

THERMAL FIELD IN THE ROMANIAN CARPATHIAN BEND
 AND SOME ASPECTS OF ITS INTERPRETATION*)

MARIUS VISARION, SERBAN VELICIU, MIHAI STEFĂNESCU

*Institute of Geology and Geophysics, Bucharest**)*

Summary: Using heat flow and heat generation measurements together with deep seismic sounding and gravity data, a reasonable geothermal model has been constructed for the Romanian Carpathian Bend. At the level of the MOHO discontinuity the calculated temperatures exhibit conspicuous differences between inner and outer border of the Carpathian Bend and a horizontal gradient of 200–300 °C/100 km in the region is not to be excluded.

Accurate determinations of heat flow and systematic investigation of the subsurface temperature distribution should provide valuable information on the internal processes within the Earth.

The amount of geothermal data presently available with regard to the tectonic complexity of Romanian territory, does not yet allow for fundamental conclusions to be drawn. However, the study of these data throws some light on the structure and dynamics of the Earth's crust for a particular region like Carpathian Bend.

A geological cross-section (Fig. 1) is considered for this purpose, taking into account the results of deep seismic soundings (International Profile XI). The section crosses a multi-confinium of the deep basement (Fig. 2), corresponding to the boundaries of three distinct sub-units: the north-western prolongation of the "Green shists" unit (Central Dobrogea), the "Intermediate Block" and the Danubian Autochthonous (according to the tectonic map of Romania [3]).

The "Green shists" unit with the Upper Proterozoic flysh deposits behaved like an internal non-rejuvenated massif during Hercynian orogenesis. The north-western extension of this unit is testified both by drilling data and by the presence of "green shists" erratic elements in the conglomerates of the Eastern Carpathians. The northern tectonic boundary (probably corresponding to the north-west prolongation of the Peceneaga-Camena fault) was proved by deep seismic soundings to have throws of 4–5 km down to the Conrad discontinuity [1].

The "Intermediate Block" has no outcrop, but its existence is assumed at the exterior of the Danubian Autochthonous. The lithostratigraphic constitution has been established from the elements reworked in the outer part of the Teleajen nappe.

*) Paper presented at the KAPG Symposium on Geothermics in Liblice, November 1976.

***) Address: Caransebeș, 1; sector 8, Bucharest, Romania.

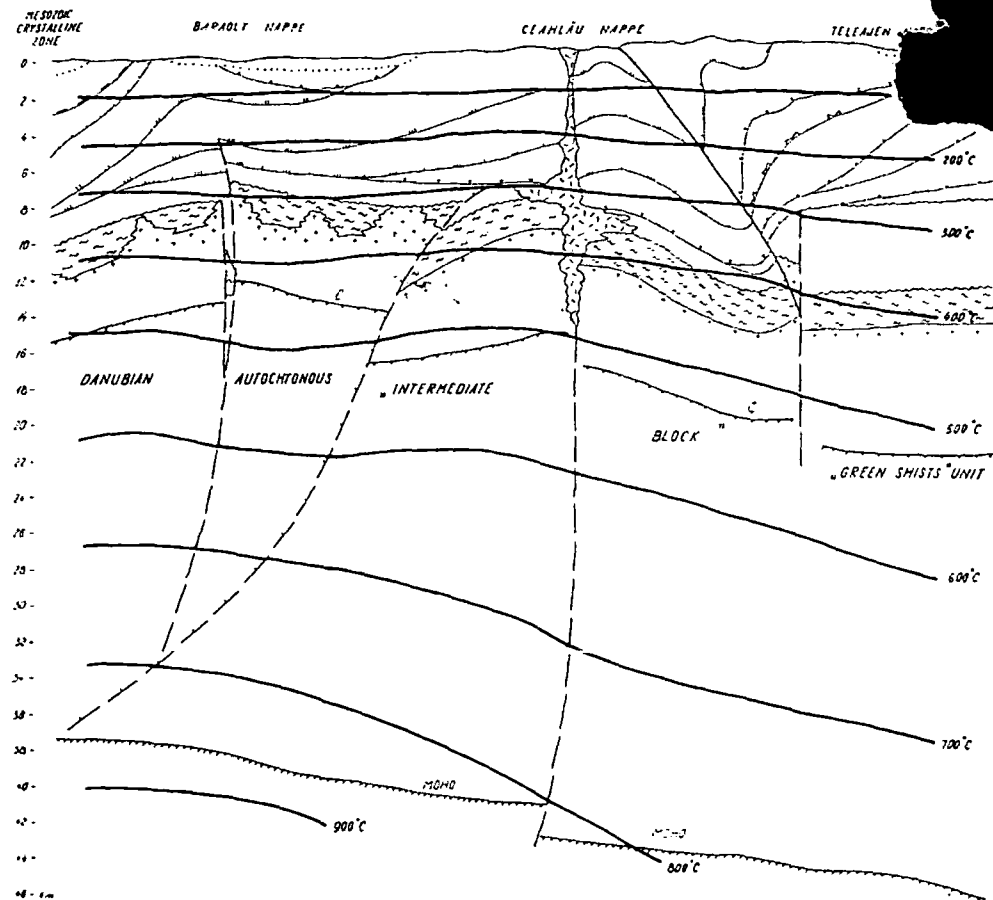


Fig. 1. Geological cross-section and the temperature-depth pattern.

The main features of the Danubian Autochthonous are the epimetamorphic rocks penetrated by granite intrusive bodies and a sedimentary layer of Carboniferous-Cretaceous age.

Within the area under consideration, the basement sub-units mentioned above, tectonically underlie "Dacides" and "Moldavides" units, known successively from West to East as: the Crystalline-Mesozoic zone, the Baraolt nappe, the Ceahlău nappe, the Teleajen nappe ("Convolute flysh"), the Macra nappe, the Audia nappe (Black shists), the Tarcău nappe and the Marginal folds nappe. The "nappes" exhibit a complicate Alpine structure, overthrusting one another outwardly. Neotectonic movements were accompanied in the Pliocene by subsequent volcanism along deep faults.

According to deep seismic sounding and seismology, the MOHO discontinuity reaches up to 45 km in the eastern part of the cross-section and less than 37 km in the western. A typical negative gravity anomaly in the region confirms the thickness of the crust [8]. An isostatic minimum is located in the Carpathian foredeep where the sediments are 17 km thick. Under these circumstances the isostatic anomaly reflects both the effect of the thick sedimentary cover and the "Sialic Root" with lows of 10–12 km.

Heat flow values range from 45 to 88 mW/m² clearly showing an increasing trend toward the inner border of the orogenic belt [10]. The high heat flow in the Carpathian Bend overlaps

an area where the geoidal undulation has been reported as a depression. On a smaller scale this may prove the correlation established between heat flow and gravity [11].

The measured values of the surface heat flow, heat generation by radioactive heat sources and thermal conductivity of rocks have enabled the temperature-depth distribution to be calculated by means of a computer program under the following assumptions:

— The analytical solution of the equation of heat conduction can be greatly simplified assuming stationary conditions and a one-dimensional temperature distribution, i.e. temperature depending only on depth [6].

— The model used takes into account the plane-parallel stratification where the source strength and heat conduction is uniform within each layer [2].

— No dependence of thermal properties was considered in respect of temperature and pressure.

— Heat generation in the upper crust has been estimated from laboratory determinations of gamma-ray intensity on the rock samples. Heat production of $0.47 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ($1.14 \times 10^{-13} \text{ cal}/\text{cm}^3 \text{ s}$) was used for the lower crust [4].

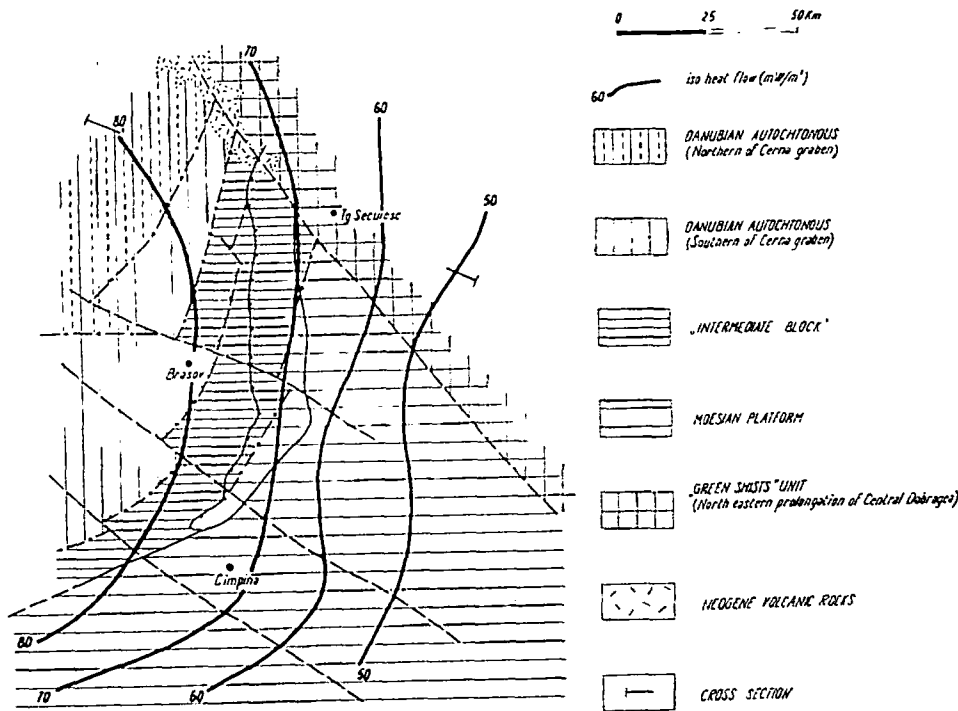


Fig. 2. Schematic tectonic map of the Romanian Carpathian Bend.

The calculated temperatures are shown in Fig. 1. It should be mentioned that a similar pattern was obtained for the Soviet Carpathians in the same tectonic units [5].

The most important result from the study performed is the existing temperature difference between the inner and outer part of the Carpathian Bend. The difference could exceed 200°C at the base of the crust and a horizontal gradient of $200\text{--}300^\circ\text{C}/100 \text{ km}$ in the region is not to be excluded. This supplies new evidence that the region is still tectonically "alive", the accumulated tensions in the lower crust being probably released in shallow earthquakes.

For data given by Winkler [12] regarding the phase diagrams of granite and metashists, the melting point may be reached under the Eastern Carpathians at the depth of the Conrad discontinuity (Fig. 3). This process may absorb considerable heat decreasing the going heat flow. This fact could explain the relatively low value of only $88 \text{ mW}/\text{m}^2$ now observed in the Eastern Carpathians.

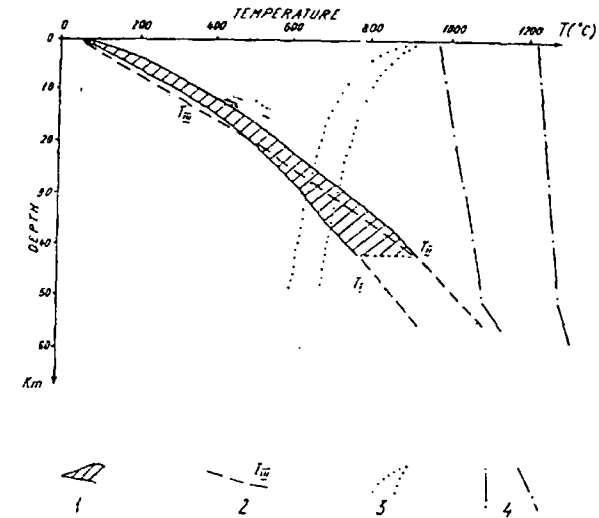


Fig. 3. Temperature-depth profiles in the Carpathians. (1. Minimum (T_1) and maximum (T_{11}) temperature curves versus depth for the Romanian Carpathian Bend; 2. Temperature versus depth for the Soviet Carpathians after [5]; 3. Phase diagram for granite and shists after [12]; 4. Phase diagram for basalt after [13]).

On the other hand, under the Eastern Carpathians the MOHO surface exhibits an undulation which suggests the presence of a complex fracture which some authors considered to be of the Benioff type [9]. The pronounced seismic activity in the Vrancea region, with intermediate and normal earthquakes has its main foci located along the fracture.

The Neogene volcanism in the Eastern Carpathians also provides arguments in this sense. For the latest stage (Pliocen-Quaternary) the volcanological evidence [7] allows one to assume that magma has risen almost vertical and has formed magma chambers at the level of the Conrad discontinuity.

Received 5. 5. 1977

Reviewer: V. Čermák

References

- [1] L. Constantinescu, I. Cornea, V. Lăzărescu: Seismotectonic Map of Romania. Proc. of the Seminar on the Seismotectonic Map of the Balkan Region, Dubrovnic, April 1973, 117.
- [2] V. Čermák: Thermal Structure of the Crust in Czechoslovakia. Veröff. ZIPE, Leipzig, n. 31 (1975), 347.
- [3] I. Dumitrescu, M. Săndulescu: Roumanie. Carte tectonique 1 : 1.000.000. Inst. geologic, Bucharest 1970.
- [4] O. Kappelmeyer, R. Haenel: Geothermics with Special Reference to Application. Gebr. Borntraeger, Berlin 1974, 31.

Shorter Contributions

- [5] P. И. Кутас: Характеристика геотермического поля Восточных Карпат. Proc. X-th Congress CBGA, Bratislava 1973, 41.
- [6] H. N. Pollack: Steady Heat Conduction in Layered Mediums. *J. Geoph. Res.*, 70 (1975), 5645.
- [7] D. Rădulescu, M. Borcoş: Aperçu général sur l'évolution du volcanisme néogène en Roumanie. *Com. Geol. Roum. Anu.*, 36, Bucharest 1969, 177.
- [8] M. Socolescu et al.: Corecții izostatice în R. P. România. *Stud. cerc. fiz.*, 5; 1—2, București 1954, 1.
- [9] M. Socolescu et al.: Structure of the Earth's Crust in Romania as Based on Gravimetric Data. *Rev. Roum. Géol. Géoph. et Géogr., Géophysique*, 8, Bucharest 1964, 3.
- [10] S. Veliciu et al.: Preliminary Data of Heat Flow Distribution in Romania. *Geothermics*, (in press).
- [11] C. Y. Wang: Some Geophysical Implications from Gravity and Heat Flow Data. *J. Geoph. Res.*, 70 (1965), 5629.
- [12] H. G. F. Winkler: *Die Genese der metamorphen Gesteine*. Springer, Berlin 1967.
- [13] H. S. Yoder, C. Tilley: Origin of Basalt Magmas: An Experiment Study of Natural and Synthetic System. *Journ. of Petrology*, 3 (1962), 342.

REVUE ROUMAINE
DE GÉOLOGIE
GÉOPHYSIQUE
ET GÉOGRAPHIE

GÉOPHYSIQUE

UNIVERSITY OF UTAH
RESEARCH INSTITUTE
EARTH SCIENCE LAB.

TIRAGE À PART

TOME 18, 1974

EDITIONS DE L'ACADEMIE DE LA REPUBLIQUE SOCIALISTE DE ROUMANIE

GEOHERMAL CONTRIBUTIONS TO THE HYDROGEOLOGICAL KNOWLEDGE OF ORADEA AREA

by ȘERBAN VELICIU

Institute of Applied Geophysics, 78, Izvor str.

Les prospections géothermiques, basées sur des mesures de températures exécutées dans des sondes peu profondes, fournissent des informations sur la structure géologique, en particulier dans les régions géothermiques.

L'auteur présente la méthode de prospection géothermiques, de même que les résultats du levé effectué dans la zone Felix - 1 Mai. Les résultats sont discutés en relation avec les éléments géologiques et hydrogéologiques considérés comme représentant la cause des anomalies géothermiques.

The knowledge of thermal equilibrium in the earth's crust makes a large contribution to some geological problems which are difficult to be solved by the usual geophysical methods. From this point of view the geothermal areas present a great interest for geothermometry as they realize pronounced differences of temperature.

Geothermal research may be used either in deep heat sources investigation or in shallow sources investigation. For the first case a heat flow study is necessary while for the second, a survey consisting of precise temperature measurements performed one-two meters beneath, is sufficient (Mongelli, 1967). This kind of measurements could decisively help the thermomineral water hydrogeology.

The geothermal prospecting has to take into account three essential elements which determine the magnitude of temperature in the soil, namely: the heat transfer from the earth's interior, the sun radiation and the mechanism of heat transfer prevailing at the earth's surface (Poley, Stevenink, 1970; Kremar, 1970).

The analysis of these elements suggests the possibility to outline, by means of shallow temperature measurements, local heat source effects as thermal waters circulation in faulted zones, oxidation of the sulphidic mineral bodies, concentrations of radioactive minerals, etc. The sun radiation effects as well as the disturbances produced by the transfer conditions at the earth's surface can be drawn out using methodology and techniques properly chosen.

A periodic source of two components is a good approximation for sun radiation (Tihonov, Samarski, 1956). The diurnal variation of temperature has a 24-hour period and it is practically attenuated in the first two meters of the ground while the seasonal climate changing propagates itself as far as 50 meters deep.

Thermal state below earth's surface is also established by means of numerous factors as topography, vegetation cover, moisture content, soil colour, etc. The importance of their influence is difficult to be numeri-

cally appreciated. It is generally accepted that these undesirable features may be eliminated by measuring temperature at a depth of two meters in the soil and, somehow, applying corrections.

In order to get available geothermal anomalies it is necessary to employ a high precision device suitable for field work. The Institute of Applied Geophysics, Bucharest designed and built up an electronic thermometer for geothermics which is able to measure temperatures between $+5^{\circ}$ and $+60^{\circ}\text{C}$ having in field conditions an accuracy better than 0.1°C .

For geothermometry in short boreholes the measuring operation follows this procedure: thermo-sensing elements mounted at the bottom of two-meter long probes are got down into the holes. Thermal equilibrium is reached after about an hour.

Geothermal survey that has been performed in the neighbourhood of Oradea town has as main target the prospection of warm mineral waters.

From a geological point of view, the area under investigation is situated at the limit between the Pannonian Basin and West Carpathians. Here the Mesozoic sediments and the crystalline Paleozoic rocks constitute the basement of the Basin and they underlie the Pannonian impervious sediments.

Thermomineral waters accumulate themselves in the Mesozoic limestones which are karstified and fissured. It is supposed that the zone supplying the water-bearing layers is in the West Carpathians where Mesozoic limestones outcropping form a monoclinical structure cut by numerous faults (Preda, 1971). The precipitation waters being led to great depth are heated at $70-80^{\circ}\text{C}$, owing to high temperature gradient ($40-50^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Through the deep faults which border the Pannonian Basin to the east, thermomineral waters arise upwards. In some sites like Felix and 1 Mai, the faults affect even Pannonian sediments allowing the hot waters to appear as springs (Isteeescu, Ionescu, 1969).

For geothermometry an observation mesh has been chosen formed of profiles spaced at 500 m, with 50 m between the measuring points on each profile. This mesh covered an area of about 20 km^2 .

The determined temperature values were corrected for seasonal climate changes because the measurements lasted a few weeks. An empirical correction was applied for influence of the vegetation, the transition zone between opened field and forest appearing in the lateral distribution of temperature.

Temperature values involve not only the regional field due to the geological feature but also local fields as noises. In order to cancel these noises, one performed Fourier Analysis and after that, a filtering operation has been applied on each profile, using a mathematical low-pass filter. So, anomalies as high as 3°C but extended in surface less than 200 m, were smoothed.

Mapping the smoothed values, the temperature distribution obtained is presented in Figure 1. For geological interpretation it is necessary to take into account the physical intermediate by means of which the geological features determine the temperature field at the earth's surface. In the investigated area, this intermediate is represented both by the ther-

mal conductivity contrast among various kind of rocks and by heat rate of thermomineral waters.

It is easy to note that better conductivity of the Cretaceous limestone manifests itself as a regional trend in temperature values: the deeper the top of limestone, the lower the temperature. The basement rising from

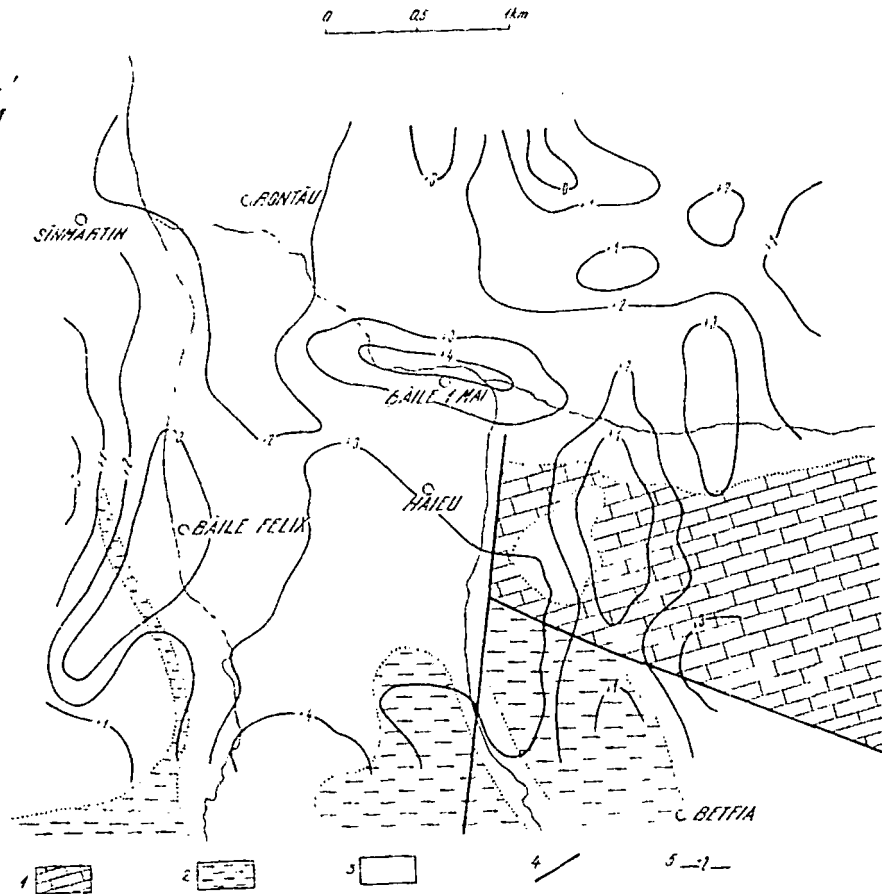


Fig. 1. The temperature distribution in Felix-1 Mai zone, at a depth of two meters.
1. Cretaceous; 2. Pannonian; 3. Pleistocene and Holocene; 4. fault; 5. geoisothermal line ($^{\circ}\text{C}$).

NW to SE has been also indicated by electric-resistivity prospecting (Andriescu, Mihail, 1971).

Over the regional temperature trend are superposed high temperature anomalies with magnitude as far as $3-4^{\circ}\text{C}$. The shape and distribution of this anomalies suggest a faulting system circulated by warm waters. According to the theoretic depth accepted for geothermal prospecting (Poley, Steveninck, 1970), the faults have to reach at least $150-200$ m below ground level.

Two maximum anomalies, situated near Felix and, respectively 1 Mai, appear as the clearest. In the western part, a strong horizontal gradient of temperature may be linked with a fracture that strikes into North-South direction. The geothermal anomaly beside 1 Mai outlines an East-West fault along Peța river.

Other positive anomalies could be generated by warm water accumulated in fissured and karstified limestone. A drillhole was located south, on the anomaly rounded by geothermal line of $+4^{\circ}\text{C}$. Below 140 m, this drill-hole has opened pervious layers with thermomineral water circulation.

Although this work represents a first large scale application of geothermometry in Romania, the following remarks should be mentioned:

a) it is possible and useful to employ geothermometry in short boreholes for geothermal areas;

b) this method offers a direct investigation of thermal waters, if the water-bearing layers are not too deep.

Received September 10, 1973

REFERENCES

- ANDRĂDESCU, GH., MIHAIL, C., *Cercetări geoelectrice pentru descoperirea de noi surse de ape termale la Băile Felix, județul Bihor. Al 11-lea Simpozion de protecție și exploatarea rațională a zăcămintelor de ape minerale. Herculane, 1971.*
- ISTOCESCU, D., IONESCU, GH., *Geologia părții de N a depresiunii Panonice. D. S. Com. Geol., 55. 2. București, 1969.*
- KRGMAR, B., MASIN, I., *Prospecting by the geothermic method. Geophys. Prosp., 1B, 2, 1970.*
- MONGELLI, F., *Metodi di misure geotermiche sui continenti con particolare riguardo alla prospezione. Adriatica editrice, Bari, 1967.*
- POLEY, I. PH., STEVENINGK VAN J., *Geothermal prospecting. Delineation of shallow salt domes and surface faults by temperature measurements at a depth of approximately 2 meters. Geophys. Prosp., 1B, suppl., 1970.*
- PREDĂ, I., *Geneza apelor termominerale de la Oradea. Al 11-lea Simpozion de protecție și exploatarea rațională a zăcămintelor de ape minerale. Herculane, 1971.*
- TIHONOV, A., SAMARSKI, A., *Ecuatiile fizicii matematice. Ed. Tehnică, Bucharest, 1956.*
- VELICIU, Ș., *Communication at the Session of scientific communications of the Institute of Applied Geophysics, 1971.*

Ward
ACADEMIA REPUBLICII SOCIALISTE ROMANIA

STUDII ȘI CERCETĂRI
DE
GEOLOGIE
GEOFIZICĂ
GEOGRAFIE

**UNIVERSITY OF UTAH
RESEARCH INSTITUTE
EARTH SCIENCE LAB.**

EXTRAS

GEOFIZICĂ

2

TOMUL 14
1976

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMANIA

CONTRIBUȚII LA CUNOAȘTEREA TERMALISMULUI DIN SUDUL MUNȚILOR APUSENI ȘI BAZINUL STREIULUI

DE

ȘERBAN VELICIU

Institutul de geologie și geofizică, str. Caransebeș 1, București

Emergențele de ape termominerale de pe râma sudică a Munților Apuseni și din bazinul inferior al Streiului, cunoscute și utilizate în scopuri terapeutice de foarte multă vreme, fac în prezent obiectul unor intense investigații hidrogeologice, hidrochimice și geofizice, în cadrul programului de valorificare energetică a resurselor geotermale.

Lucrarea de față reprezintă o sinteză a rezultatelor studiilor geotermice întreprinse în zonele Geoagiu-Băi, Bobilna, Rapoțel și Călan, cu o încercare de evaluare a potențialului lor energetic.

MANIFESTĂRI GEOTERMALE

În regiunea studiată sînt semnalate, ca manifestări geotermale de suprafață, o serie de iviri de ape minerale cu caracter hipotermal, la Geoagiu-Băi, Bobilna, Rapoțel și Călan. La Bampotoc și Boi, unde azi sînt prezente izvoare fără caracter termal, depunerile masive de travertin demonstrează existența, în Cuaternar, a unor izvoare carbo-gazoase cu debite și, probabil, temperaturi mai mari.

Stațiunea balneară Geoagiu-Băi este situată pe un mare depozit de travertin. Sub travertin, forajele au întîlnit calcare cristaline aparținînd seriei de Rapoțel care, în unele locuri, suportă deasupra gresii și microconglomerate cretacică.

Complexul acvifer termal principal este reprezentat de orizonturile cu fisuri și goluri carstice ale calcarelor cristaline. Apele termominerale, datorită caracterului lor artezian, alimentează atît nivele permeabile ale Cretacicului, cit și travertinele, unde formează strate acvifere de o importanță mai redusă.

Exploatarea apelor termale s-a făcut, inițial, de la șase surse naturale, a căror temperaturi nu depășesc 32°C. În vederea obținerii unor debite sporite, s-au executat șapte foraje, avînd adîncimi cuprinse între 30 și 150 m*. Probele hidrogeologice au pus în evidență o puternică interacțiune între sursele din stațiunea Geoagiu-Băi. Din acest motiv, în prezent, nu sînt exploatate decît o parte din foraje, totalizînd, împreună cu izvoarele captate, un debit de aproximativ 25 l/s.

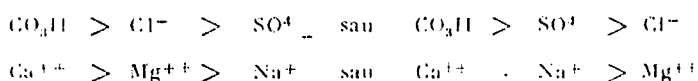
* Barbu, I., Foraje hidrogeologice la Geoagiu-Băi. Răpört. 1967. Arhiva ISFIR. București.

Pe Valea Bobilnei, amonte de sat, sînt semnalate cîteva emergente cu caracter hipotermal^{**}. Izvoarele au un debit total de cca 37 l/s și temperaturi de 20-24°C. Valea, în acest loc, traversează formațiunile seriei cristaline de Rapolt și este colmatată cu travertin care îi conferă o configurație morfologică aparte.

În perimetrul satului Rapoltel și la nord de acesta, apar din travertine mai multe izvoare. Și aici, sub travertine, se întîlnește cristalinelul de Rapolt. Izvorul cel mai important, situat în partea centrală a satului, furnizează apă minerală, cu un debit de cca 8 l/s și temperatura de 24°C.

Apele termomineralizate de la Călan, sînt exploatare prin cele șapte izvoare care apar în incinta parcului. Temperaturile măsurate variază între 25 și 29°C.

Interpretarea datelor rezultate din analizele chimice (tabelul 1), a stabilit că apele termominerale de la Geoagiu, Bobilna, Rapoltel și Călan, sînt de tipul carbogazos-bicarbonat-calcic-magnezian, avînd formula ionică :



Corelarea rapoartelor ionice cu temperatura este prezentată în figura 1.

Atît probele recoltate din foraje, cit și cele din izvoarele termale, au o serie de caracteristici comune pentru întreaga regiune :

-- concentrația relativ mică a ionilor, reziduuul fix oscilînd în jurul a 750 mg/l, excepțional ridicîndu-se la 1.100 mg/l pentru probele de la Rapoltel;

- preponderența Ca și Mg față de alți cationi;
- conținutul în CO₂, legat de activitatea post-vulcanică a eruptivului neogen care se află în vecinătatea nordică;
- pH-ul aproape neutru, variînd între 7,5 și 6,5.

Faptul că tipul de apă este relativ același, pentru toate manifestările termale de pe rama sudică a Munților Apuseni și bazinul inferior al Streului, conduce la ideea reprezentativității acestei ape, pentru un același rezervor de adîncime, situat în roci de tip carbonatic.

REZULTATE GEOTERMOMETRICE ȘI INTERPRETAREA LOR CALITATIVĂ

Metodica de investigație a zonelor în studiu, a fost selectată, ținîndu-se seama de particularitățile geologice, hidrogeologice și termodinamice, proprii unor zone geotermale cu manifestări de suprafață (Kappelmayer și Haenel, 1974). În consecință, măsurătorile geotermice au constat din determinări ale distribuției temperaturii, la adîncimea de 2 m sub suprafața

^{**} Orășanu, N. și Anghel, O. Studii hidrogeologice și hidrochimice privind inventarierea apelor geotermale din Munții Apuseni. Raport. 1974. Arhiva I.G.P.S.M.S. București.

Fig. 1
 KORELATIA RAPORTULUI (Ca+Mg) CU TEMPERATURA IN ZONA
 GEOAGU-BOBILNA-RAPOLTZEL-CALAN

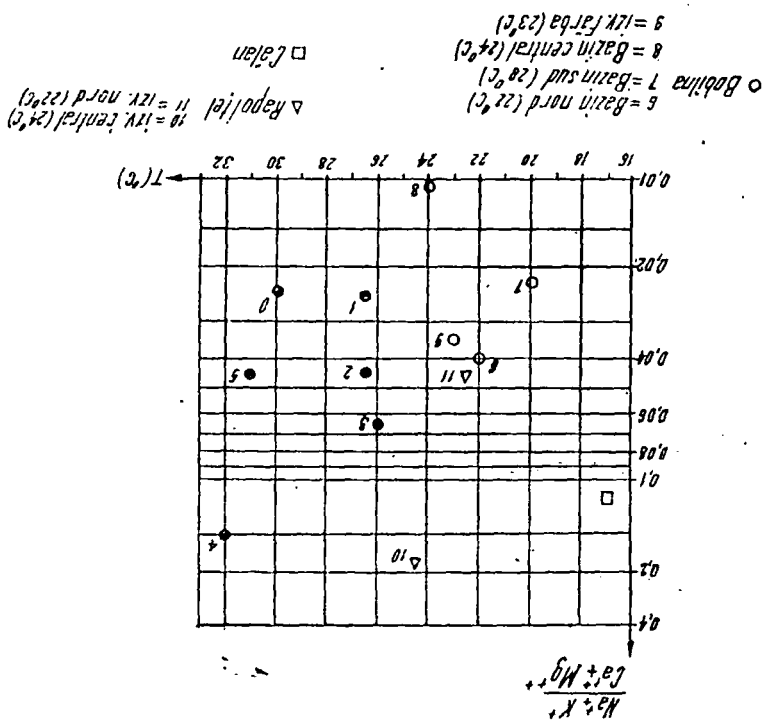
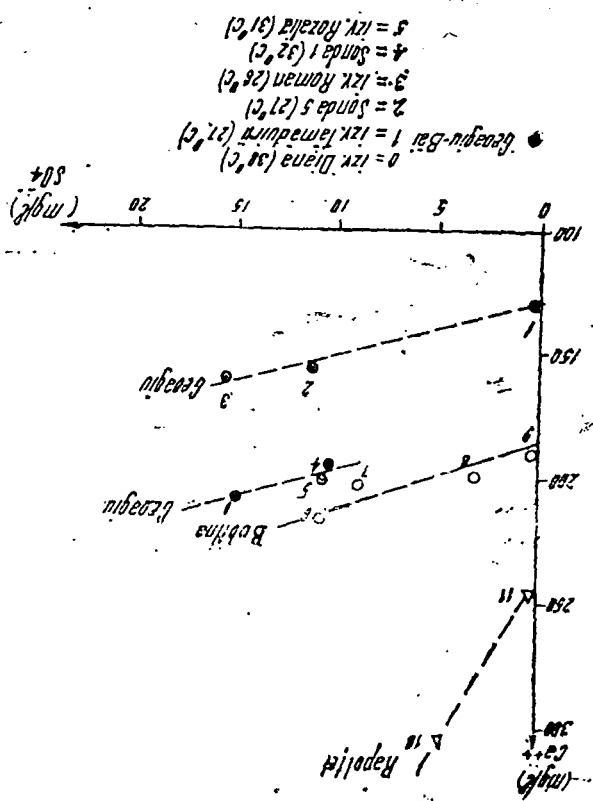
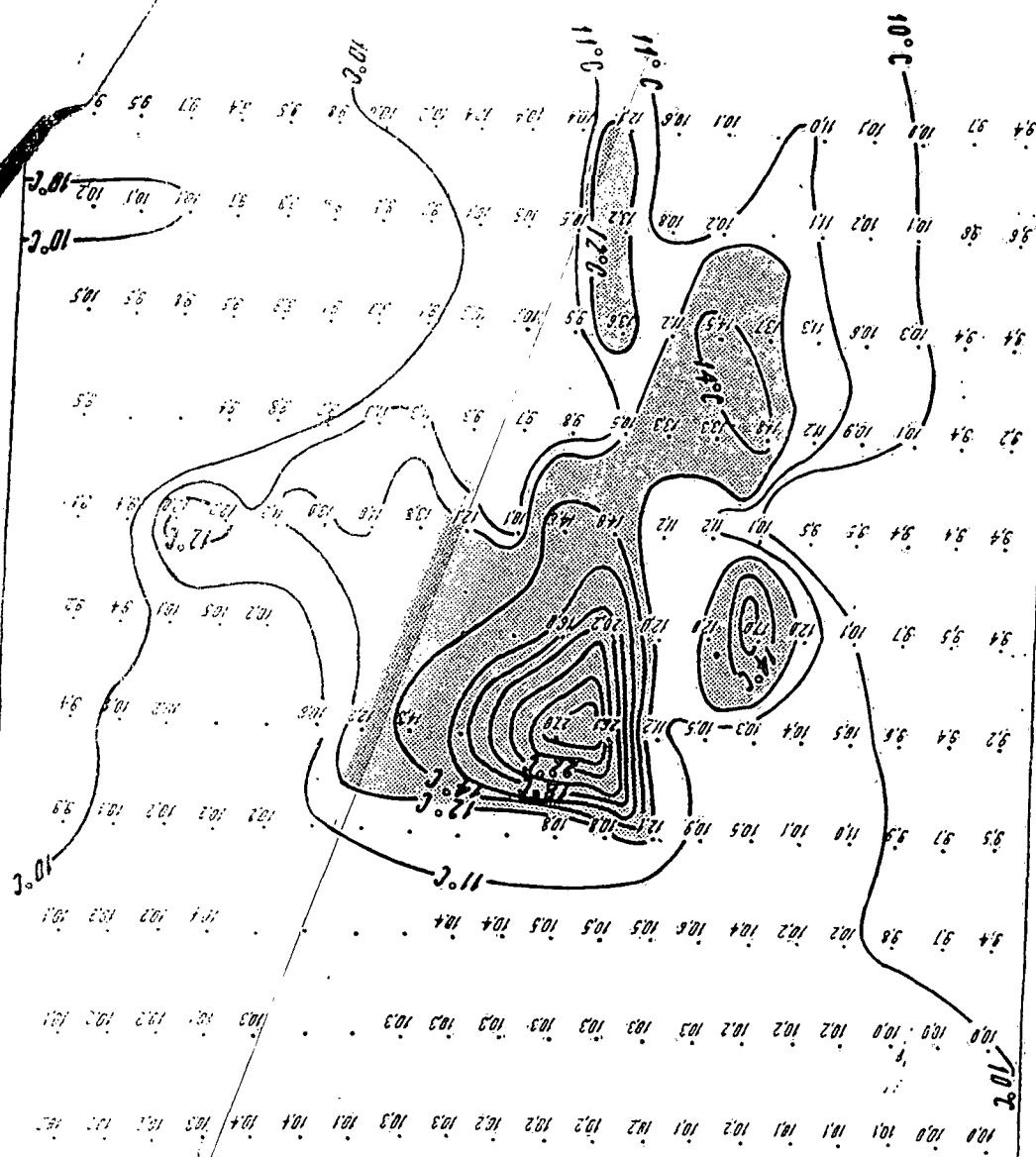


Fig. 1
 KORELATIA RAPORTULUI (Ca+Mg) CU TEMPERATURA IN ZONA
 GEOAGU-BOBILNA-RAPOLTZEL-CALAN



Districte temperaturi la adincarea de 2m



0 50 100 150 200m

GEOAGU-BAI

maxime pînă la 29°C, indicînd existența unor
N.N.V. - S.S.P., cu fracturi de sprijin consti-

teomonumentalizate.
Anomaliile locale de la Bobina și Rapoș
apă temperată în orizonturi superioare și curenții de
vechinatea de extindere în orizonturi inferioare
de zone preferențiale, rîdicate din cauza fiind arbu-

existența a apelor calde omenite ale temperaturii în fo-

de circulație a apelor calde omenite ale temperaturii în fo-

existența unui sistem de fracturi și suprafețe N. S. și
mehide anormale geotermice locale, care aparțin anormalelor
Bobina. *Anomaliile geotermice locale*. La Bobina și Rapoș, în timpul
când au fost realizate de suprafață, apar diferențe în distribuția
de 14,5 - 15,5°C. Dacă se ține seama de perioada de timp în care
în zona Bobina-Rapoș, dar care pare să aibă o amplitudine mai mare (12,5°C)

de măsură utilizată, și există o diferență de 17,8 și, respectiv, 12,4°C
caracter regional, a carei formă și extindere în jurul valorii de 17,8 și, respectiv, 12,4°C
(fig. 3 și 4). Se sugerează, astfel, prezenta unor anomalii geotermice cu
la Bobina și Rapoș, a carei formă și extindere în jurul valorii de 17,8 și, respectiv, 12,4°C
zonei Geoagiu-Bai se apropie de aceeași valoare (fig. 2), fiind termi-
sind de 8,5 - 9,0°C. Văleșca, în timp ce fondul
și 9,5°C, media anuală a temperaturii aerului, pentru regiunea în discuție,
Văleșca, în timp ce fondul
care s-au executat măsurătorile în 2 m adîncime, temperaturii aerului, pentru regiunea în discuție,
termi), dar pe de altă parte, fiind deosebit de interesant în ceea ce privește
Bobina sau Rapoș, dar în unele cazuri deosebit de interesant în ceea ce privește
într-o zonă sau Rapoș, dar în unele cazuri deosebit de interesant în ceea ce privește
măsurătorilor realizate pe depunerile de argilă și nisipuri, în timp ce fondul
Stabilitatea realizată pe depunerile de argilă și nisipuri, în timp ce fondul
investigate. Au fost considerate drept valori anormale pozitive temperaturile
mai mari ca 10°C.

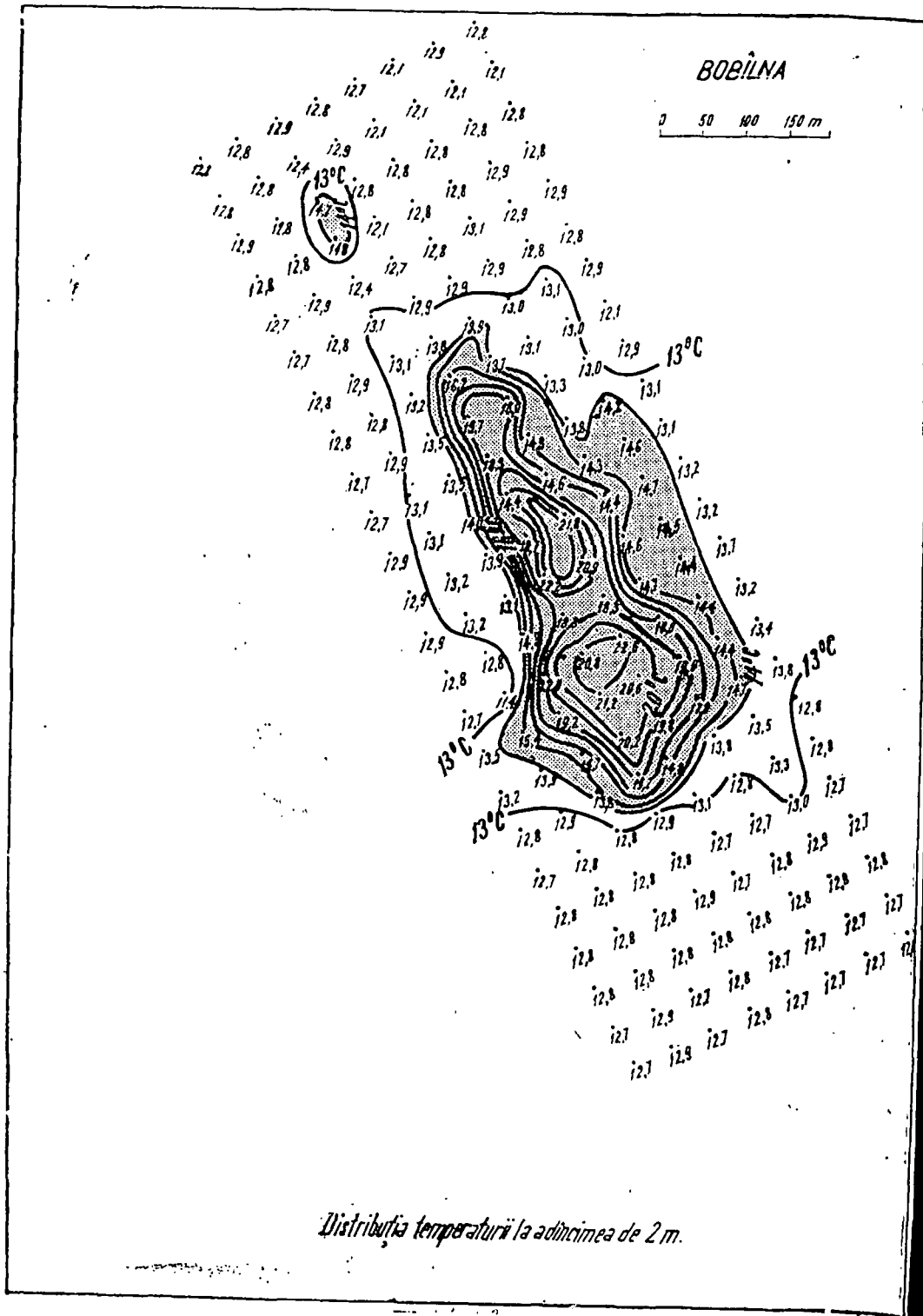


Fig. 3

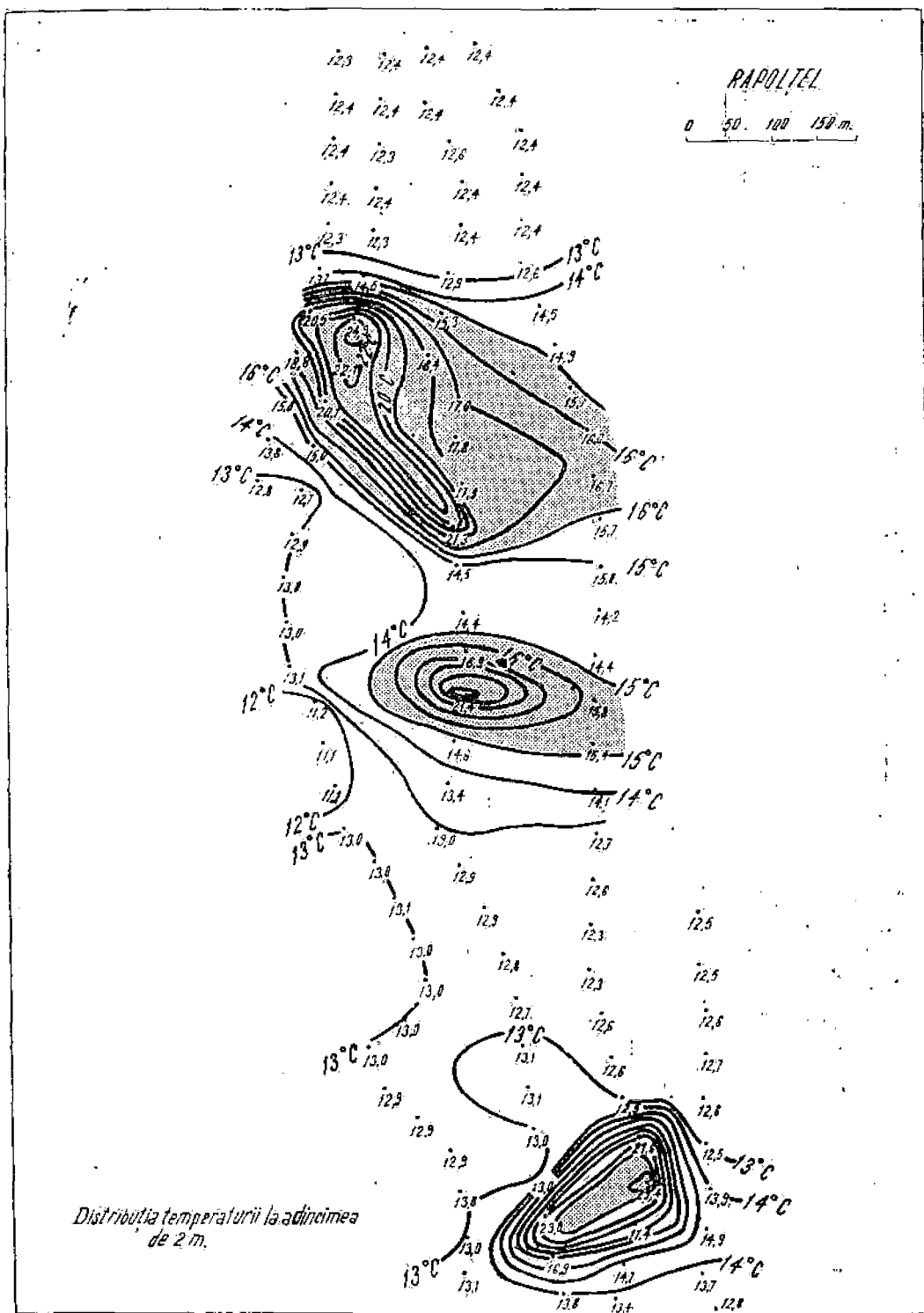
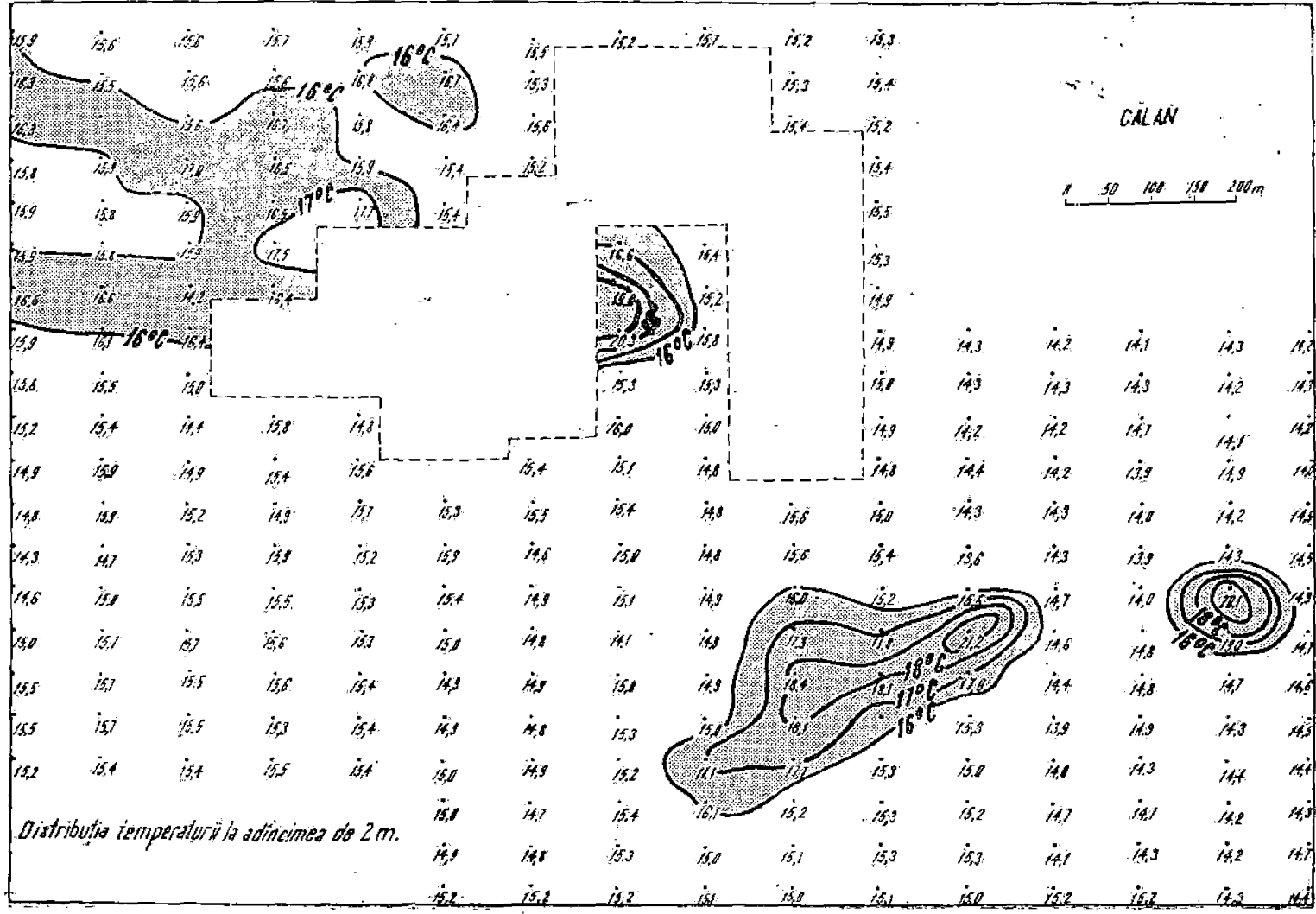


Fig. 4



CIRCULAȚIA APELOR TERMALÉ

Deoarece sursa anomaliilor geotermice, conturate în partea sudică a Munților Apuseni și în bazinul inferior al Streiului, este atribuită activității hidrotermale, trebuie deosebită prezența unei circulații regionale și a unei circulații locale a apelor termomineralizate, corespunzător tipurilor respective de anomalii.

Faptul că aflua de aflorare a depozitelor carbonatice din Cristalinel de Rapolt și din Poiana Ruscă, pot constitui zone de alimentare pentru apele de adâncime din regiune, este demonstrat de datele geologice și geofizice (Berbeleac, 1964; Gheorghiu și colab., 1962; Ionescu și colab., 1963). Circulația acestor ape este asigurată de relativa continuitate a orizonturilor carbonatice în fundamentul Depresiunii Streiului. Din punct de vedere hidrogeologic, la scară regională, complexul rocilor filitice și al rocilor porfiroide este de așteptat să aibă o permeabilitate scăzută, dar zone de falie pot constitui căi de circulație.

Depozitele cretaceice și neogene, deși conțin unele orizonturi cu roci având porozitate remarcabilă, în totalitatea lor ele constituie o acoperitură impermeabilă.

Ținând seama de aceste considerații, a fost imaginată o schemă ipotetică de circulație regională a apelor subterane (fig. 6). Conținutul ridicat în ioni de Ca și Mg, îndreptățește presupunerea unei circulații în orizonturile calcareoase și dolomitice, cu o permeabilitate secundară datorată fisurării și fenomenelor de carstificare.

Structură geologică a regiunii indică o afundare a depozitelor carbonatice până la adâncimi de 2000—3000 m sau chiar mai mult. Cîm gradientii geotermici „normali”, măsurați în regiune, sînt de ordinul a 25—35°C/km, temperatura apei în adâncime ar putea atinge 60°C.

Gradientul hidrodynamic creat de structură, ca și amestecul apelor reci cu cele calde, ducă la apariția unor celule locale convective. Dispoziția spațială și forma acestor celule poate fi intuită din considerații termice și hidro dinamice, aplicate unor modele idealizate de elemente structurale (monoclin faliat, sinclinal, etc.)

În unele locuri, unde situația geologică particulară permite circulația în cadrul celulelor convective are loc în ciclu deschis, pe fracturi și se evidențiază la suprafață prin izvoarele caracterizate de mineralizare redusă și termalitate moderată, de la Geoagiu, Bobilna, Rapoltel și Călan.

Un model de celule convective în ciclu deschis, deci unde există un aport de ape reci de suprafață, a fost imaginat pentru stațiunea Geoagiu-Băi (fig. 7). Atît distribuția temperaturii la 2 m adîncime, cit și temperatura apei din izvoare și foraje, indică direcția V—E de circulație în calcarele cristaline și depozitele acoperitoare, iar datele geochimice și forma anomaliilor geotermice, sugerează prezența a două celule locale, legate de două falii, din care numai una atinge suprafața.

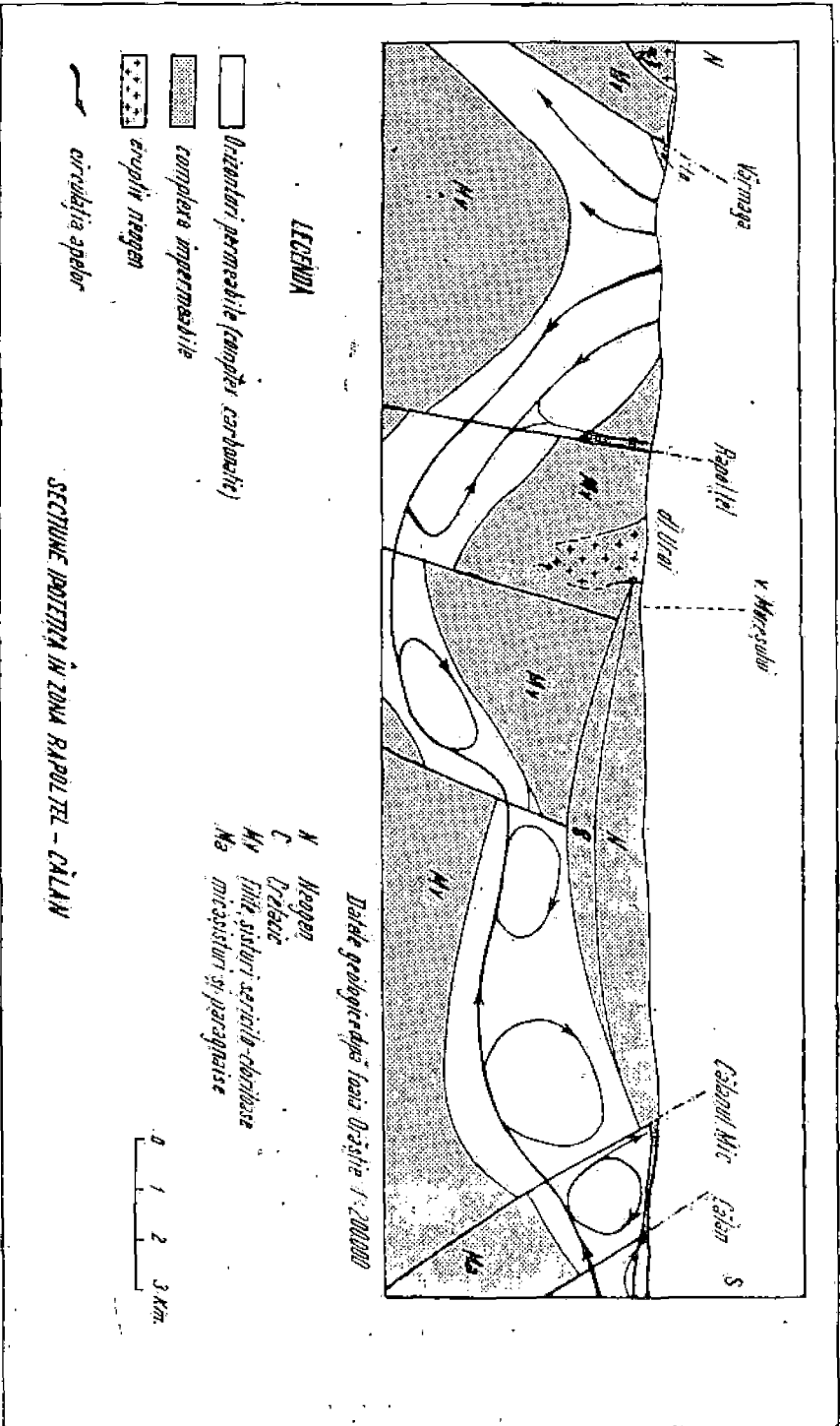


Fig. 6

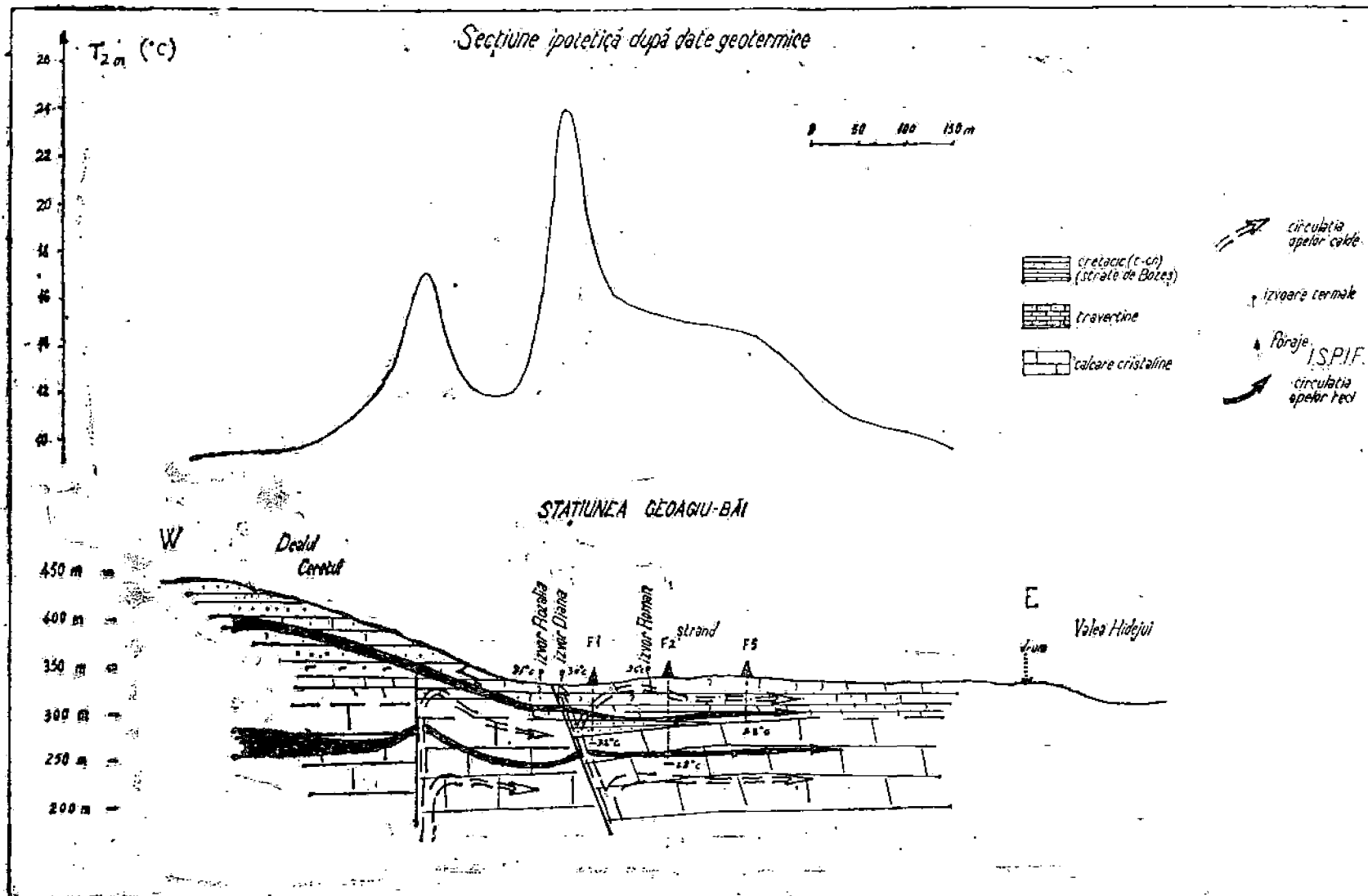


Fig. 7

Localitatea	Amplitudinea medie a anomaliilor geotermice pentru $h = 2$ m.	Conductivitatea termică a depozitelor superficiale	Suprafaţa ocupată de anomalia termică	Căldura transportată conductiv	Izvoare	Temperatura	Debit
	(°C)					(cal/cm sec °C)	
GEOAGIU-BĂI	6	travertine cu intercalaţii argilase 4×10^{-3}	0,270	320	Izv. Tămăduiţii	27	1,5
					Izv. Roman	26	0,03
BOBILNA	7	depozite aluvionare şi de luncă 3×10^{-3}	0,105	210	Izv. Earba	23	10
					Bazin central	24	10
					Bazin sud	20	2
					Bazin nord	22	15
RĂPOLTEI	7	travertine 5×10^{-3}	0,175	500	total izvoare	23	14
CĂLAN	5	argile nisipoase umede 3×10^{-3}	~0,175	~130	„Băile romane” şi bazine de beton	medie 27	Nu s-au executat măsurători de debit

nr. 2
 zona Geozic-Enbilus-Rapotei.

Fontaj	Temperatura (°C)	Debit (l/sec)	Pierderi de căldură prin infiltrații în sedimente superficiale (Kcal/sec)	Căldura transportată convectiv (Kcal/sec)	Cantitatea totală de căldură (Kcal/sec)	Echivalentul energetic teoretic (MW)
F1 S.P.L.P.	22	11,6				
F2 S.P.L.P.	28	9,5				
F3 S.P.L.P.	27	11,5				
F50 S.P.L.P.	27	1,0	~ 200	~ 300	~ 920	~ 3,8
			~ 100	~ 570	~ 780	~ 3,2
			~ 50	~ 210	~ 810	~ 3,4

ESTIMAREA BILANȚULUI GEOTERMIC

Un element important al investigații geotermice, îl constituie estimarea cantității de căldură transportată în diverse moduri din adâncime și disipată la suprafață. Bilanțul geotermic oferă nu numai posibilitatea aprecierii ordinului de mărime al energiei teoretic implicite în zonele geotermale respective, dar furnizează și date care, completate cu măsurători ulterioare, pot evidenția efectul în timp al exploatării acestor zone asupra activității hidrotermale naturale.

Căile diferite prin care cantitatea de căldură provenită din adâncime este transportată spre suprafață și disipată aici, sînt în principal următoarele :

- fluxul geotermic conductiv prin roci ;
- fluxul convectiv prin transportul apei ;
- pierderi de căldură prin evaporare și prin drenarea apei termale în depozitele superficiale.

Datorită faptului că forma anomaliilor geotermice locale din regiune a fost clar conturată, este posibil calculul cantității de căldură propagată conductiv din adâncime, pe unitatea de timp și suprafață, care să justifice amplitudinea măsurată a anomaliilor respective (Kappelmayer et al., 1974).

Cantitatea de căldură transportată convectiv, rezultă din considerații asupra debitului și temperaturii măsurate pentru totalitatea surselor de apă termală din suprafața cercetată. Totodată, ținînd seama de numărul surselor, pot fi apreciate pierderile de căldură, ca un procent aplicat cantității de căldură transportată convectiv.

Analiza datelor bilanțului geotermic, rezumate în tabelul 2, arată că, în zona Rapolțel fluxul conductiv este aproape dublu comparativ cu Bobilna și depășește cu mai mult de 30% valoarea calculată pentru zona Geoagiu-Băi.

Cantitatea totală de căldură și echivalentul energetic teoretic, prezintă valori apropiate pentru cele trei zone (Bobilna, Rapolțel, Geoagiu), dar trebuie ținut seama de aportul forajelor din zona Geoagiu care contribuie substanțial la atingerea unei valori de aproape 1000 Kcal/s.

Cifrele estimative menționate în tabelul 2, oferă o primă idee, foarte generală, asupra posibilităților de exploatare energetică a apelor termale din partea sudică a Munților Apuseni și sugerează faptul important că, aceste ape, chiar la adâncimi mari, nu pot avea temperaturi foarte ridicate.

BIBLIOGRAFIE

1. ARANGO, E. și colab. (1970). *Preliminary study on the Rutz Geothermal Project*. Geothermics (special issue II). Pisa (Italy).
2. BĂRBULEAC, I. (1964). *Cercetări geologice și petrografice în Cristalinul insulei de Rapolt*. D. Ș. Côm. Geol. XI, IX. București.
3. THEORGHIU C. și colab. (1962). *Date noi asupra structurii bazinului inferior al Streului ca rezultat al cercetărilor geologice și geofizice*. An. Com. Geol. XXXII, București.
4. IONĂȘCU, F. și colab. (1963). *Contribuții la cunoașterea fundamentului cristalin din bazinul Streului*. Comunicare la Congresul V al Asociației Carpați-Baleanice.
5. KAPPELMAYER, C. și HAENSEL, R. (1974). *Geothermics with special reference to application*. Berlin.
6. PRICĂJANU, A. (1972). *Apele minere și termale din România*. Ed. tehnică, București.
7. RĂDAȘ, S. (1970). *Harta reliefului fundamentului cristalin din bazinul inferior al Streului*. St. cerc. geol. geogr. seria geofiz. 8, 2, București.
8. TOMESCU, C. și colab. (1969). *Contribuții la stratigrafia depozitelor neogene din Munții Apusei de Sud*. St. cerc. geol. geofiz. geogr. seria geol. 14, 1, București.
9. VILCIEU, S. (1974). *Geothermal contribution to the hydrogeological knowledge of Orădeă area*. Rev. Roum. Geol., Geophys. et Geogr. Ser. Geophys. 18, București.

CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF GEOTHERMAL
MANIFESTATIONS IN THE SOUTHERN PART OF APUȘENI MOUNTAINS
AND STREI BASIN

(ABSTRACT)

Detailed two meters temperature surveys and geochemical studies were carried out at Geagiu, Bobilna, Rapolt and Călan. The geothermal regime of the region has been studied and conclusions have been drawn regarding warm water circulation. The deep reservoir temperature seems to be round to 60°C and heat discharge within each local anomaly is 700—900 Kcal/sec.

Geothermics, Vol. 6, pp. 95-98. Pergamon Press, 1977. Printed in Great Britain.

PRELIMINARY DATA OF HEAT FLOW DISTRIBUTION IN ROMANIA

S. VELICIU

Institute of Geology and Geophysics, Caransebes 1, Bucharest, Romania

M. CRISTIAN

Research and Project Institute for Oil and Gas, Bd. Culturii 29, Cimpina, Romania

D. PARASCHIV

M.M.P.G., General Direction of Geology, Mandeleev 34, Bucharest, Romania

and

M. VISARION

Institute of Geology and Geophysics, Caransebes 1, Bucharest, Romania

Abstract—Heat flow values in 21 deep wells in various geological units of Romania were obtained. Some correlations among heat flow within the Moldavian platform (0.92-1.39 HFU), the Moesian platform (1.06-1.86 HFU) as well as the Carpathian folded chain (1.12-2.25 HFU) and structural features of these major units could be established.

INTRODUCTION

Systematic investigation of the terrestrial heat flow in Romania not only concerns earth physics but is also interesting today for more accurate interpretations of the origin of the geothermal areas as well as the relation between temperature in the upper crust and ore and petroleum accumulations.

Except for a few studies dealing with temperature or gradient within particular areas (Paraschiv and Cristian, 1973; Paraschiv *et al.*, 1975; Veliciu, 1974; Visarion *et al.*, 1974), thermal properties of rocks (Demetrescu, 1973) and a heat flow map using the unstabilized temperature in oil wells and conductivity values from literature (Negoișă, 1970), no attempt has been made in the ground-based measurement of heat flow. The aim of the present study is to make an initial attempt at improving this situation.

GEOLOGICAL OUTLINE

From a geological point of view Romanian territory is dominated by the Carpathian folded chain and its foreland. The foreland is generally divided into two regional tectonic units with basements of different ages: the Moldavian platform belonging to the Epikarelian or Epialgomian East-European craton and the Epihercynian Moesian platform.

The Carpathian chain belongs to the northern branch of the Alpine orogenic belt. The mountain system (Eastern Carpathians, Southern Carpathians together with the Apuseni Mountains) surrounds a central depression (Transylvanian basin), the eastern border of the Pannonian area and a continuous foredeep in front of the platforms.

Each of the above mentioned units reveals distinct tectonic features as shown on the tectonic map of Romania (Dumitrescu and Săndulescu, 1970) and some of them were discussed in the

explanatory text for the seismotectonic map of Romania (Constantinescu, Cornea and Lăzărescu, 1973). The following remarks are more relevant.

The Moldavian platform has a cata- and mesozone metamorphic basement covered by the almost undisturbed sedimentary Lower Paleozoic, Middle Cretaceous and Neogene deposits. Towards the west and south the basement descends in step faults.

The Moesian platform has a heterogeneous basement with the following sub-units: Scythian Paleozoic platform and North-Dobrogean Hercynian orogene, the "green schists" unit with upper Proterozoic flysch, the Southern Dobrogea and Wallachian zone with two tectonogenic stages (chloritic-sericitic Precambrian schists and old Paleozoic folded marine formations). The sedimentary cover is relatively thin and differentiated on each structural sub-unit.

The Eastern Carpathians are characterized by a large development of flysch deposits and a complicated Alpine structure with numerous "nappes" overthrusting one another, mainly outwards. Both the geological and geophysical data suggest that the "nappes" were generated by underthrusting of the old Moldavian platform. A volcanic arc whose building began in the Tortonian and concluded in the latest Pliocene, follows the northern and eastern border of the inner Carpathian zone.

The whole crystalline basement and the sedimentary cover of the Southern Carpathians were overthrust by Austrian and Laramian movements into two main tectonic units: Getic "nappe" and Danubian Autochthonous. The Getic "nappe" has a meso- and catazone metamorphic basement, while the principal feature of the Danubian Autochthonous is an epimetamorphic basement penetrated by granite intrusive bodies.

From the structural point of view the Apuseni Mountains are divided into two distinct regions: the south-eastern Apuseni (Mureş Mountains) and the north-western Apuseni. Both are crossed by Laramian "banatites" in a volcanic facies and by Neogene volcanites.

MEASUREMENT OF GEOTHERMAL GRADIENT AND CONDUCTIVITY

The 21 deep wells listed in Table 1 were subjected to geothermal investigations. The wells were chosen in order to cover the major structural units. The intervals of the wells, where both geothermal gradient and associated heat conductivity were determined, were also selected on the basis of the typical litho-stratigraphic features of the geological units.

Table 1. Temperature gradient, thermal conductivity and heat flow values

Well	Coordinates		Elevation a.s.l. (m)	Depth interval of heat flow determination (m)	Temperature gradient (°C/m)	Thermal conductivity (cal. C m/s)	Heat flow	
	lat. N.	long. E.					(HFU)*	(mW/m ²)
F. 1	45 03'	26 03'	290	1848-2100	0.0295	0.00553	1.60	67
F. 2	45 11'	26 19'	315	5511-5653	0.0211	0.00545	1.15	48
F. 3	44 53'	23 25'	220	2930-3440	0.0287	0.0062	1.78	75
F. 4	45 02'	23 25'	298	1123-1250	0.037	0.0052	1.92	80
F. 5	44 47'	26 49'	64	2569-2724	0.0242	0.0044	1.06	44
F. 6	44 31'	25 42'	144	1223-1404	0.037	0.0045	1.66	70
F. 7	44 14'	23 53'	182	1546-1709	0.0445	0.0042	1.86	78
F. 8	44 20'	24 03'	204	2092-2422	0.035	0.0042	1.40	59
F. 9	44 48'	25 49'	168	5069-6255	0.0176	0.00705	1.24	52
F. 10	46 37'	26 29'	501	1520-1610	0.02	0.0056	1.12	47
F. 11	46 30'	26 40'	480	850-1012	0.023	0.0056	1.28	54
F. 12	47 08'	26 25'	440	2412-2915	0.0257	0.00402	1.02	43
F. 13	47 03'	26 25'	409	3816-4038	0.028	0.00615	1.39	58
F. 14	47 28'	26 05'	424	2183-2284	0.018	0.00515	0.92	39
F. 15	46 49'	27 09'	80	1731-1883	0.0179	0.00516	0.92	39
F. 16	47 13'	22 13'	148	2304-2502	0.0505	0.0043	2.25	94
F. 17	44 51'	22 24'	311	610-785	0.04	0.0055	2.20	92
F. 18	46 15'	25 44'	525	314-510	0.05	0.00395	1.98	83
F. 19	46 31'	24 45'	380	2080-2354	0.028	0.0062	1.72	74
F. 20	46 09'	22 53'	712	215-402	0.035	0.00537	1.85	79
F. 21	46 12'	21 20'	120	193-377	0.045	0.00449	2.02	85

* 1 HFU = 10⁻⁷ cal cm/s.

All wells were thermally stabilized and were left undisturbed for at least some months. Temperature measurements were carried out by means of a depth logging electric thermometer with an accuracy of more than $\pm 5\%$.

Heat conductivity was determined in the laboratory experiments using the "needle probe" transient method (Von Herzen and Maxwell, 1959; Woodside and Messmer, 1961). Each wet sample was measured four times, the differences observed on thermal conductivity falling within $\pm 6.2\%$ in respect of the average.

The results of gradient and heat conductivity measurements as well as the heat flow are given in Table 1. No correction was applied.

HEAT FLOW

A relatively small number of heat flow determinations with respect to the tectonic complexity of Romanian territory, leads to a global interpretation only.

The heat flow values indicated on the map in Fig. 1 suggest possible correlations among some thermally individualized areas and major structural units, i.e. Moldavian platform, Moesian platform, Carpathian orogen (including depressions).

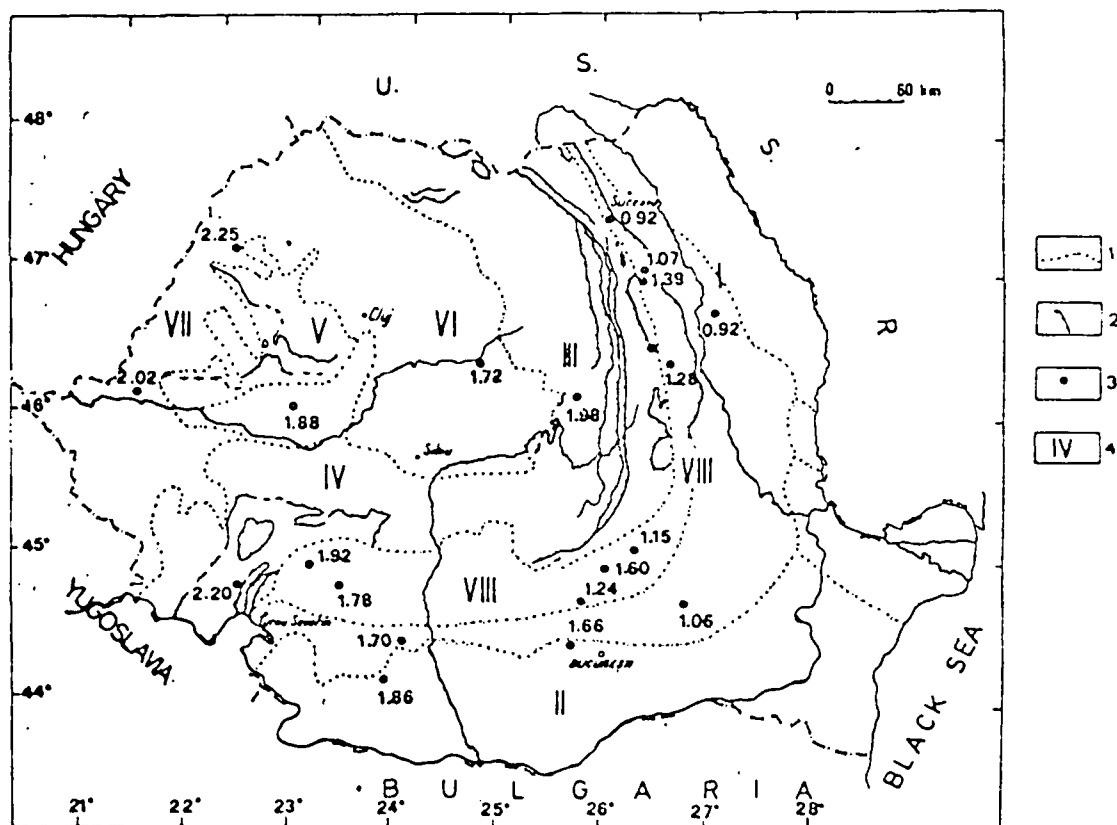


Fig. 1. Heat flow stations in Romania and schematic tectonic map. 1—limits of the tectonic sub-units. 2—"nappes". 3—heat flow values ($\mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}$). 4—tectonic units (I Moldavian platform; II Moesian platform; III Eastern Carpathians; IV Southern Carpathians; V Apuseni Mountains; VI Transylvanian Depression; VII Pannonian Depression; VIII Carpathian foredeep).

The Moldavian platform is characterized by low heat flow (0.92–1.39 HFU) with an increasing trend toward the Alpine orogenic limit. The average of the values (1.05 HFU) in this tectonic unit is

slightly above the arithmetic mean (0.96 HFU) calculated for the pre-Cambrian folded region of Eurasia (Lubimova and Polyak, 1969).

The values in the Moesian platform can be grouped in two distinct areas: a western part with relatively high heat flow (1.66-1.86 HFU) and an eastern one with lower heat flow (1.06-1.60 HFU). The average heat flow (1.54 HFU) is in agreement with the arithmetic mean (1.60 HFU) for the Hercynian folded region of Eurasia.

The Carpathian chain (including depressions) is characterized by heat flow ranging from 1.12 to 2.25 HFU. This broad interval is a consequence of various geological and tectonic features: the crown-shaped structure of the mountains surrounding the Transylvanian basin, the large development of Cretaceous and Paleogene flysch deposits, the presence of ophiolites and important masses of Neogene volcanites. The features mentioned are an expression of the peculiar structure of the earth crust in the region where the Alpine orogenic belt comes in direct local contact with the old east-European craton.

The average heat flow (2.04 HFU) in the Carpathian orogen takes over the mean heat flow statistically calculated for the Cenozoic folded regions of Eurasia (1.80 HFU). An important contribution to increasing the average comes from the remarkable hydrothermal activity in the Pannonian Depression.

CONCLUSIONS

The geographic distribution of the heat flow values on Romanian territory reveals some relations between the thermal field and the geological features of the major tectonic units, i.e. Moldavian platform, Moesian platform, Carpathian orogen. So far, the extent of the data permits only general considerations to be made and they cannot be considered as final.

REFERENCES

- Constantinescu, L., Cornea, I. and Lăzărescu, V. (1973) Seismotectonic map of Romania. *Proc. Sem. Seismotectonic Map Balkan Region, Dubrovnik 17-26 April 1973, UNESCO Skopje*.
- Demetrescu, C. (1973) Thermal conductivity of some rocks from Romania. *St. cer. geol. geofiz. geogr. Geofizica* 11, 2. (in Romanian).
- Dumitrescu, I. and Săndulescu, M. (1970) Roumanie, Carte tectonique. Echelle 1:1,000,000. *Institutul geologic, Bucharest*.
- Lubimova, E. A. and Polyak, B. G. (1969) Heat flow map of Eurasia. The earth's crust and upper mantle. *Geophys. Mon.* 13, *Am. Geophys. Union*.
- Negoită, V. (1970) Etude sur la distribution de temperature en Roumanie. *Rev. Roum. Géol. Géophys. Géogr. Géophys.* 18, 25.
- Paraschiv, D. and Cristian, M. (1973) On the particularities of the thermal field in the north-eastern part of the Pannonian Depression. *Petrol si Gaze* 24, 11 (in Romanian).
- Paraschiv, D., Ghenea, C., Vasilescu, G., Opran, C., Pricăjanu, A. and Gălita, A. (1975) The research stage of thermal waters in Romania and possibilities of revealing new aquifers. *Inst. geol. geofiz. Stud. tehn. econ. Ser. E.* 12.
- Veliciu, S. (1974) Geothermal contributions to the hydrogeological knowledge of Oradea area. *Rev. Roum. Géol. géophys. Géogr. géophys.* 18, 81.
- Visarion, M., Apostol, A. and Stănescu, R. (1974) Geophysical research for thermomineral waters in Herculane area. *St. cer. geol. geofiz. geogr. Geofizica* 12, 135 (in Romanian).
- Von Herzen, R. P. and Maxwell, A. E. (1959) The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle-probe method. *J. geophys. Res.* 64, 10, 1557-1563.
- Von Herzen, R. P., Maxwell, A. E. and Snodgrass, J. M. (1962) 78 measurements of heat flow through the ocean floor. Temperature, its measurement and control. *Sci. Ind.* 3, 1.
- Woodside, W. and Messmer, J. H. (1961) Thermal conductivity of the porous media. *J. appl. Phys.* 32, 9.

P. COSENTINO, V. VĂJDEA, S. VELICIU

**INDAGINI GEOTERMICHE PER LA RICERCA DI ACQUE TERMOMINERALI
NELLA ZONA A NORD DI MANGALIA (ROMANIA).**

UNIVERSITY OF UTAH
RESEARCH INSTITUTE
EARTH SCIENCE LAB.

Estratto da:

ATTI DEL 3° CONVEGNO INTERNAZIONALE SULLE ACQUE SOTTERRANEE

PALERMO - 1 - 5 NOVEMBRE 1975

P. COSENTINO*, V. VĂLDEA**, S. VELICIU**

INDAGINI GEOTERMICHE PER LA RICERCA DI ACQUE TERMOMINERALI NELLA ZONA A NORD DI MANGALIA (ROMANIA).

RIASSUNTO

Questo lavoro è stato eseguito per studiare, attraverso l'analisi delle anomalie geotermiche superficiali, la circolazione sotterranea di acque termominerali in rocce calcaree nella zona a nord di Mangalia (Dobruja del sud, Romania), dove sono peraltro presenti alcune manifestazioni superficiali.

Nella zona in studio è stata eseguita una serie di misure geotermiche superficiali, disposte su due profili lunghi rispettivamente circa 1 km e 7 km, di cui vengono riportate le tecniche adoperate ed i risultati ottenuti.

Lungo i profili eseguiti sono state individuate le anomalie di temperatura, sia positive che negative, la cui interpretazione, in relazione ai dati geologici di base, ha permesso di localizzare le zone di frattura, che costituiscono gli assi drenanti per il flusso delle acque termominerali sotterranee.

SUMMARY

This work has been carried out in order to study, by means of geothermal anomalies investigations, the thermomineral groundwater flow in limestones in the area north of Mangalia (Southern Dobruja, Roumania), where there are some surface phenomena already indicating its presence.

In this area a series of geothermal superficial measurements distributed on two profiles about 1 km and 7 km respectively long, has been executed, and the techniques and the results are here presented.

Along these profiles positive and negative temperature anomalies have been localized, and their interpretation, in connection with geological data, allowed the identification of the fracture zones, representing the drainage axis for the thermomineral groundwater flow.

Introduzione

L'obiettivo della ricerca è stato quello di studiare la circolazione sotterranea di acque termali attraverso l'analisi delle anomalie geotermiche prodotte sugli strati superficiali.

La zona in esame, a Nord di Mangalia, è nota infatti per la presenza di acque termominerali a basso tenore termico.

Si è cercato di mettere in evidenza il sistema di fratture che costituiscono le vie preferenziali di scor-

rimento sotterraneo per queste acque. Questa ricerca riveste anche particolare interesse dal punto di vista economico, in quanto una conoscenza più dettagliata permette un più razionale sfruttamento delle risorse, consentendo di stabilire con criteri geologici e geofisici sia il perimetro di protezione idrogeologica del bacino, sia l'esatta ubicazione dei punti più idonei per eseguire le perforazioni necessarie per lo sfruttamento.

Le condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche a nord di Mangalia ci hanno permesso di eseguire soltanto due profili geotermici, il primo lungo circa 7 km ed il secondo, all'incirca parallelo al primo, lungo circa 1 km.

Le ricerche eseguite hanno inoltre consentito di mettere a punto e collaudare un'apparecchiatura, ap-

* Istituto di Geofisica Mineraria - Università di Palermo.

** Institutul de Geologie și Geofizică - Bucaresti.

positamente progettata e costruita presso l'Istituto di Geologia e Geofisica di Bucarest, che si è peraltro rivelata perfettamente adatta allo scopo.

Le misure sul terreno sono state eseguite nel mese di settembre 1973.

Lineamenti geologici

La zona di ricerca, situata a Nord di Mangalia sulla costa occidentale del Mar Nero, appartiene all'unità geologica della Dobrugia del Sud (figg. 1 e 2).

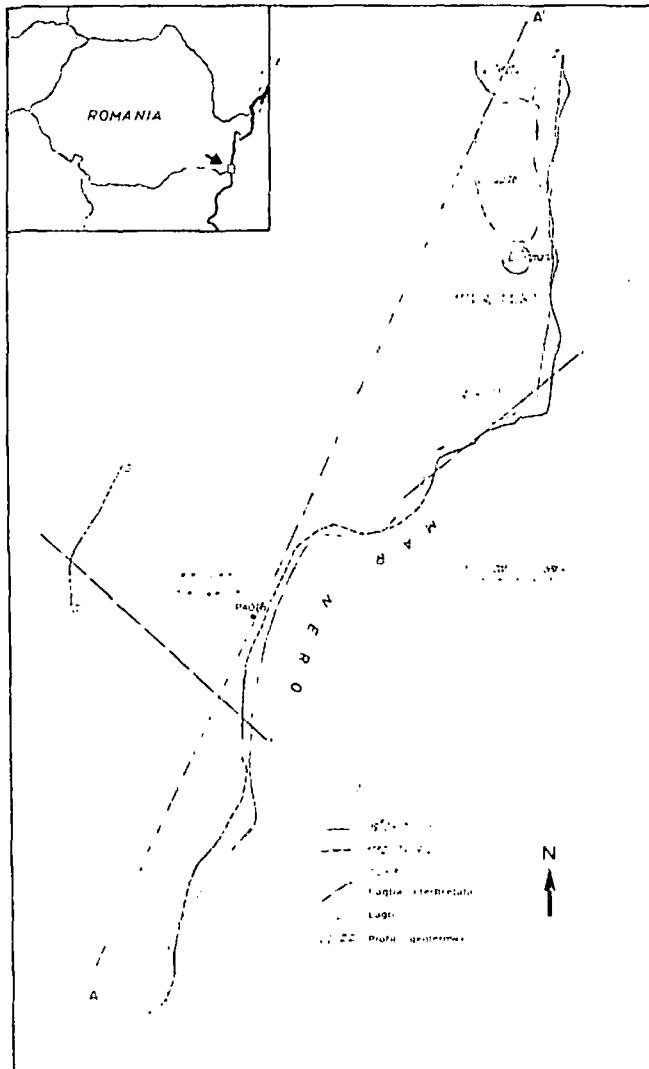


Fig. 1 - Planimetria della zona in istudio.

Questa unità (ONCESCU, 1965), costituita da depositi epicontinentali mesozoici e terziari, con tettonica plicativa leggera o assente, è caratterizzata da piccoli spessori e da lacune di sedimentazione.

Essa giace come copertura sopra un basamento paleozoico ripiegato, entro cui i sondaggi meccanici hanno evidenziato depositi siluriani e devoniani.

Il Mesozoico è rappresentato da un'alternanza di depositi di tipo calcareo e calcareo-detritico, con una successione incompleta.

Il Giurassico, per la mancanza di dati paleontolo-

gici non è stato ancora suddiviso. Nel Cretacico sono stati trovati depositi appartenenti al Barremiano, Albiano, Cenomaniano e Senoniano.

I depositi sarmaziani, che affiorano nella zona sia nelle valli principali che nella falesia del Mar Nero, coprono le arenarie eoceniche ed i calcari oligocenici.

Il Quaternario è rappresentato da argille rosse e verdi coperte da depositi colici, nonché da depositi marini.

Dal punto di vista strutturale (CHIRIAC, 1961) gli studi geologici hanno evidenziato nel Mesozoico la presenza di una tettonica plicativa con piccole pendenze e con piccole discordanze angolari.

I movimenti tettonici avvenuti in questa regione di piattaforma sono da considerarsi in complesso di tipo epirogenetico.

Lineamenti idrogeologici

Le perforazioni eseguite nel Sud della Dobrugia hanno messo in luce l'esistenza di un importante strato acquifero nella formazione cristallina e nei depositi devoniani, giurassici, cretacei, eocenici, sarmaziani e quaternari (PRICAJAN, 1972).

Nella zona di Mangalia i depositi paleozoici acquiferi sono stati intercettati da un pozzo artesiano che fornisce acqua minerale alla temperatura di 26° C. Il pozzo n. 5082 ha incontrato tre orizzonti litologici, a profondità comprese tra 579 e 1203 m, appartenenti probabilmente al Devoniano. Dalla litologia degli orizzonti devoniani intercettati a Mangalia è stata riscontrata una scarsa e non uniforme fessurazione che consente la presenza di strati acquiferi con ridotte possibilità di sfruttamento (circa 0,74 m³/h per l'orizzonte permeabile situato a 676 m), ma le acque che si accumulano hanno caratteristiche artesiane (13,5 m sopra il livello del suolo).

Dal punto di vista idrochimico le acque degli orizzonti devoniani sono di tipo salso-solfatico-alcaline (CASTANY, 1963; DESTO, 1973) con una mineralizzazione di 1.87 ÷ 3.37 g/l.

Ad esempio un'analisi tipica ha dato:

Cl	1.21 g/l	Br	0.006 g/l	NH ₄	0.001 g/l	Fe	0.0001 g/l
SO ₄	0.115 g/l	I	0.0001 g/l	Na	1.0 g/l	H ₂ SiO ₃	0.01 g/l
NO ₂	ass.	HCO ₃	0.86 g/l	Ca	0.06 g/l	Mg	0.02 g/l

Le acque termominerali sotterranee delle formazioni appartenenti al Mesozoico ed al Terziario vengono accumulate nei livelli permeabili del Giurassico, Cretacico ed Eocenico: le profondità alle quali sono stati reperiti questi orizzonti nei pozzi n° 5081 e 5082 sono state schematicamente riportate in fig. 3.

Il Giurassico è costituito alla base da calcari arenacei talvolta marnosi, seguiti da marnocalcari grigi ed, infine, da uno spesso pacchetto di calcari dolomitici fessurati.

Il Cretacico ha alla base calcari bianchi fessurati e, nella parte superiore, sabbie più o meno argillose. I depositi eocenici, di spessori ridotti, sono costituiti alla base da arenarie glauconitiche con mummuliti e, sopra, da calcari con intercalazioni argillose.

mineralizzazione di solfuri polimetallici, la presenza di minerali radioattivi, ecc...

A Mangalia queste sorgenti locali sono generate sia dalle acque termali accumulate negli orizzonti superiori che dalla circolazione dell'acqua attraverso le fratture.

La possibilità di evidenziare queste sorgenti termiche locali esiste solo quando, per la tecnica di misura adoperata e per il metodo di processare i dati, è possibile separare gli effetti perturbatori dovuti a fenomeni locali secondari che condizionano il flusso di calore alla superficie del suolo. Il regime termico nelle immediate vicinanze del suolo dipende infatti anche da questi fattori secondari che generalmente non possono essere espressi in maniera quantitativa precisa, e dipendono dalla topografia della regione, dal grado di copertura vegetale, dal contenuto di umidità nel suolo, dal colore del suolo, ecc...

L'influenza di una parte di questi fattori si prolunga, nel tempo (tipici fenomeni « a tempo di rilas-



Fig. 4 - Preparazione di un foro in cui deve venire introdotto l'elemento termiosensibile.

samento»), ed il senso della loro azione può cambiare in funzione dell'orario o della stagione.

Le ricerche teoriche e le osservazioni pratiche hanno indicato che l'esecuzione delle misure di temperatura ad una profondità di circa 2 m nel terreno, eli-

mina la maggior parte delle perturbazioni determinate da questi fenomeni locali secondari.

In pratica le misure della temperatura sono state eseguite introducendo nel terreno da indagare un elemento termiosensibile, montato su un'asta lunga 2,2 m, in piccoli pozzetti ottenuti per mezzo di un motoperforatore (fig. 4).

Il termometro utilizzato è stato progettato e costruito presso l'Istituto di Geologia e Geofisica di Bucarest (a sinistra in fig. 5).

Questo geotermometro funziona in linea di principio come un ponte di Wheatstone che ha su uno dei bracci un termistore. La sua precisione di misura è di 0,1 °C ed il range di misura 0 — 50 °C, in dieci scale.

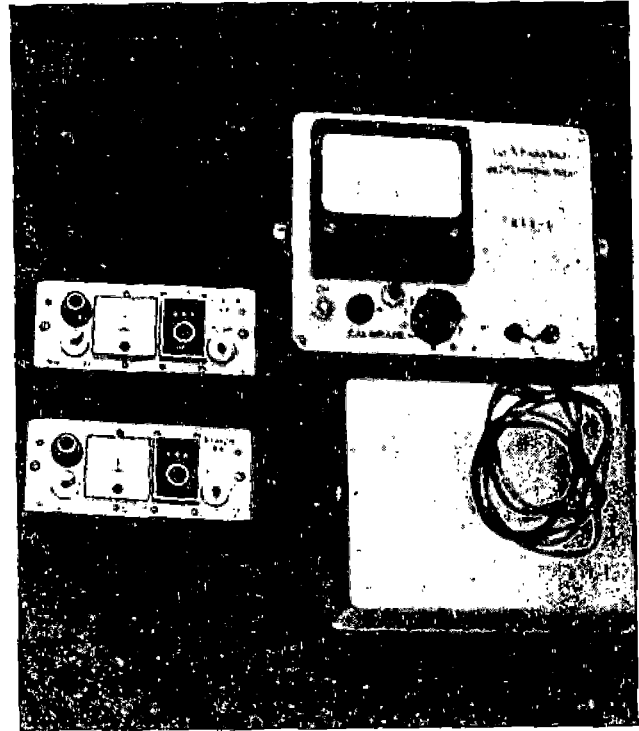


Fig. 5 - Termometri utilizzati per l'esecuzione delle misure (a sinistra) ad un termometro di costruzione tedesca (a destra).

Dopo un'ora dal posizionamento degli elementi termiosensibili (l'equilibrio termico è raggiunto in meno di un'ora) mediante l'applicazione del termometro vengono misurate le temperature, che in tal modo non sono apprezzabilmente alterate dalle variazioni climatiche diurne.

Poiché la prospezione sul terreno necessita abitualmente di un periodo di qualche settimana, si deve procedere ad una correzione per l'influenza del cambiamento annuale del clima.

I punti di misura, distanziati tra loro di circa 50 m, sono stati localizzati su due profili osservabili in fig. 1.

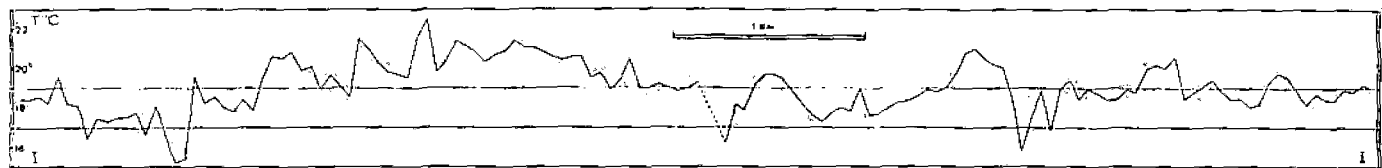


Fig. 6 - Profilo geotermico I-I la cui ubicazione è segnata in fig. 1. I valori compresi entro la fascia 17°C e 19°C sono considerati normali. Anomalie positive e negative si possono osservare al disopra e al disotto di questa fascia.

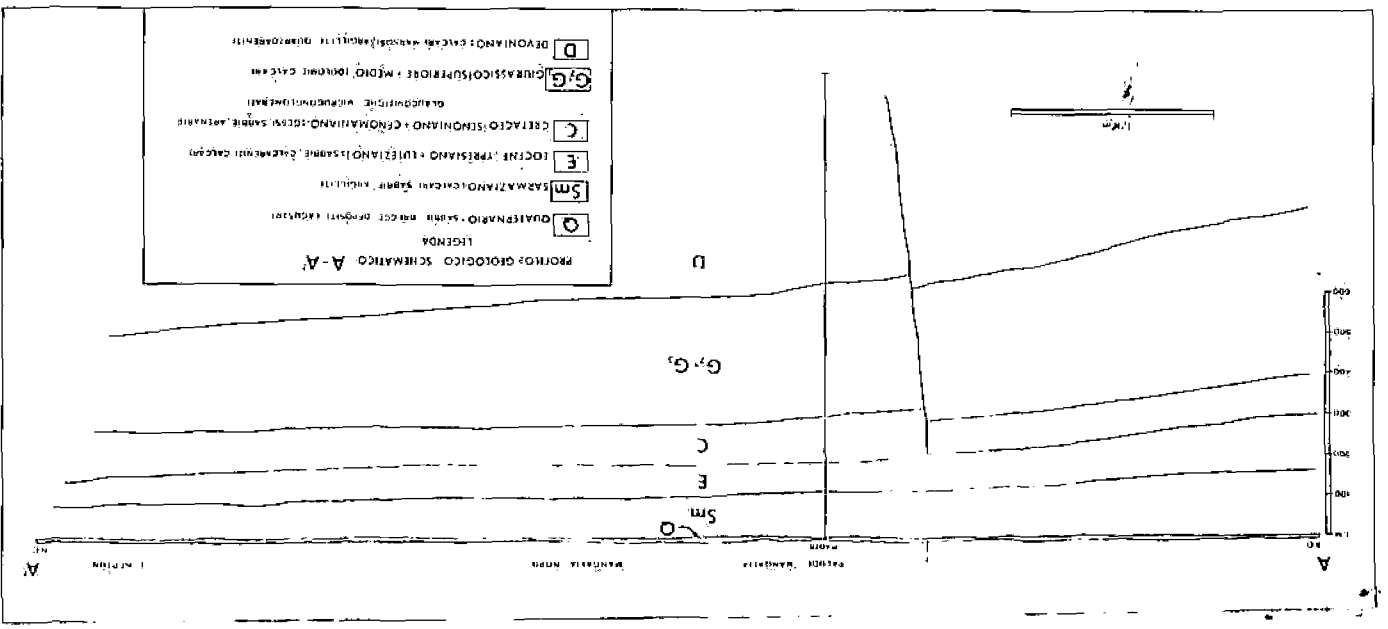


Fig. 2 - Profilo geologico schematico della sezione A-A' tracciata nella planimetria in fig. 1.

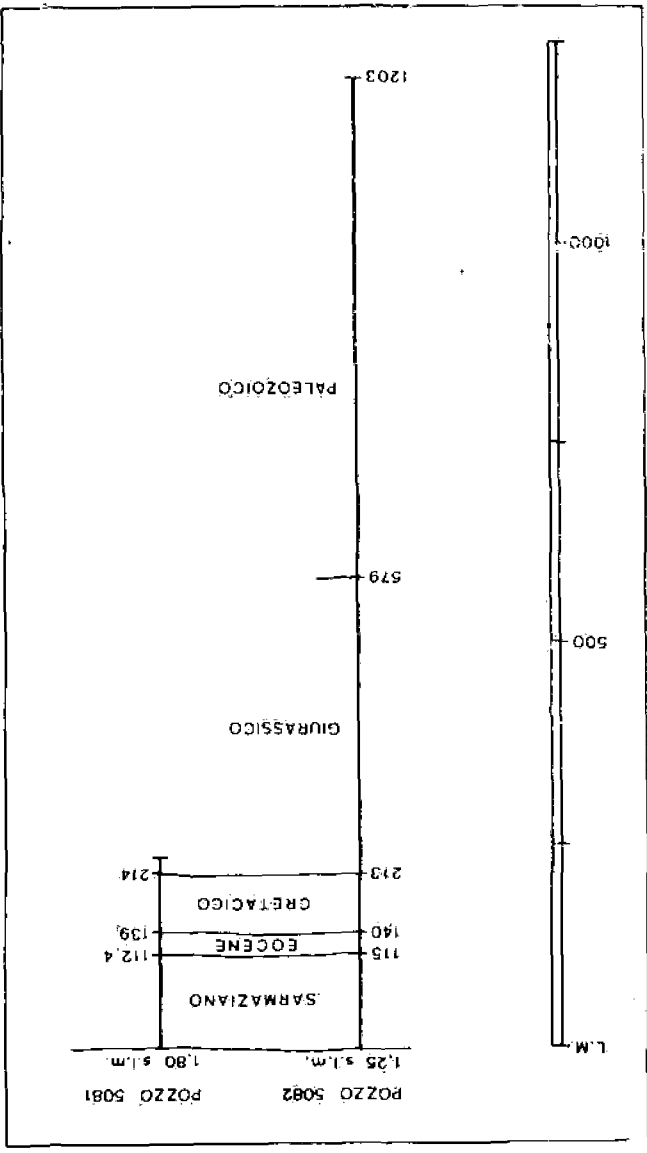


Fig. 3 - Sezione schematica ricostruita in base alle perforazioni dei pozzi n° 5081 e 5082.

Il metodo di prospezione geotermica prende in considerazione tre elementi essenziali che determinano il valore della temperatura nel terreno: il flusso di calore dall'interno della crosta terrestre verso la superficie, la radiazione solare, ed il processo di trasferimento dell'energia termica nel terreno stesso.

L'analisi di questi elementi suggerisce la possibilità di evidenziare, con le misure di temperatura, le anomalie prodotte dal contrasto di conducibilità termica tra diversi tipi di rocce con il contributo di sorgenti locali di calore, come, ad esempio, la presenza di fanglie a circolazione di acque termali, l'ossidazione e la

Indagine geotermica

minerali sono sotto pressione. Gli svari acquiferi da cui provengono le acque termali nella zona di palude, ed anche lungo la costa, sono positive rispetto al livello del mare, e ciò dimostra che Le quote di tutte le sorgenti a Nord di Mangalia, esistenti, alimentano la zona più superficiale.

presamaziane che, attraverso le numerose fratture pone sia legata agli svari acquiferi delle formazioni sorgenti sommarie: la loro origine tuttavia si suppone il litore sia come sorgenti subaeree che come

Queste sono presenti negli affioramenti sarmaziani lungo il litorale sia come sorgenti subaeree che come

La temperatura di queste acque è di circa 26° C e la loro termalità (Schoeller, 1949) è stata attribuita ad un gradiente geotermico regionale più elevato e, secondariamente, al flusso di calore sviluppato durante il processo di ossidazione della parte disseminata in certi tipi di rocce presenti.

Nei dintorni di Mangalia si può osservare un numero relativamente elevato di sorgenti solfate con temperatura di circa 22° C.

Le prove sperimentali di pompaggio hanno indicato per questo acquifero valori di portata interessanti. La temperatura di queste acque è di circa 26° C e la loro termalità (Schoeller, 1949) è stata attribuita ad un gradiente geotermico regionale più elevato e, secondariamente, al flusso di calore sviluppato durante il processo di ossidazione della parte disseminata in certi tipi di rocce presenti.

Per la mancanza di importanti livelli impermeabili depositi giurassici, cretacei ed eocenici costituiscono un unico acquifero che è separato per mezzo di una formazione argillosa dalle acque accumulate nei depositi sarmaziani.

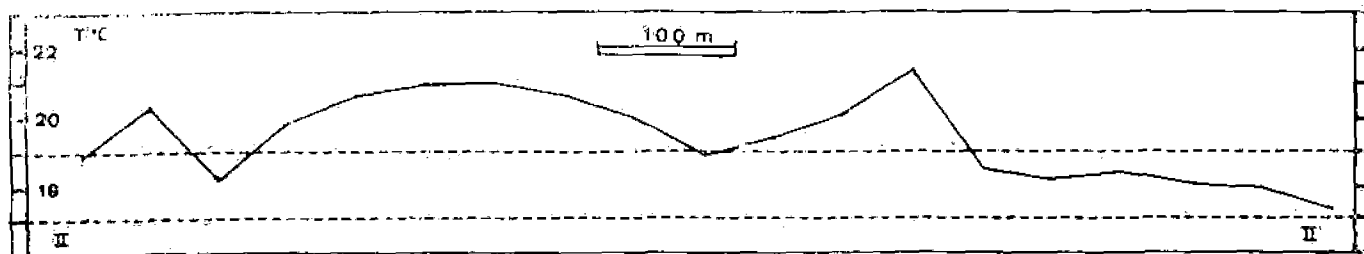


Fig. 7 - Profilo geotermico 11-11' la cui ubicazione è segnata in fig. 1. La fascia tra le due linee tratteggiate comprende i valori normali di temperatura.

L'orientazione dei profili è stata determinata dalle condizioni geomorfologiche esistenti nella regione.

Risultati ottenuti e loro interpretazione

In base ai dati delle misure, opportunamente corrette; sono stati costruiti i profili geotermici presentati nelle figg. 6 e 7.

Questi profili pongono in evidenza l'esistenza di un'anomalia di temperatura lungo il limite del litorale, come anche ad Ovest della zona di palude.

Sono state considerate anomalie positive i valori di temperatura maggiori di 19 °C, valori normali (per il periodo in cui è stato eseguito il lavoro di campagna) quelli compresi tra 17 °C e 19 °C. I valori di temperatura più bassi di 17 °C sono stati considerati anomalie negative.

Nell'interpretazione dei risultati della ricerca geotermica è necessario tenere in considerazione, come in tutti i metodi geofisici, il parametro fisico con il quale le eterogeneità presenti nel sottosuolo stabiliscono una certa distribuzione di campo di temperatura in superficie.

In questo caso il parametro è rappresentato dal contrasto tra le conducibilità dei diversi tipi di rocce, è tale contrasto si presenta in special modo nelle zone di faglia. A ciò si sovrappone il flusso di calore prodotto dagli accumuli di acque termominerali.

Le tre zone di anomalia positiva (fig. 1), la prima a Nord ed a Sud di Aurora, la seconda a Sud del pozzo n. 4076 e la terza ad Ovest della palude Mangalia, suggeriscono la presenza di una circolazione di acque termali attraverso una zona di frattura. Questa interpretazione è stata determinata anche dall'ampiezza e dalla forma caratteristica della variazione di temperatura nella zona in esame.

Se si considera la profondità e le modalità di esecuzione adoperate, si può calcolare che le faglie devono manifestarsi fino ad una profondità di almeno 100 m dalla superficie del suolo: il tetto della faglia dovrebbe quindi essere compreso all'incirca entro questo spessore.

In fig. 1 così sono state indicate con tratteggio due faglie che rappresentano l'interpretazione geologica dei risultati ottenuti: la direzione delle faglie è peraltro in buon accordo con il sistema di fratture caratteristico nel Sud della Dobrugia.

Anche in fig. 2, nel profilo geologico schematico, è stata segnata, a solo titolo indicativo, la faglia interpretata, che risulta circa perpendicolare, oltre che ai due profili geotermici, anche a quello geologico.

Conclusioni

Le ricerche eseguite nel quadro del presente lavoro hanno dimostrato da una parte la capacità del metodo per l'individuazione di zone preferenziali con circolazione di acque termali, quando le strutture idrogeologiche interessate non sono molto profonde, dall'altra hanno portato elementi nuovi per una interpretazione idrogeologica coerente del regime delle acque termominerali in Dobrugia del Sud.

Sono state così individuate, delle zone più limitate in cui è possibile uno sfruttamento razionale di queste risorse a mezzo di perforazioni opportune.

Inverò lo sfruttamento investe problemi che sulano dallo scopo di questo lavoro, tuttavia un ulteriore studio di maggior dettaglio, eseguito accoppiando differenti metodi geoelettrici (RADULESCU & APOSTOL, 1973) con una campagna di prospezione geochimica sulle aree di anomalia già localizzata, potrebbe fornire la più proficua ubicazione dei punti di perforazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CASTANY, G.: *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod, Paris 1965.
- (2) CURIAE, M.: *Geologia Dobrogei*. Ed. Tehnica 1961.
- (3) DESIO, A.: *Geologia applicata all'Ingegneria*. Hoepli, Milano 1973.
- (4) ONCESCU, N.: *Geologia Romaniei*. Ed. Tehnica, 1965.
- (5) PRICAIAN, A.: *Apele minerale si termale din Romania*. Ed. Tehnica 1972.
- (6) RADULESCU, S. & APOSTOL, A.: *Aspects sur l'application des méthodes géophysiques complexes dans la recherche des gisements d'eaux minérales et thermominérales*. « *Studii geologica* » VI, 1973.
- (7) SCHOLLER, H.: *La température des eaux souterraines*. « *Trav. Labor. Géol. Bordeaux* », V. 1, Bordeaux 1949.