáférhető geofizikai kutatási eredményei között találtunk olyan szeizmikus, magnetotellurikus kutatási eredményeket, amelyek csak közvetve szolgálják a programot, vagy csak adatszintű információi bizonyos geológiai térképeknek, rész-projekteknek (például a tektonikának, a harmadkor előtti aljzat kutatásának, stb.). Másrészt láttuk e kiadvány cikkeiben és térképein, hogy a gravitációs és földmágneses térképek nem magyarázhatók az általánosan ismert és többnyire bevált metodikával (minimum=medence, maximum=kiemelkedés). A magnetotel-

lurikus és szeizmikus kéregkutató szelvényekkel együtt azonban kéreg- és köpenyszerkezeti következtetéseket vonhatunk le. A következőkben ezeket az eredményeket ismertetjük.

Kutatási területünk mély medencéinek meghatározó jelentőségű üledéke a pannon összlet. Ennek fekéje a szeizmikus mérések legmarkánsabb, folyamatosan követhető reflexiók szintje. Azt mondhatjuk, hogy a geofizika legbiztosabb eredménye a medencékben.

Sajnos, osztrák területéről nem sikerült ezeket az adatokat megszerezni. A térkép alapadatai szlovák területeken a Geofizika Brno mérésein alapulnak, amelyekből új, modern feldolgozó programok felhasználása után HRUŠECKÝ és ŠEFARA szerkesztett térképet. A magyar oldal méréseit nagyobb részt a GKV, kisebb részt az ELGI végezte. Ezekből a 80-as évek végén a GEOS GMK szerkesztett térképet a MÁFI megbízásából. Később a Kisalföld és a DANREG témában az ELGI-nek voltak újabb mérései, amelyek eredményeit felhasználva PÁPA és HERCZEG nyomán SZEIDOVITZ Győzőné, a tellurikus és magnetotellurikus mérésekkel lefedett területekről NEMESI szerkesztette az itt közölt változatot. A szlovák és a magyar térképrészlet az első kísérletre is szinte tökéletes egyezést mutatott az országhatáron (1. ábra).

A DANREG projekt geológiai programjaiban külön téma az alsópannon és a felsópannon. Ezek vastagságáról, litofációjáról külön-külön térképet kívánnak szerkeszteni. Ebben azonban kevés segítséget tudunk nyújtani, mert az alsó- és felsópannon határ (csakúgy, mint a korábban szintén bemutatott kvarter-felsőpannon határ) a folyamatos üledékképződés miatt nem jelent éles fizikai határt (sem szeizmikust, sem elektromost). Mivel ezek miatt korábban ilyen térképeket nem szerkesztettek, e téma keretében csak néhány most mért szeizmikus és magnetotellurikus szelvényben vizsgálhattuk ezt a kérdést. Ezeket a geológus kollegáknak át is adtuk, de önálló térképek szerkesztésére anyagaink nem elégségesek.

A pannon összletek litológiai tulajdonságairól tájékoztat fajlagos ellenállásuk is. Más közép-európai részmedencék fizikai paramétereivel való összevetés kapcsán feltűnő, hogy az átlagellenállás itt mintegy kétszerese a szokásosnak. Lehetséges, hogy ezzel magyarázható e nagy részmedence eddig feltűnően gyenge szénhidrogén perspektivitása. (A fajlagos ellenállás nagyobb lehet, ha durvább a szemcseméret. Ekkor a képződés feltételeivel lehet gond. Lehet az összlet cementáltabb, ez a migráció akadálya. Kevesebb lehet az agyagos, záró fedő, ekkor nem alakul ki csapda.)

2. A geofizika eredményei a tektonika kutatásában

A DANREG tektonikai munkacsoportja végignézte a fellelhető szeizmikus szelvényeket és beépítette adataiba. Azonban más eredményeink is közvetve vagy közvetlenül tektonikai vonalakra engednek következtetni. Már a gravitációs térképek tárgyalásánál bemutatott Bouguer-anómália térkép is sejteti például a Hurbanovo-vonalat. A lineamens térkép alapvető célja éppen a tektonikai hatások kiemelése a gravitációs mérési eredményekből.

A geofizikai kutatások egyik legmarkánsabb eredménye azonban a magnetotellurikus mérésekből származik. A *Rába-Hurbanovo-Diósjenő vonalat* egyértelműen e program keretében és ezek a mérések definiálták (2. ábra).

A Rába-vonatról 1949 óta olvashatunk [SCHEFFER 1965], de létét vagy lefutását, a Hurbanovo-vonallal való kapcsolatát sokan tagadták, vagy egészen másként gondolták. Ezek a mérések azonban egyértelművé tették, hogy a vonaltól délre a dunántúli-középhegységi típusú aljzatban 4–10 km mélységben 1–3 Ωm fajlagos ellenállású „elektromos réteg” van, ami a vonaltól északra nem létezik. A 3. ábrán bemutatjuk a vonal két oldalán mért magnetotellurikus ellenállásgörbék közötti meggyőző különbséget. Bármilyen (litológiai, közettani, hidrokémiai) oka is legyen e kisellenállású réteg létének, ezzel a módszerrel mintegy 250 km hosszúságban, 4–6 km széles sávon belül kijelölhetünk egy éles határt. Az a tény, hogy nem sikerült kimutatni, hogy melyik „lemez” csúszik a másik alá, az oldaleltolódási elméleteket [MÁRTON 1990, BALLA 1984] erősíti.

A magnetotellurikus kutatások másik kiemelkedően érdekes eredménye a Bécsi-medencét harántoló szelvényben látható a 2. ábrán is, valamint a csak ennek az ausztriai szelvényt szakaszának 2-D inverziós feldolgozását bemutató 4. ábrán. A szelvény északnyugati szélén (az 1. és 2. mérési pontoknál) megfigyelhetjük, hogy a felszínen található felsőkréta-paleogén korú flis fajlagos ellenállása lényegileg nem különbözik a neogén képződményekétől. E zónától délre, a 12. pontig a Bécsi-medence 2–5 km vastag kisellenállású neogén üledékeit, ennek fedőjében a nagyellenállású kvartert, fekéjében pedig (mezozoós) aljzatát látjuk. A 12. ponttól délkelet felé megjelenik az aljzatban és egyre mélyül az a 2–5 Ωm -es anomália, amely a szubdukciók tipikus képét mutatja. Ez a határ az ismert *Mur-Mürz vonal*, amelynek északnyugati felén a Bécsi-medence mezozoós, óceáni, alábukó aljzata, déli felén a kontinentális paleozoós kristályos aljzat ismert.

3. A harmadkor előtti aljzat kutatása

A neogén aljzat a geofizika számára a (pannon fekü után) az egyik legbiztosabban kimutatható szint. A medenceterületek 5–6 km-nél mélyebb részein azonban nehézségeink voltak. Nemcsak a mélyfúrások adatai hiányoznak, de a nehezen fúrható, laza kavicsos felszín miatt a robbantásos szeizmikus méréseknek és a vibrátoros méréseknek is (a nagy mélység miatt is) energia-problémák voltak. A gravitációs és földmágneses anomáliák jelentős hányada épp a kritikus helyeken jelentős aljzat- (kéreg-) szerkezeti anomáliákkal terhelt, a leggyakoribb tellurikus pulzációk nem érik el az aljzatot, stb.

A terület más részein azonban az elsősorban szeizmikus, kismértékben magnetotellurikus méréseken alapuló kutatás lényegesen megbízhatóbb. Az 5. ábrán látható térképiünk az ÖMV, a Geofizika Brno, a SLOVNAFT, a MOL és az ELGI mérésein és mélyfúrási eredményein alapul. A DANREG program keretében lényegileg a fenti cégek adataiból KILÉNYI et. al. [1991] által szerkesztett térképet pontosítottuk az újabb szeizmikus és tellurikus-magnetotellurikus kutatások eredményeinek alapján, főleg a terület középső részén.

4. Az aljzat (a kéreg) belső szerkezetéről

Már ebben a kiadványban is több helyen utaltunk arra, hogy a Bécsi-medence 5000 m-es mélységű (harmadkor előtti) aljzata a Bouguer-anomália térkép alapján mélyebbnek tűnik, mint a Pozsony-Győri-medence, amely pedig 5. ábránk szerint a 8000 m-t is eléri. Ha az üledékhatástól megtisztított gravitációs térképre nézünk (gravitációs kutatási eredmények 8. ábrája), épp ez utóbbi mélymedence területén találunk egy 40 mGal-os maximumot, amelynek déli határa a Rába-Hurbanovo-vonal. Ugyancsak megfigyelhetjük, hogy az e kiadványban közölt mágneses térkép központi területének mágneses maximuma alakját és elterjedését tekintve mennyire kapcsolódik a fent jelzett anomáliákhoz.

Ezt az anomáliát harántolja a Dunával párhuzamosan futó K-1 jelű szeizmikus szelvény (6. ábra). Ennek északi részén 9–10 s között még látható a Mohorovičić diszkontinuitás és más kéregbeli reflexiók szintek is, de a gravitációs-mágneses anomáliák („ Π^2 -vel jelölt) területén már egészen a szelvény itt látható végéig (amely durván a Rába-vonalnál van) a szeizmikus kép zavaros, reflexiók nem jelölhetők ki. A gravitációs és földmágneses hatókat tehát ebben a mélységtartományban kell keresnünk. A 7. és a 8. ábrán látható modellszámítás az INTERPEX Ltd. MAGIX programjával készült. A két változat közötti különbség csak annyi, hogy a ható a környezetéből egyenletes emelkedéssel, vagy lépcsős vetők mentén nyomult be és a felszíntől mintegy 10 km-es mélységig (tehát csaknem a neogén aljzatig) jött fel. A mélybeli ható felső részét a $2,7 \text{ t/m}^3$ sűrűségű aljzatnál $0,3 \text{ t/m}^3$ -rel sűrűbb bazaltos alsó kéregnek, alsó részét a kéregbe nyomuló köpeny anyagnak tekintjük.

A mágneses anomáliák hatója nem azonos a gravitációs hatóval, már csak az 578°C értékű Curie-pont miatt sem, de azzal szoros kapcsolatban van és mindenképpen a hatótestek döntő tömege

az aljzatban keresendő. A mágneses hatók helyileg hol a gravitációs ható szélein, hol a közepén találhatóak, de sűrűségeik a normál aljzat sűrűségétől alig különbözhetnek.

Végül ŠEFARA professzor összefoglalásul bemutat egy modellt (9. ábra), amelyet a Bécsi-medencéből indulva mintegy 200 km hosszúságban alkotott meg. Ehhez felhasznált minden olyan újabb ismeretet, amelyet a térség mélyszerkezetéről, kéreg- és köpenyszerkezetéről 1989 és 1994 között publikáltak. A modellnek az eddig nem részletezett részletei közül kiemeljük azt, hogy a Duna-medence központi részében asztenoszféra kiemelkedést is feltételez. A hivatkozott szerzők: BUCHA et al. [1984], IBRMAJER [in BUCHA et al. 1984], HRUŠECKÝ et al. [1993], BABUSKA [in BUCHA et al. 1984], HORVÁTH [1993], POSGAY et al. [1991], ČERV, PEK [1987], VARGA [1992].

