

Anomálne vrstvé tlaky a teploty vo východoslovenskej neogénnej panve Západných Karpát

(8 obr. a 8 tab. v texte)

RUDOLF RUDINEC*

Аномальные давления и температуры в слоях восточнословацкой неогенной впадины

Территория восточнословацкой впадины с региональной точки зрения является северным участком большой неогеновой среднеевропейской температурной аномалии, центр которой расположен на территории Венгрии. На Восточной Словакии измерением было получено самое крупное температурное течение в ЧССР, то есть 110 мВ м^{-2} ($2,61 \text{ мкал/см}^2 \text{ сек}$). Повышенное температурное поле здесь объясняется с наличием глубинного магматического очага в земной коре, отражением которого является выраженная магматическая элевация в центральной части Восточнословацкой низменности. В распределении слоевых давлений была определена вариативность как в горизонтальном, так и вертикальном направлении.

В горизонтальном направлении были вычленены четыре пояса давлений с градиентом давления от $0,0103$ — до $0,0187 \text{ МПа/м}$.

В вертикальном направлении в наиболее интенсивном поясе давления были вычленены также четыре зоны давления. Происхождение давлений связано с интенсивными субсидочными и деформационными процессами во верхнем бадене и сармате.

Anomalous bedding pressures and temperatures in the East Slovakian Neogene basin

The East Slovakian Neogene basin forms the northeastern extension of the large Middle-European geothermal anomaly having its centre on Hungarian territory. The highest geothermal flux in Czechoslovakia was measured here (110 мВ м^{-2} or $2,61 \text{ мкал см}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Elevated values of the geothermal field are explained by the existence of a deep-seated magmatic reservoir in the crust. This reservoir is reflected in pronounced regional magnetic anomaly which occurs in central parts of the East Slovakian lowland.

Bedding pressure values fluctuate in both horizontal and vertical directions. Four pressure zones were delimited having values between 109 — $191 \cdot 10^{-4} \text{ МПа м}^{-1}$. Similar zones are delimitable in vertical direction as well. Elevated bedding pressure is probably caused by intense subsidence rates and bedding deformations in the course of the Upper Badenian and Sarmatian.

* Ing. Rudolf Rudinec, CSc., Moravské naftové doly Hodonín, prieskumný závod, 071 01 Michalovce.

Východoslovenská neogénna panva predstavuje západnú časť zakarpatského priehybu, ktorý sa formoval v zázemí vyzdvihujúcej sa a vrásnenej paleogénnej flyšovej geosynklinály. Z tohto územia sa rozsiahlymi prieskumnými prácami najmä na naftu a zemný plyn získal bohatý podkladový materiál o štruktúrno-faciálnych, ale aj teplotno-tlakových pomeroch. Je to práve vysoká teplota a vysoký vrstvový tlak, ktorými je táto oblasť do istej miery v porovnaní s inými neogénnymi panvami Západných Karpát anomálna. Tieto geologicky zaujímavé javy sú z hľadiska komplexného riešenia nerastných surovín oblasti veľmi dôležité a hrajú pozitívnu, ale aj negatívnu úlohu.

Študovaná panva má prepadlinovú stavbu a maximálnu hĺbku 5500—6500 m. Na stavbe predneogénneho podložia sa zúčastňujú všetky známe útvary a na jeho okraji vystupujú od kryštalinika po paleogén.

Neogénnu výplň od egeru po pliocén charakterizuje mohutný komplex ílovca, vápnitého ílovca, piesku a pieskovca, ktorých pomer je na jednotlivých miestach dosť variabilný, takže piesčitejšie časti napospol vytvárajú lokálne šošovkovité obzory.

Charakteristickým znakom neogénnej výplne tejto oblasti je pomerne veľký podiel sopečného materiálu, ryolitov, andezitov, najmä andezitových pyroklastík. Tieto produkty sú výsledkom rozsiahleho subsekvantného vulkanizmu, reprezentovaného najskôr kyslou, neskôr intermediárnou a miešanou magmou.

Javy, ktorými sa zaoberáme, nie sú u nás (ani inde) prebádané rovnako. Zatiaľ čo o zemskom teple ako atraktívnejšom fenoméne je viac poznatkov z rozličných aspektov a jeho výskum má už dnes pomerne bohatú históriu, bádanie vrstvových tlakov má oveľa menšiu tradíciu a skromnejšie výsledky. V ostatnom čase sa zásluhou prieskumných prác najmä na ropu a zemný plyn dosť pokročilo aj v poznávaní druhého javu, takže sa stal ak nie dôležitejším, tak prinajmenšom rovnocenným problémom.

Vysoké teploty a vysoké vrstvové tlaky, ako ukážeme ďalej, vystupujú zo všetkých neogénnych molás Západných Karpát najvýraznejšie práve vo východoslovenskej neogénnej panve, kde sú, najmä v centrálnej a južnej časti, veľkou prekážkou pri realizácii hlbokých vrťov nad 4000 m.

Tepelné pomery

Teplotné pole Zeme nie je na rozdiel od iných fyzikálnych polí iba odrazom osobitostí jej stavby, ale aj vnútornej energie. Dnes sa všeobecne prijíma náhľad, že hlavným zdrojom tepla nie sú procesy v zemskej kôre (rádioaktívny rozpad), ale teplo prichádzajúce z vrchného plášťa. Ukazuje sa, že geotermické deje majú na formovanie našej planéty a usporiadanie jej obalov podstatný vplyv a v neposlednom rade určujú aj vývoj zemskej kôry (V. Čermák 1976).

Problematickou zemského tepla v Západných Karpatoch sa zaoberalo viacero autorov. Ide hlavne o geofyzikálne práce, ktoré tento jav analyzujú z hľadiska fyziky a geofyziky (V. Čermák 1966, 1968, 1972, 1975, 1976, J. Kaldrovitš 1975, I. Marušiak — K. Koladová 1973, I. Marušiak — I. Lizoň 1975, I. Lizoň et al. 1975). Otázkami rozloženia zemského tepla v oblastiach Západných Karpát sa z aspektu jeho vyhľadávania a využívania zaoberal O. Franko (1970, 1971a, 1971b, 1972, 1975, 1977). Problematiky zemského tepla opísanej oblasti sa dotýkajú práce M. Macúra (1973), S. Fis-

hera (1966), S. Šalyho (1969—1973) a R. Rudinca (1969, 1972, 1974, 1976).

Pretože východoslovenská neogénna panva nie je izolovanou geologickou jednotkou, najmä nie z hľadiska zemského tepla, treba spomenúť aj práce zo susedných krajín, ktoré sa touto problematikou súborne zaoberali. V Maďarskej ľudovej republike sú to najmä práce L. Stegenu (1972, 1974, 1975) a príslušnou oblasťou ZSSR v tzv. zakarpatskom vnútornom priehybe sa zaoberal R. I. Kutas (1973) a v spätosti s vulkanickými procesmi sčasti aj L. G. Danilovič (1973).

Na bližšie poznanie teploty vrstvy treba poznať teplotné pole prostredia, v ktorom sa vrstva nachádza. Pri jeho opise sa zaužívalo označenie geotermický stupeň, udávajúci hĺbkový interval, v ktorom teplota vzrastá o 1°C . Dnes sa spravidla používa jeho recipročná hodnota, tzv. geotermický gradient ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Tepelné pole charakterizujú hodnoty tepelného toku (mWm^{-2} ; $\mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), ktoré dostaneme vynásobením geotermických gradientov tepelnou vodivosťou hornín. Tepelný tok, ktorý charakterizuje tzv. geotermickú aktivitu na rozličných miestach Zeme, kolíše. Najnižšie hodnoty sú nad starými platformami $37,6\text{--}52,2 \text{ mWm}^{-2}$ ($0,9\text{--}1,25 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$; F. A. Makarenko et al. 1968), najvyššie nad recentne tektonicky aktívnymi zónami $80,3 \text{ mWm}^{-2}$ ($1,92 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$; Z. Kukul 1974). V územiach recentného vulkanizmu na Kamčatke má $71,1\text{--}108 \text{ mWm}^{-2}$ ($1,7\text{--}2,6 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), na Islande $166,8 \text{ mWm}^{-2}$ ($3,99 \pm 2,18 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$). J. Lavinge (1972) uvádza strednú hodnotu tepelného toku pre Zem $50,2 \text{ mWm}^{-2}$ ($1,2 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$).

V Západných Karpatoch má podľa V. Čermáka (1975) priemerný teplotný tok jednotlivých tektonických jednotiek tieto hodnoty: karpatská predhlbeň $69,9 \pm 3,1 \text{ mWm}^{-2}$ ($1,67 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), predneoidné štruktúry Karpát $60,4 \pm 4,9 \text{ mWm}^{-2}$ ($1,44 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), neogénne panvy $86,6 \pm 8,7 \text{ mWm}^{-2}$ ($2,08 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), stredoslovenské neovulkanity $94,3 \pm \text{mWm}^{-2}$ ($2,25 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$). V Československu bol zistený najvyšší tepelný tok vo Východoslovenskej nížine (110 mWm^{-2} ($2,61 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)). Ako konštatuje V. Čermák (1975) a L. Lizón (1975), údaj T. Boldiszara (109 mWm^{-2} ($2,61 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)) z okolia Banskej Štiavnice sa zdá byť nadhodnotený.

Vo východoslovenskej neogénnej panve vypočítal V. Čermák (1968) tepelný tok iba z troch vrtov v jej juhovýchodnej časti (tab. 1).

Tab. 1

Vrt	Hĺbka	Tepelný tok mWm^{-2}
Ptrukša-1	1650—2400	102,4
Stretava-5	1700—3200	112,9
Stretava-7	2200—3100	112,9

Výsledky merania teploty v neogénnych panvách Západných Karpát

Najvhodnejším objektom na poznanie teplotného poľa je vrt, v ktorom sa po niekoľkodňovej prestávke robí zámer. Keďže prestávka pred zámerom nie je vždy rovnaká a prístroje sú rozličnej kvality, na porovnanie ich výsledkov

V r t	Teplota v °C v hĺbke			
	1000 m	2000 m	3000 m	4000 m
Albinov-1	57			
Albinov-4	62	106	149	
Pozdišovce-1	69	119		
Trhovište-1	64	108	153	
Rebrín-1	62	108	152	
Malčice-1	64	116		
Stretava-5	66	109	145	
Stretava-7	67	110	153	
Trebišov-1	63	114		
Ptrukša-1	64	114		
Ptrukša-2	68	116	162	
Sečovce-1	61	108		
Sečovce-2	60	97	130	
Zatín-1	72	118	154	
Stretava-21	65	120	163	
Trhovište-26	67	120	162	209
Ďurkov-1	70	116		
Rozhanovce-1	55			
Prešov-1	52	82	123	

Viedenská panva

V r t	Teplota v °C v hĺbke			
	1000 m	2000 m	3000 m	4000 m
Kúty-8	44	70	99	
Láb-93	50	86		
Malacky-50	48	78	104	
Štefanov-499	47			
Závod-57	49	76	100	
Šaštín-10	46	74		
Hrušky-10	38	66		
Lanžhot-5	47	83		

Podunajská nížina

Modrany-1	47	76		
Špačince-4	51	83		
Kolárovo-2	54	82	130	
Diakovce-1	50	86		
Dubová-2	39	69		

Svahy Českého masívu

Lubina-2	37	72		
Lidečko-1	34	56		
Mikulov-1	42	64		
Rusava-1	32	62		
Žarošice-1	32	55		
Nikolčice-1	37	61		

treba urobiť istú korekciu. Pre jednotlivé panvy Západných Karpát ju urobil S. Šaly (1975; tab. 2).

Z uvedených údajov S. Šaly (1975) pre východoslovenskú neogénnu panvu vypočítal a nakreslil stredný geotermický stupeň (tab. 3).

Tab. 3

V r t	Stredný geotermický stupeň (m/°C)	Počet dní v pokoji	V r t	Stredný geotermický stupeň (m/°C)	Počet dní v pokoji
Ďurkov-1	21,1	20	Stretava-5	24,8	30
Rebrín-1	18,4	20	Stretava-7	23,1	9
Pozdišovce-1	20,4		Stretava-21	3,1	21
Albinov-1	25,3	30	Trebišov-1	19,7	8
Albinov-2	22,0	40	Trhovište-1	21,5	15
Malčice-1	19,5	20	Trhovište-12	19,1	1095
Ptrukša-1	21,3	6	Zatín-1	23,4	40
Ptrukša-2	23,3	15	Rozhanovce-1	24,3	14
Sečovce-1	19,3	120	Prešov-1	27,7	10
Sečovce-2	27,6	7			
Lastomír-1	19,0	22			

Na porovnanie uvádzame v tab. 4 od S. Šalyho (1975) priemerný geotermický stupeň troch dnes najexponovanejších oblastí na prieskum nafty a plynu v ČSSR.

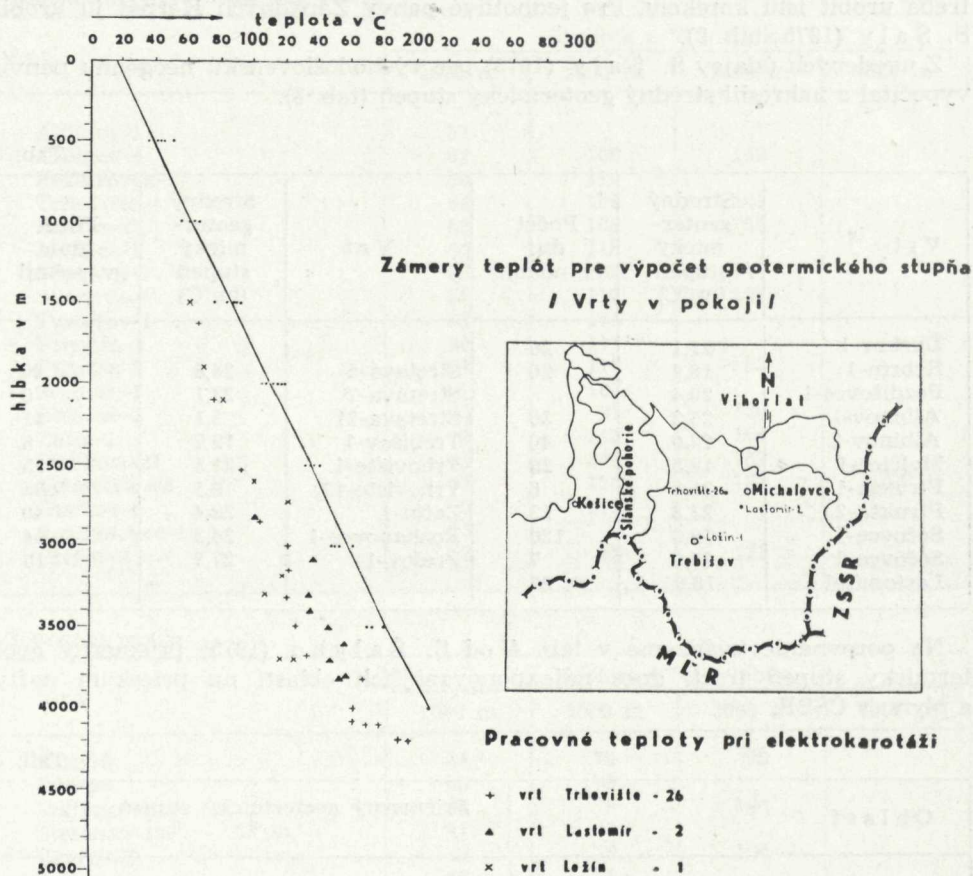
Tab. 4

Oblasť	Priemerný geotermický stupeň m/°C
Východoslovenská neogénna panva	22,7
Viedenská panva	32,0
Čelná predhlbeň	44,5

Z nameraných teplôt bol urobený graf hĺbkového vyobrazenia priemerného teplotného poľa vo východoslovenskej panve (obr. 1). Ako ukazujú výsledky vrtov zo severnej časti Východoslovenskej nížiny (Vranov-1) a Košickej kotliny (Prešov-1), je teplotná krivka na obr. 1 charakteristická hlavne pre centrálnu a južnú časť opisovaného územia. Krivka má takmer lineárny priebeh s týmito teplotami po 1000 m intervaloch (tab. 5).

Tab. 5

Hĺbka v m	Teplota v °C podľa priemerného teplotného poľa
1000	62
2000	110
3000	159
4000	209
5000	260 predpoklad (extrapolácia)



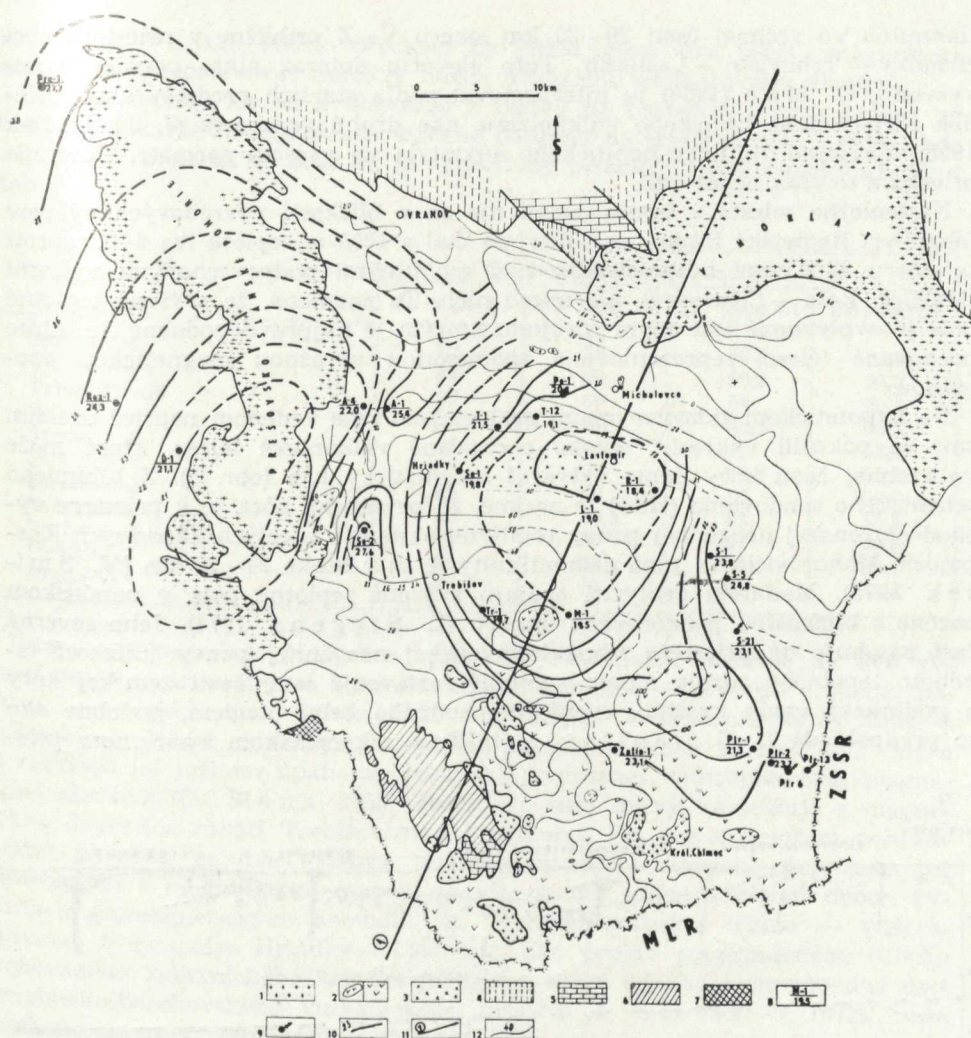
Obr. 1. Hĺbkové vyobrazenie priemerného teplotného poľa vo východoslovenskej neogénnej panve

Fig. 1. Depth distribution of the average thermal field in the East Slovakian Neogene basin

Možné príčiny zvýšeného teplotného poľa vo východoslovenskej neogénnej panve

Zvýšené teplotné pole sa v tomto území dávalo do súvislosti s mohutným subsekventným vulkanizmom. Zaujímavé výsledky poskytla konfrontácia priemerného geotermického stupňa (S. Š a l y 1975) s podrobnou mapou magnetickej vertikálnej intenzity (O. M a n 1959—1960). Na mape sú detailne vyobrazené magnetické anomálie, ktoré sú odrazom nerovnako hlboko pochovaných vulkanických telies. Všetky vulkanity sa v mape rozčleňujú do troch skupín, a to na povrchové, podpovrchové a hlbinné (obr. 2).

Z mapy vidieť, že najnižší geotermický stupeň je v priestore vrtu Lastomír-1 a Rebrín-1. Jeho konfrontácia s podrobnou magnetickou mapou ukazuje, že sa do istej miery kryje s výraznou vnútropannovou magnetickou anomáliou pre-



Obr. 2. Mapa vzťahu teplotného poľa k neogénnemu vulkanizmu na východnom Slovensku (R. Rudinec 1976). Ako podklad použitá geomagnetická mapa vertikálnej magnetickej intenzity O. Manna (1959—1961)

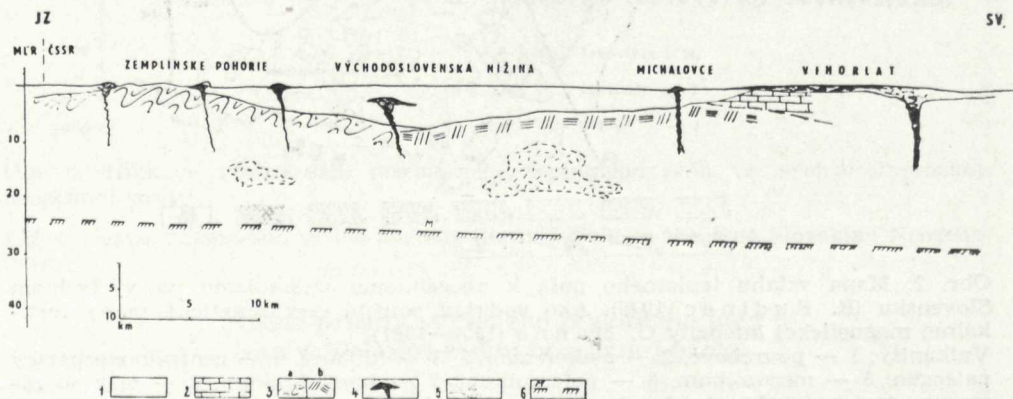
Vulkanity: 1 — povrchové, 2 — podpovrchové, 3 — hlbinné, 4 — centrálnokarpatský paleogén, 5 — mezozoikum, 6 — paleozoikum, 7 — kryštalinikum, 8 — vrty so zámerom geotermického stupňa, 9 — vrty s prítokom teplej vody, 10 — geoizotermie priemerného geotermického stupňa (podľa S. Šalyho 1975), 11 — hypotetický rez, 12 — hodnoty magnetickej vertikálnej intenzity

Fig. 2. Relations between the geothermal field and the Neogene volcanic activity in the East Slovakian area. Geomagnetic map of vertical intensities according to O. Man (1959—1961). Explanations: 1 — superficial volcanite body, 2 — subsurface volcanite body, 3 — deep-seated volcanite body, 4 — Paleogene of the Central Carpathians, 5 — Mesozoic, 6 — Paleozoic, 7 — crystalline, 8 — drill-holes with geothermal measurements, 9 — drill-holes with thermal water discharge, 10 — geoisotherms of the average geothermal gradient (according to S. Šaly 1975), 11 — hypothetical idealized section, 12 — values of the vertical geomagnetic intensity

tiahnutou vo vrchnej časti 20–25 km smeru V—Z približne v priestore obcí Hriadky — Trhovište — Lastomír. Túto eleváciu doteraz nikto presnejšie ne- vysvetlil. O. Maň (1960) ju interpretoval podľa starších predstáv ako výsledok rozptýleného bazického vulkanizmu, ako druhú generáciu (J. Janáček 1958) uprostred tufiticko-lignitického súvrstvia vo vyššom sarmate. Doterajší prieskum to však nepotvrdil.

Najteplejšie miesta v tomto území nie sú v blízkosti povrchových výlevov (napr. vrt Remetské Hámre vo Vihorlate mal v 1000 m teplotu iba 44 °C oproti priemeru 62 °C) ani bezprostredne nad mohutnými podpovrchovými výlevmi (Malčice, Beša — Čičarovce), ale mimo nich. To znamená, že zvýšené teplotné pole je ovplyvnené ešte iným zdrojom, ktorým je najpravdepodobnejšie hlbšie pochované teleso, reprezentované spomenutou výraznou magnetickou anomáliou.

Na hypotetickom zidealizovanom geologickom reze vedenom naprieč územím sme sa pokúsili vykresliť hlboko pochované vulkanické teleso, ktoré môže vo vrchnej časti kôry Zeme vytvárať magmatický krb (obr. 3). Z hlbinného seizmického sondovania (HSS) je zrejmé, že pevninská kôra je v priestore východoslovenskej neogénnej panvy relatívne najtenšia v celých Západných Karpatoch. Mohorovičičova zóna diskontinuity je tu v hĺbke 24–32 km (M. Smíšek 1975). Maďarskí geofyzici spájajú zvýšené teplotné pole v panónskom bazéne s blízkosťou podkôrového diapíru (L. Stegena 1974). Jeho severná časť zasahuje do priestoru východoslovenskej neogénnej panvy. Blízkosť takéhoto tepelného zdroja mohla spôsobiť roztavenie istej časti zemskej kôry a podmieniť vznik kyslého, event. prechodného krbu magiem, podobne ako to predpokladá L. G. Danilovič (1973) v zakarpatskom vnútornom prie-



Obr. 3. Hypotetický zidealizovaný priečný geologický rez východoslovenskou neogénnou panvou s vyznačením magmatických krbov (R. Rudinec 1978)

1 — neogénna výplň, 2 — mezozoikum, 3 — paleozoikum, a — zemplínsky blok, b — pozdišovsko-inačovský blok, 4 — neovulkanity, 5 — magmatické krby kyslých a prechodných magiem, 6 — priebeh Moho (M. Smíšek 1976)

Fig. 3. Hypothetical idealized geological profile of the East Slovakian Neogene basin containing supposed magmatic reservoirs. Explanations: 1 — basin filling (Neogene), 2 — Mesozoic, 3 — Paleozoic, a — the Zemplín block, b — the Pozdišovce-Iňačovce block, 4 — neovolcanites, 5 — magmatic chambers of acid and intermediate magma, 6 — the Moho discontinuity (M. Smíšek 1976)

hybe. V dimenziách týchto predstáv by jeden, resp. dva takéto magnetické krby mohli predstavovať apofýzy hlbšie uloženého podkôrového diapíru.

Údaje o teplote nie sú k dispozícii z panvy na rovnakej úrovni každej jej časti. Na získanie čo najobjektívnejšieho pohľadu na teplotné pole z vrtov, kde sa merala teplota až do 3000 m, je vypočítaný priemerný geotermický gradient (tab. 6).

Tab. 6

V r t	Geotermický gradient °C/1 km			
	do 1000 m	do 2000 m	do 3000 m	priemerný
Albinov-4	62	53	49,6	54,8
Trhovište-1	64	54	50,9	56,3
Trhovište-26	67	60	54	60,3
Rebrín-1	62	54	50,6	55,3
Stretava-5	66	54,5	48	56,1
Stretava-7	67	55	50,9	57,6
Stretava-21	65	60	54	59,6
Sečovce-2	60	48,5	43	50,3
Zatín-1	72	59	51	60,6
Ptruška-2	68	58	54	60,0
Prešov-1	52	41	41	44,6

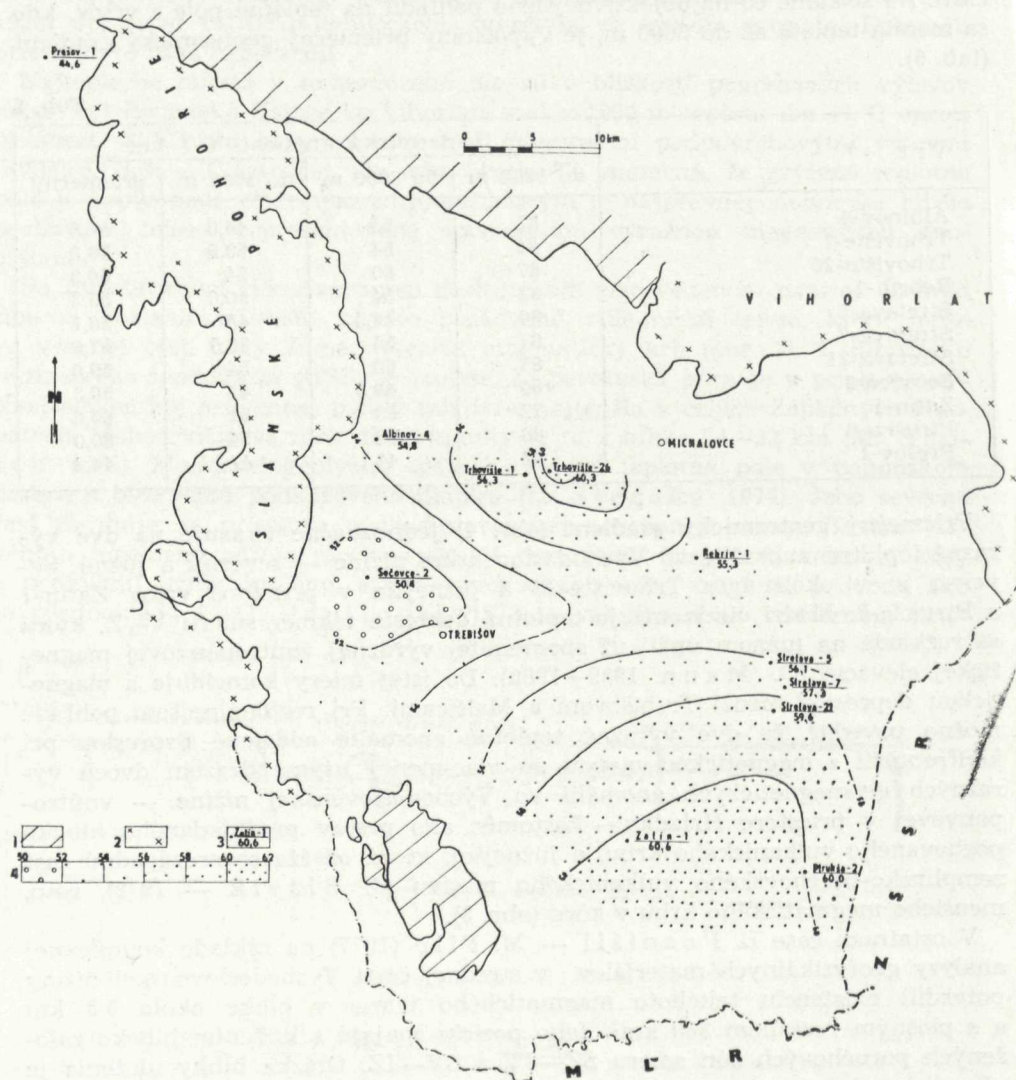
Priemerný geotermický gradient (obr. 4) jednoznačne ukazuje na dve výrazné teplotné anomálie vo Východoslovenskej nížine — severnú a južnú. Severná je v okolí vrtu Trhovište-26 a južnejšia v priestore vrtov Zatín-1 a Ptruška-2. Medzi obidvoma je teplotná depresia takmer smeru V—Z, ktorá sa rozkladá na južnom úpätí už spomenutej výraznej vnútropanvovej magnetickej elevácie (O. Mann 1959—1960). Do istej miery koinciduje s magneticou depresiou medzi Trebišovom a Malčicami. Pri regionálnejšom pohľade možno povedať, že dve výrazné teplotné anomálie oddelené depresiou pri konfrontácii s magneticou mapou sú viac-menej istým odrazom dvoch výrazných geomagnetických anomálií vo Východoslovenskej nížine — vnútropanvovej v priestore Hriadky—Lastomír, ako prejav predkladaného hlboko pochovaného vulkanického krbu, a južnejšej, ktorá odráža severozápadnú časť zemplínsko-berehovského vulkanického masívu (J. Slávik — 1972), resp. menšieho magmatického krbu v kôre (obr. 3).

V ostatnom čase L. Pospíšil — M. Filo (1977) na základe komplexnej analýzy geofyzikálnych materiálov v strednej časti Východoslovenskej nížiny potvrdili existenciu takéhoto magmatického telesa v hĺbke okolo 5,5 km a s plošným rozsahom 380 km². Jeho pozíciu spájajú s krížením hlboko založených poruchových zón smeru SZ—JV a SV—JZ. Otázka hĺbky uloženia je ešte diskutabilná a je pravdepodobnejšie väčšia, ako predpokladá L. Pospíšil — M. Filo (1977).

Tlakové pomery

Zemský tlak nie je všade rovnaký. Problematike utvárania vrstvom tlakov najmä v spojitosti s prieskumom na ropu a zemný plyn sa venuje veľká pozornosť. V otázkach utvárania normálnych ložiskových tlakov v podstate

nie sú medzi jednotlivými bádateľmi nezhody. Inak je to však s anomálnymi tlakmi, vyššími alebo nižšími, ako je hydrostatický. Ich príčiny sa vysvetľujú rozlične a dávajú sa do súvislosti s radom podstatných a druhotných feno-



Obr. 4. Mapa priemerného geotermického gradientu °C/km vo východoslovenskej neogénnej panve do hĺbky 3000 m (R. Rudinec 1976)
1 — predneogénny okraj panvy, 2 — neovulkanity, 3 — vrty, z ktorých sa vypočítal priemerný geotermický gradient, 4 — škála intenzity priemerného geotermického gradientu °C/km

Fig. 4. Map of the average geothermal gradient °C.km⁻¹ in the East Slovakian Neogene basin as far as 3,000 m depth (R. Rudinec 1976). Explanations: 1 — pre-Neogene limits of the basin, 2 — neovolcanite, 3 — drill-hole used for evaluation of the average geothermal gradient, 4 — scale of the geothermal gradient intensity °C.km⁻¹

Por. č.	Lokalita štruktúra	Tlakový gradient MPa/m	Hĺbkový interval v m	Súvrstvie	Poznámka
1.	Zamutov	—			Nie sú priame merania, lož. tlak menší ako hy- drostatický
2.	Kolčovo	0,0063	1900—2000	sp. báden	Iba jeden údaj
3.	Albinov	0,0089	1600—1700	vrch. báden	Detto
4.	Rakovec	0,0091	1000—1100	vrch. báden	Detto
5.	Trhovište- Pozdišovce	0,0095— 0,0113	500—1600	vrch. báden	
6.	Pozdišovce- stred. kryha	0,0102—0,0105	300—400	vrch. báden	
7.	Iňačovce	0,0098—0,0106	1200—1900	báden	
8.	Bánovce	0,0040—0,0123	700—1900	vrch. báden	
9.	Lastomír	0,0103—0,0103 0,0151—0,0187	1200—1300 2100—3700	sp. sarmat báden	
10.	Rebrín	0,0107—0,0123	2700—3500	str. a sp. báden a karpát	
11.	Stretava	0,0103—0,0118 0,0136—0,0118 0,0149—0,0187 0,0147—0,0153	1100—1600 1600—2000 2000—3200 3200—3800	sp. sarmat sp. sarmat vrch. báden vrch. báden	
12.	Vysoká	0,0109—0,0104	1200—1400	sp. sarmat	
13.	Ptrukša	0,0090—0,0104 0,0127—0,0127	1500—2100 2600—3100	sp. sarmat báden	
14.	Zatín	0,0112—0,0118	1700—2900	báden	
15.	Mačice	—			Nie sú priame údaje
16.	Trebišov	0,0061—0,0107	2000—3000	báden	
17.	Sečovce-juh	—		báden	Nie sú priame údaje, lož. tlak menší ako hydrostatický
18.	Sečovce-1 oporný vrt	0,0817	2100—2200	báden	
19.	Ložín	0,0105—0,0141	2100—3700	báden	
20.	Čičarovce	0,0086	1900—2100	sp. sarmat	Iba jeden údaj
21.	Ďurkov	0,0094—0,0099	900—3200	karpát mezozoikum	
22.	Rozhanovce	—			Nie sú údaje
23.	Kec. Pekľany	0,0084—0,0103	700—2400	báden, karpát, mezozoikum	
24.	Prešov	0,0091—0,0101	1600—3000	eggenburg mezozoikum	

Por. č.	Lokalita štruktúra	Tlakový gradient MPa/m	Hĺbkový interval v m	Súvrstvie
1.	Kúty	0,0961—0,0110 0,0127—0,0137 0,0157—0,0176	1000—2000 2000—2500 2500—4000	vrch. bádén sp. bádén karpat
2.	Malacky	0,0099—0,0102 0,0091—0,0098	600—900 900—1100	sarmat vrch. bádén
3.	Jakubov	0,0099	600—1400	samat vrch. bádén
4.	Gajary	0,0101	1800—1900	bádén
5.	Studienka	0,0096—0,0099	800—1300	vrch. bádén

Podunajská nížina

Por. č.	Lokalita štruktúra	Tlakový gradient MPa/m	Hĺbkový interval v m	Súvrstvie
1.	Nižná	0,0083—0,0099	650—1300	vrch. bádén
2.	Cífer	0,0087—0,0095	600—1500	sarmat—bádén
3.	Krupa	0,0079—0,0102	250—350	vrch. bádén
4.	Madunice	0,0084	1000—1200	bádén
5.	Dunajská Streda	0,0099	2100—2400	pliocén

ménov ovplyvňujúcich tento stav (zhuťňovanie — diagenéza, zvýšená teplota, osmóza, chemické, biochemické procesy atď.). Ani jednu z týchto teórií nemožno aplikovať univerzálne. Často sa totiž aj v priestore jednej panvy na susedných alebo blízkych kryhách anomálnosť tlakových faktorov prejavuje dosť zreteľne v horizontálnom i vo vertikálnom smere.

Pretože v neogénnych panvách Západných Karpát, okrem výnimiek vo viedenskej panve — kútskej priekope (K. Bílek 1974), je normálny hydrostatický tlak, nevenovala sa tejto problematike osobitná pozornosť. V širšom kontexte sa jej dotýka viacej prác zameraných na prieskum ropy a zemného plynu. Anomálne postavenie má v tomto smere východoslovenská neogénna panva. Otázkou jej vrstvových tlakov sa zaoberal R. Rudinec (1969, 1974, 1977). V ostatnom čase pomerne podrobne príčiny vysokých vrstvových tlakov vo vzťahu k radu teórií vo svete rozviedol J. Sluka (1977).

Rozdielnosť tlakových pomerov v neogénnych panvách Západných Karpát demonštruje tab. 7.

Interpretácia príčin vysokých vrstvových tlakov

Podrobná analýza vrstvových tlakov vo východoslovenskej neogénnej panve ukázala, že sa tlak mení v horizontálnom i vo vertikálnom smere (R. Rudinec 1974, 1977). Ako ukazuje mapa plošného rozloženia ložiskových tlakov

na doteraz skúmaných štruktúrach (obr. 5), v horizontálnom smere boli vyčlenené štyri tlakové pásma. Prvé tlakové pásmo, s najväčším plošným rozsahom, je do tlakového gradientu 0,0106 MPa/m, druhé do tlakového gradientu 0,0127 MPa/m, tretie do 0,0141 MPa/m a štvrté do 0,0187 MPa/m. Druhé, tretie a štvrté pásmo zaberajú centrálnu časť a juhovýchodnú časť Východoslovenskej nížiny.

V tlakovo najexponovanejšom štvrtom pásme boli na doteraz najviac preskúmanej štruktúre Stretava vo vertikálnom smere vyčlenené štyri tlakové zóny (obr. 6): prvá v hĺbke 1100—1600 m s tlakovým gradientom 0,0103—0,0118 MPa/m; druhá v hĺbke 1600—2000 m má tlakový gradient 0,0136—0,0118 MPa/m; tretia v hĺbke 2000—3200 m má najvyšší tlakový gradient 0,0149—0,0187 MPa/m; vo štvrtnej sa v intervale 3200—3800 m prejavuje istý pokles tlakového gradientu (0,0147—0,0153 MPa/m).

Miesto, na ktorom sa vrstvomý tlak v súvrství prudko mení, nazývame podľa J. Londona (1971, in W. H. Fertl a D. J. Timko 1972) tlakovou bariérou. Keď je takýchto miest viac, hovoríme o stupňovitej tlakovej bariére.

Na základe koncentrácie zvýšených vrstvomých tlakov do juhovýchodnej a centrálnej časti panvy sotva možno genézu spájať s existenciou niektorých všeobecných javov (zvýšená teplota, diagenéza), pri ktorých sa dá len ťažko ostro ohraničiť plošný rozsah. Preto v ďalšej časti predkladáme jednu z možných teórií objasňujúcu ich príčiny.

Z porovnania mapy plošného rozloženia tlakových pásiem vo východoslovenskej neogénnej panve s tektonickou mapou vychodí, že pásmo so zvýšenými vrstvomými tlakmi je v centrálnej a južnej časti Východoslovenskej nížiny, teda v území, ktoré tektonicky vydeľujú výrazné zlomové línie (obr. 5). Na SV je to močarianske zlomové pásmo s úklonom na JZ, na JZ trebišovské s úklonom na SV. Zo SZ územie obmedzuje na JV uklonené vrbnické zlomové pásmo. Na JV pásmo vysokých tlakov pokračuje až po priečne ulomenie bešianskych zlomov.

Paleogeografický výskum neogénnych sedimentov ukázal, že územie anomálnych tlakov spadá do priestoru najväčšej subsidencie mladších neogénnych

Tab. 8

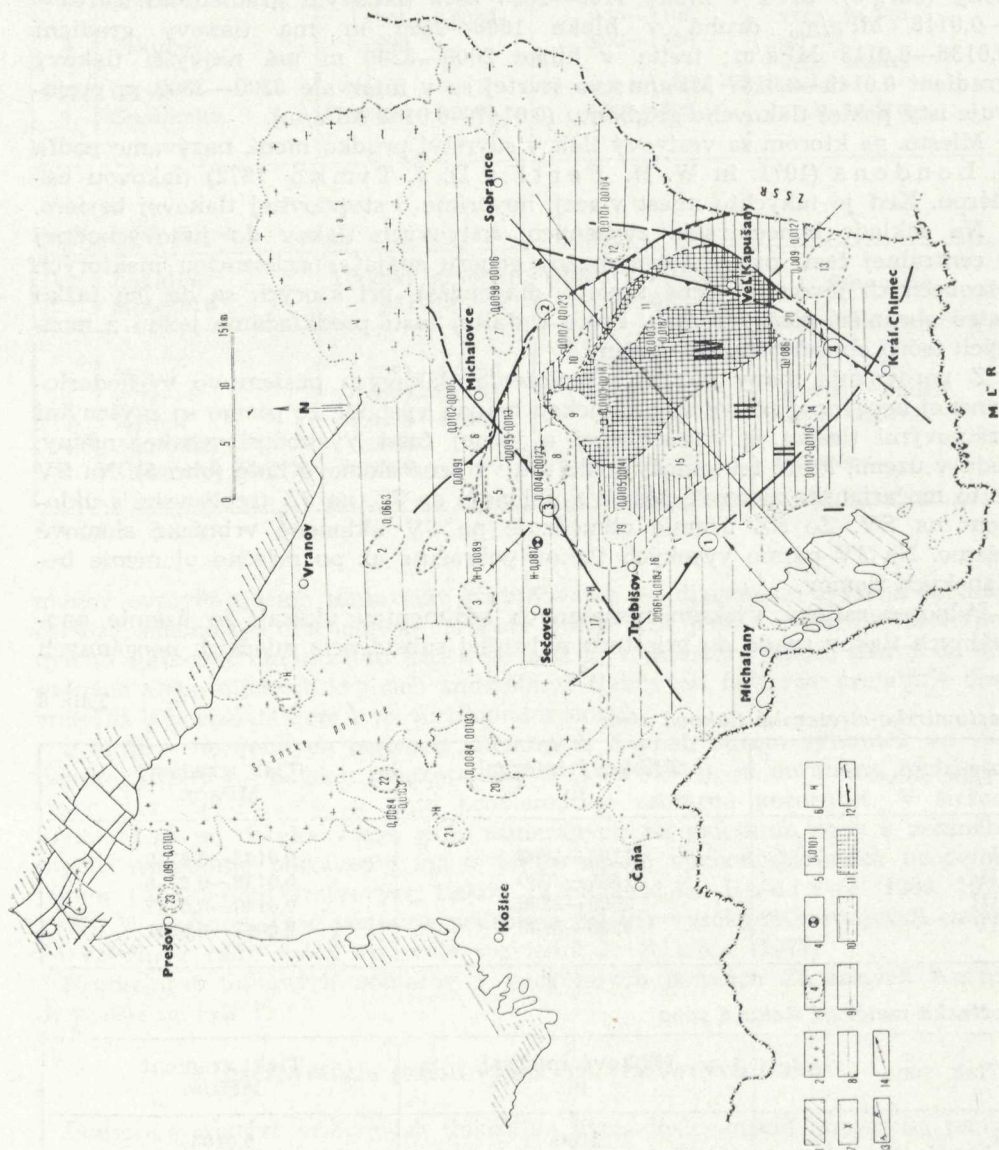
Lastomírsko-stretavská tlaková zóna

Tlak. zóna	Hĺbkový interval m	Tlak. gradient MPa/m
I	1100—1600	0,0103—0,0128
II	1600—2000	0,0136—0,0118
III	2000—3200	0,0140—0,0187
IV	3200—3800	0,0047—0,0151

Ložinsko-malčická tlaková zóna

Tlak. zóna	Hĺbkový interval m	Tlak. gradient MPa/m
I	2100	0,0105
II	3700	0,0140

stupňov vrchného bádenu, sarmatu a pliocénu. V priebehu celého vrchného bádenu a sarmatu spomenuté zlomové systémy vydeľujúce územie anomálne vysokých vrstvových tlakov pôsobili syngeneticky. Pri jednej z najrýchlejších subsidencií vo vrchnom bádene a sarmate sa silne deformovali relatívne málo spevnené sarmatské a bádenské, resp. aj spodnejšie karpatské súvrstvia. Analýza litofaciálneho vývoja sedimentov ukázala, že piesčité vrstvy laterálne pomerne často vyslieňujú a vytvárajú šošovky, ktoré pri deformačných procesoch podmienili štruktúrno-litofaciálny typ pascí (R. Rudinec 1976).



Deformačné účinky, ktorých hlavným zdrojom boli tangenciálne tlaky, spôsobili vznik plikatívnych štruktúr pozdĺž hlavných zlomových pásiem (obr. 5). Pri severovýchodnom krídle panvy je to lastomírsko-stretavské a pri juhozápadnom krídle ložinsko-malčické elevačné pásmo. Sedimentačný priestor nachádzajúci sa v tomto štvoruholníku bol vystavený ďalej kompresii, čo bolo podľa nášho náhľadu, hlavnou príčinou vzniku anomálne vysokých vrstvových tlakov pri už uvedenom type kolektorov a pascí.

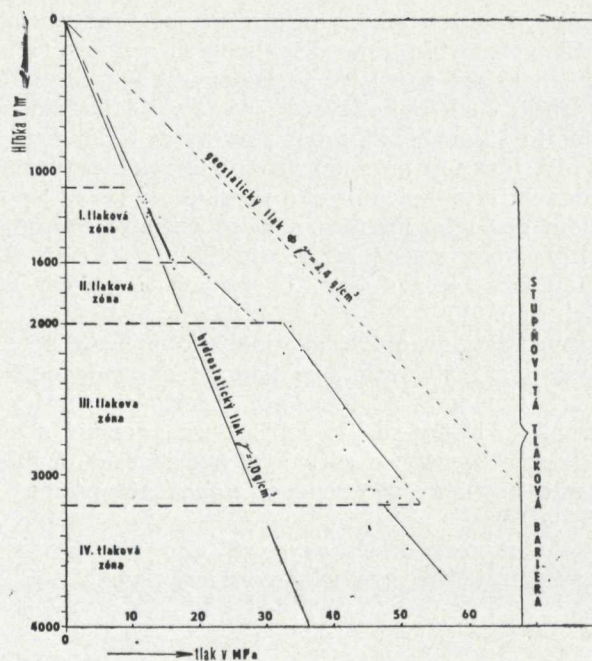
Na zidealizovanom geologickom reze naprieč územím zvýšených vrstvových tlakov vidieť v hĺbkovom smere rozloženie tlakových zón (I—IV; obr. 7). V tab. 8 je prehľad rozloženia doteraz overených tlakových zón v hlavných elevačných pásmach (tab. 8).

Aj keď konkrétnych údajov o ložinsko-malčickom elevačnom pásme je nateraz málo, z tabuľky a rezu vidieť, že tlakovo exponovanejšie súvrstvia sú hlbšie, teda bližšie k zlomu, kde je väčšia deformácia vrstiev. Ďalšie narástanie tlakov smerom do hĺbky sa pri zohľadnení analógie z oblasti lastomírsko-stretavského pásma nedá vylúčiť. Pre nedostatok podkladov je juhozápadné obmedzenie tretieho a štvrtého tlakového pásma dosť nepresné (obr. 5).

V nadloží tlakovo exponovaných súvrství, ako aj na vysokých kryhách týchto zlomových pásiem je hydrostatický vrstvový tlak.

◀
Obr. 5. Prehľadná mapa plošného rozloženia ložiskových tlakov vo východoslovenskej neogénnej panve (R. Rudinec 1978)
1 — predneogénne útvary, 2 — neovulkanity, 3 — štruktúry overené ropo-plynovým prieskumom (1 — Zamutov, 2 — Dlhé Klčovo, 3 — Albinov, 4 — Rakovec, 5 — Trhovište-Pozdišovce, 6 — Pozdišovce, stredná kryha, 7 — Ináčovce, 8 — Bánovce, 9 — Lastomír, 10 — Rebrín, 11 — Stretava, 12 — Vysoká, 13 — Ptruška, 14 — Zatin, 15 — Malčice, 16 — Trebišov, 17 — Sečovce-juh, 18 — Ložín, 19 — Čičarovce, 20 — Ďurkov, 21 — Rozhanovce, 22 — Kecerovské Pekľany, 23 — Prešov), 4 — oporný vrt Sečovce-1, 5 — tlakový gradient v atp/m, 6 — H-hydrostatický tlak, 7 — x namerané hodnoty, 8 — I. tlakové pásmo s tlakovým gradientom do 0,0106 MPa/m, 9 — II. tlakové pásmo s tlakovým gradientom do 0,0127 MPa/m, 10 — III. tlakové pásmo s tlakovým gradientom do 0,0141 MPa/m, 11 — IV. tlakové pásmo s tlakovým gradientom do 0,0187 MPa/m, 12 — zlomy (1 — trebišovské, 2 — močarianske, 3 — vrbnické, 4 — bešianske), 13 — geologický rez, 14 — smer kompresných tlakov

Fig. 5. Generalized map of horizontal distribution of reservoir pressures in the East Slovakian Neogene basin. Explanations: 1 — pre-Neogene units, 2 — neovolcanite, 3 — structure proved by hydrocarbon exploration (1 — Zamutov, 2 — Kolčovo, 3 — Albinov, 4 — Rakovec, 5 — Trhovište-Pozdišovce, 6 — Pozdišovce-middle block, 7 — Ináčovce, 8 — Bánovce, 9 — Lastomír, 10 — Rebrín, 11 — Stretava, 12 — Vysoká, 13 — Ptruška, 14 — Zatin, 15 — Malčice, 16 — Trebišov, 17 — Sečovce-south, 18 — Ložín, 19 — Čičarovce, 20 — Ďurkov, 21 — Rozhanovce, 22 — Kecerovské Pekľany, 23 — Prešov), 4 — reference drill-hole Sečovce 1, 5 — pressure gradient in 10^{-4} MPa m^{-1} , 6 — hydrostatical pressure. 7 — x non-measured value, 8 — first pressure zone (pressure gradient between $0-109 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1}), 9 — second pressure zone (pressure gradient between $109-130 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1}), 10 — third pressure zone (pressure gradient between $130-145 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1}), 11 — fourth pressure zone (pressure gradient till $191 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1}), 12 — fault; 1 — the Trebišov fault, 2 — the Močarany fault, 3 — the Vrbnica fault, 4 — the Bešany fault, 13 — geological profile, 14 — direction of the compressional force



Obr. 6. Vzťah medzi počiatočnými ložiskovými tlakmi a hĺbkou na plynovom náleží Stretava (R. Rudinec 1976). Priemerná špecifická váha neogénnej výplne podľa O. Fúšána et al. 1971 ($2,397 \text{ g/cm}^3$)

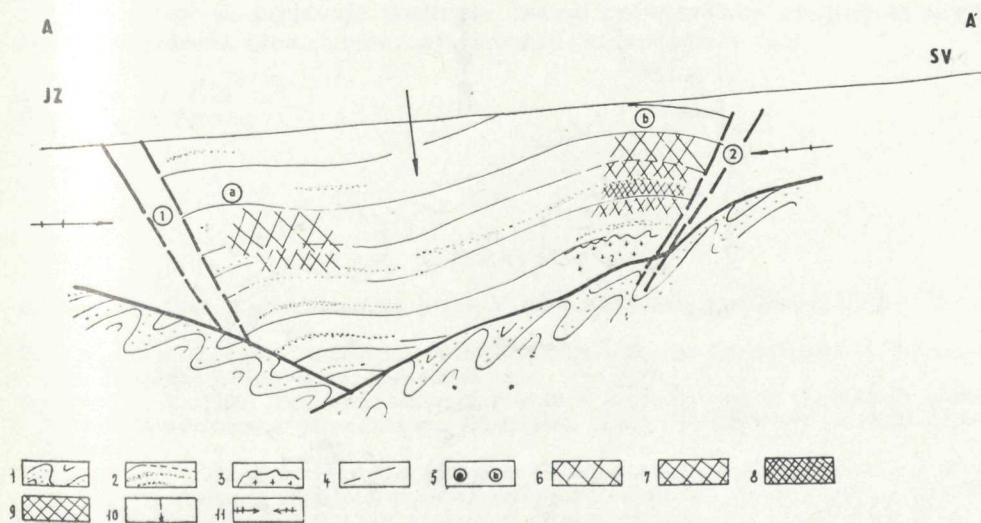
Fig. 6. Relation between initial reservoir pressure and depth in the Stretava gas-pool (R. Rudinec 1976). The average density of the Neogene basin filling is equal to $2,397 \text{ g cm}^{-3}$ (O. Fúšán et al. 1971)

Geologický prínos

Anomálne vysoké teploty a tlaky nie sú zaujímavé iba z aspektu teoretickej geológie, ale majú aj veľký praktický dosah v pozitívnom i v negatívnom zmysle.

Zvýšené teplotné pole zohráva veľmi negatívnu úlohu pri realizácii hlbokých vrtov, ktoré sú v tomto priestore jediným zdrojom informácií. V týchto podmienkach možno vo vrte pri intenzívnej cirkulácii výplachového média vytvoriť tzv. pracovnú teplotu, ktorá je o 15–25 %, výnimočne aj viac, nižšia ako ustálené teplotné pole (obr. 1). Za takých podmienok možno hĺbiť vrty do hĺbky 4200–4500 m. Hlbšie vrty vyžadujú použiť špeciálnejšie chladiace zariadenie.

Na druhej strane však takéto prostredie je vhodným zdrojom zemského tepla vo forme termálnej vody a v neposlednom rade ako zdroj tepla suchých hornín (dry hot rocks; R. Rudinec 1977). Vo svete, ale aj u nás (O. Franko 1975, 1977), sa stále vo väčšej miere využíva termálna voda. Vo východoslovenskej neogénnej panve bola zistená v hĺbkovom intervale 1000–2712 m s teplotou 26–85 °C na povrchu. Ide vždy o slanú vodu, silne mineralizovanú, s celkovou mineralizáciou 7300–16 760 mg/l. Jej využívanie, najmä z hľadiska



Obr. 7. Zidealizovaný priečny geologický rez Východoslovenskou nížinou s vyznačením tlakových zón (R. Rudinec 1978)

1 — predneogénne podložie, 2 — neogénna výplň s piesčitými šošovkami, 3 — soľonosné súvrstvie, 4 — zlomy (1 — trebišovské, 2 — močarianske), 5 — elevačné pásma (a — lastomírsko-stretavské, b — ložínsko-malčické), 6 — prvá tlaková zóna, 7 — druhá tlaková zóna, 8 — tretia tlaková zóna, 9 — štvrtá tlaková zóna, 10 — smer intenzívnej subsidencie, 11 — smer tangenciálnych tlakov pri deformačných procesoch

Fig. 7. Idealized geological cross-section of the East Slovakian Neogene basin indicating the high-pressure belts. Explanations: 1 — pre-Neogene basement, 2 — Neogene basin filling containing sandy lenticules, 3 — evaporite-bearing horizon, 4 — faults: 1 — Trebišov, 2 — Močarany, 5 — elevation zones: a — the Lastomír-Stretava zone, b — the Ložín-Malčice zone, 6 — first pressure zone, 7 — second pressure zone, 8 — third pressure zone, 9 — fourth pressure zone, 10 — directions of the intense subsidence, 11 — directions of tangential force action during the deformations

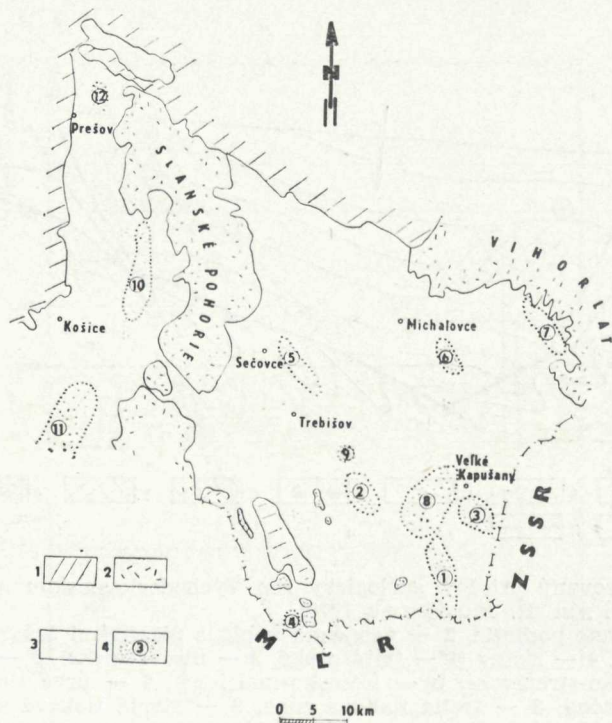
znečisťovania životného prostredia, naráža na ťažkosti. V súčasnosti je tu dvanaás perspektívnych oblastí, možných zdrojov termálnej vody. V niektorých územiach možno do hĺbky 800—1000 m očakávať aj sladkú vodu (obr. 8).

Zvýšené vrstvové tlaky majú len negatívny vplyv. Za takýchto podmienok treba vo výplachu používať zafazkávadlá (baryt, vápenec), ktoré v konečnom dôsledku, najmä pri vysokej teplote, spôsobujú kolmatáciu pórovitých hornín a znižujú ich priepustnosť. Vysoký tlak je aj istým nepriamym indikátorom malých plynových šošovkovitých ložísk.

Záver

Východoslovenská neogénna panva je z hľadiska výskytu vysokých teplôt a vrstvových tlakov medzi neogénnymi molasami Západných Karpát anomálna.

Analýza teploty hlbokých vrtov ukázala, že najteplejšie miesta nie sú blízko povrchových a podpovrchových sopečných výlevov, ale v priestore vý-



Obr. 8. Perspektívne oblasti zdrojov geotermálnej energie vo východoslovenskej neogénnej panve (R. Rudinec 1976)

1 — predneogénne útvary, 2 — neovulkanity, 3 — neogénna výplň, 4 — nádejné oblasti výskytu geotermálnej energie (1 — Leles — Bačka — Biel, 2 — Oborín — Petrikovce, 3 — Kapušianske Kľačany, 4 — Streda nad Bodrogom, 5 — Parchovany — Dvorianky — Horovce, 6 — Senné — Čečehov, 7 — choňkovská depresia, 8 — Beša — Čičarovce, 9 — Malčice, 10 — Čizatice — Bačkovík, 11 — Čaňa — Seňa, 12 — prešovská depresia)

Fig. 8. Perspective geothermal source areas in the East Slovakian Neogene basin (R. Rudinec 1976). Explanations: 1 — pre-Neogene units, 2 — neovolcanite, 3 — Neogene basin filling, 4 — perspective area for geothermal energy utilization (1 — Leles — Bačka — Biel, 2 — Oborín — Petrikovce, 3 — Kapušianske Kľačany, 4 — Streda nad Bodrogom, 5 — Parchovany — Dvorianky — Horovce, 6 — Senné — Čečehov, 7 — the Choňkovce depression, 8 — Beša — Čičarovce, 9 — Malčice, 10 — Čizatice — Bačkovík, 11 — Čaňa — Seňa, 12 — the Prešov depression).

raznej magmatickej elevácie, ktorá sa rozkladá medzi obcami Sečovce — Hriadky — Lastomír. Jej odrazom je najpravdepodobnejšie v hlbšej časti kôry pochované magmatické teleso (krb), ktoré je zároveň hlavným činiteľom zvýšeného teplotného poľa.

Podrobný rozbor vrstvových tlakov ukázal na ich variabilnosť v horizontálnom (štyri tlakové pásma) aj vo vertikálnom smere (štyri tlakové zóny). Zvýšené vrstvové tlaky sa vysvetľujú ako dôsledok intenzívnych subsidenčných a deformačných procesov v tektonicky exponovanom pásme centrálnej časti Východoslovenskej nížiny.

Tieto dva geologické javy majú okrem teoretického prínosu aj praktický

význam, ktorý sa prejavuje pozitívne (zdroje geotermálnej energie) aj negatívne (obmedzená hĺbka vrtov, zafažkávadlá, kolmatácia a iné).

Doručené 4. 1. 1978
Odporučil O. Franko

LITERATÚRA

- Bílek, K. 1974: Ložiská ropy a plynu v slovenskej časti viedenskej panvy. *Mineralia slov.*, 6, s. 399—498.
- Boldiszar, T. 1964: Terrestrial heat flow values in the Carpathians. *J. Geophys. Res. (Richmond, Va.)*, 69, p. 5269—5276.
- Čermák, V. 1966: Teplotná vodivosť hornín a teplotný tok v niektorých oblastiach Československa. [Kandidátska dizertačná práca.] Manuskript — GFÚ ČSAV Praha.
- Čermák, V. 1968: Terrestrial Heat Flow in Czechoslovakia and its Relation to some Geological Features. 23rd International geological Congress, Vol. 5 (Prag), p. 75—85.
- Čermák, V. 1975: Geotermický výskum v Československu 1970—1975. Zbor. 6. celoštátnej konferencie geofyziky, II. diel (Plzeň), s. 469—476.
- Čermák, V. 1976: Mapa teplotného toku na území Československa a jej význam pri vyhľadávaní perspektívnych zdrojov geotermálnej energie. Zbor. II. konferencie v inžinierskej geológii a hydrogeológii (Brno), s. 783—795.
- Danilovič, L. G. 1973: Kislyj vulkanizm Karpat i jeho značenie dľa paleotektoničeských rekonštrukcij. Sekcia XI. Materiály X. kongresu KBA (Bratislava), s. 31—36.
- Fertl, W. H. — Timko, D. J. 1972: How downhole temperatures and pressures affect drilling. *World Oil*, September 1972, p. 45—50.
- Fischer, S. 1966: Stanovení geotermického stupně na strukture Stretava. Manuskript — Nafta Michalovce. 4 s.
- Franko, O. 1970: Ideový projekt základného výskumu priestorového rozloženia zemského tepla v Západných Karpatoch na roky 1971—1975 s výhľadom do r. 1980. Manuskript — Geofond Bratislava.
- Franko, O. 1971a: Bojnicke termálne vody a ich vzťah k fažbe uhlia na nováckom ložisku. *Geol. práce, Spr. (Bratislava)*, 52, s. 59—155.
- Franko, O. 1971b: Nové údaje o geotermických pomeroch v Západných Karpatoch a ich význam pri štúdiu hlbokých geologických štruktúr a termálnych vôd. *Geol. práce, Spr. (Bratislava)*, 56, s. 35—46.
- Franko, O. 1972: Možnosti využitia zemského tepla v SSR prostredníctvom získania nových zdrojov hypertermálnych vôd. *Mineralia slov.*, 4, s. 205—216.
- Franko, O. 1975: Súčasný stav výskumu zdrojov geotermálnej energie v Slovenskej socialistickej republike. *Geol. průzk.*, s. 321—325.
- Franko, O. 1977: Súčasný stav a perspektívy hydrotermálneho výskumu zdrojov geotermálnej energie v SSR. Zbor. prednášok z konferencie Výskum, prieskum, využitie a ochrana podzemných horúcich vôd v ČSSR (Bratislava), s. 64—86.
- Fusán, O. — Imrmajer, J. — Plančár, J. — Slávik, J. — Smíšek, M. 1971: Geologická stavba podložia zakrytých oblastí južnej časti vnútorných Západných Karpat. Zbor. geol. vied, rad ZK, 15, 173 s.
- Kaldrovits, J. 1975: Rozloženie teplotného poľa na území SSR v hĺbke 1 km. [Záverčná správa.] Geofyzikálny výskum hlbínnej stavby zemskej kôry v karpatскеj oblasti najmä na základe gravimetrických podkladov. Manuskript — SAV Bratislava.
- Kukal, Z. 1973: Vznik pevnin a oceánů. Praha, Vyd. ČSAV. 243 s.
- Kutas, R. I. 1973: Charakteristika geotermálneho poľa Vostočnych Karpat. Sekcia VIII. Geofyzika. Materiály X. kongresu KBA (Bratislava), s. 41—47.
- Lavigne, J. 1972: L'énergie géothermique. *Rev. de l'association Française des techniciens du pétrole*. No 213, s. 61—65.

- Lizoň, I. — Marušiak, I. — Kovač, B. — Koladová, K. — Koláš, L. — Jančín, J. 1975: Základný výskum priestorového rozloženia zemského tepla v Západných Karpatoch. [Záverečná práca.] Manuskript — Geofyzika Bratislava. 67 s.
- Lizoň, I. 1975: Niektoré výsledky geotermických výskumov v Západných Karpatoch. Celostátní konference geofyziky, II. diel, sbor. 6 (Plzeň), s. 477—498.
- Macúr, M. 1963: Měření geotermického stupně. Manuskript — Nafta Michalovce. 17 s.
- Magyar, J. 1975: Geologicko-petrografické pomery predterciérnych útvarov Košickej kotliny a prilahlých oblastí. [Rigózná práca.] Manuskript — Nafta Michalovce. 95 s.
- Makarenko, F. A. — Polák, B. G. — Smirnov, J. B. 1968: Geothermal Field on the U. S. S. R. Territory. XXIII. International Geological Congress, Vol. 5, p. 67—73.
- Mann, O. 1960: Závěreční správa o detailním magnetickem průzkumu v roce 1959—1960. Manuskript — Geofyzika Brno. 41 s.
- Marušiak, I. — Koladová, K. 1973: Nekotoryje problemy opredelenija teploga potoka v razreze pesčano-glinistych otloženíj. Materiály X. kongresu KBA, sekcia VII. Geofyzika (Bratislava), s. 68—79.
- Marušiak, I. — Lizoň, I. 1974: Problém výpočtu tepelného toku v sedimentárnych panvách. Geol. průzk., 16, s. 76—78.
- Marušiak, I. — Lizoň, I. 1977: Výsledky geotermického výskumu československej časti viedenskej panvy. Geol. práce, Spr. (Bratislava), 63, s. 191—204.
- Pospíšil, L. — Filo, M. 1977: Výsledky interpretácie geofyzikálnych anomálií v strednej časti Potiskej nížiny. Geol. průzk. 12, s. 100—103.
- Rudinec, R. 1972: Výskyt termálnej vody vo východoslovenskom neogéne. Geol. průzk., 14, s. 205—206.
- Rudinec, R. 1974: Problémy vrtania hlbokých vrtov vzhľadom k vysokým teplotám a tlakom vo východoslovenskom neogéne. Zemní plyn nafta, 14, s. 3—14.
- Rudinec, R. 1976: Ložiská uhľovodíkov vo východoslovenskom neogéne. Mineralia slov., 8, s. 289—384.
- Rudinec, R. 1976: Neogénny vulkanizmus na východnom Slovensku a geotermická energia. Geol. průzk., 18, s. 225—229.
- Rudinec, R. 1977: Teplotné a tlakové pomery vo východoslovenskej neogénnej panve vo vzťahu k ostatným depresiám Západných Karpát a ich význam pre geologickú prax. [Kandidátska dizertačná práca.] Manuskript — Nafta Michalovce. 90 s.
- Smíšek, M. 1975: The Skech Pattern of the Mohorovičič Discontinuity in the West Carpathian Area. [Záverečná správa Geofyzikálny výskum hlbínnej stavby kôry v Karpatskej oblasti najmä na základe gravimetrických podkladov za roky 1971—1975.] Manuskript — SAV Bratislava.
- Slávik, J. 1972: Pochované vulkanické pohorie. Geol. práce, Spr. (Bratislava), 58, s. 45—56.
- Sluka, J. 1977: Závislosť ložiskových tlakov a teplôt na fyzikálno-mechanických vlastnostiach hornín vo vzťahu k možnosti intenzifikácie tlakových bariér a za účelom zvyšovania priepustnosti kolektorských hornín na východnom Slovensku. Manuskript — Koncern naft. a plyn. podnikov Bratislava. 118 s.
- Stegena, L. 1972: Geothermal Map of Eastern Europe. Geothermies (Budapest), 1. No. 4.
- Stegena, L. 1974: Geothermics and tectogenesis in the Pannonian basin. Acta geol. Acad. Sci. hung., 18, p. 257—266.
- Stegena, L. — Geczy, B. — Horváth, F. 1975: Late cenozoic evolution of the Pannonian basin. Tectonophysics (Amsterdam), 26, p. 71—90.
- Šaly, S. 1966—1973: Výsledky merania geotermického stupňa na štruktúre Stretava, Ptrukša, ako aj ďalšie teplotné záznamy pri EK-meraní. Manuskript — Nafta Michalovce.
- Šaly, S. 1975: Presnosť merania teploty vo vrtoch v naftovom prieskume. Zemní plyn nafta, 20, s. 45—50.

Anomalous bedding pressures and temperatures in the East-Slovakian Neogene basin

RUDOLF RUDINEC

The East Slovakian Neogene basin attaining maximal thickness of Neogene strata of 5,500—6,500 m reveals anomalous pattern amongst molasse basins of the Neogene due to its frequently high bedding pressures and temperatures. There, interbedded within sandy to clayey development of the Neogene, volcanics occur frequently, being products of an extensive subsequent volcanism. Our knowledge upon temperature and pressure relations of this area is unequal. As temperature relations appear usually as more attractive, studies in this domain are up to present wide-spreaded whereas pressure relations of the Neogene remained until generally less known.

Temperature relations

It is recently generally accepted that the main geothermal source are not processes in the Earth's crust (originated here by radioactive decay) but the heat of the crust is conducted one from the upper mantle. The matter of the geothermal heat in the Western Carpathians has been treated by V. Čermák (1966, 1968, 1972, 1975, 1976), J. Kaldrovits (1975), L. Marušiak — K. Koladová (1973), I. Marušiak — I. Lizoň (1975), I. Lizoň et al. (1975), O. Franko (1970), 1971a, 1972, 1975, 1977). Papers of M. Macúr (1973), S. Fischer (1966), S. Šály (1969—1973) and R. Rudinec (1969, 1972, 1974, 1976) concern the studied area.

In surrounding countries communicating immediately with the investigated area we may mention papers of L. Stegena (1972, 1974, 1975) from the Hungarian territory as well as of R. I. Kutas (1973) and partly of L. G. Danilovič (1973) from the USSR.

The thermal field is recently characterized by the heat flow unit (HFU expressed as mWm^{-2} ; previously in units of $\mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$). Lowest values of HFU are on platforms: $37.6\text{--}52.5 \text{ mWm}^{-2}$ or $0.0\text{--}1.25 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ (F. A. Makarenko et al. 1968), higher values upon recent tectonic zones: 80.3 mWm^{-2} or $1.99 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ (Z. Kukal 1974). In areas of recent volcanism in Kamchatka the heat flow attains values of $71.1\text{--}108.7 \text{ mWm}^{-2}$ or $1.7\text{--}2.6 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ and on Iceland 166.8 mWm^{-2} or $3.99 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$. The worldwide average is equal to 50.2 mWm^{-2} or $1.2 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ according to I. Lavinge (1972). Average values of the heat flow in individual tectonic units of the Western Carpathians are as follows (V. Čermák 1975): in the Carpathian foredeep 69.8 mWm^{-2} ($1.67 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$), in Carpathian pre-Neogene units 60.4 mWm^{-2} ($1.44 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$), in Neogene basins 86.6 mWm^{-2} ($2.08 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$) and in the Mid-Slovakian neovolcanite area the heat flow attains 94.3 mWm^{-2} ($2.25 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$). The highest heat flow in Czechoslovakia has been ascertained in the East Slovakian lowland: 110 mWm^{-2} ($2.61 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}$). The last value has been evaluated from drill-hole measurements (Table 1).

Heat flow measurements were carried out in all Neogene basins in drill-holes

after some days of standstill. Corrections allowing comparison of obtained values from different time-intervals and apparatus used have been introduced by S. Šalý (1975). Results are given in the Table 2. The last author evaluated also average values of the geothermal gradient in the East Slovakian Neogene basin (Table 3). Differences between East Slovakian values and those obtained from other areas prospected for hydrocarbon are listed in the Table 4.

Downward fluctuations of average values of the thermal field in the East Slovakian Neogene basin are presented on Fig. 1. This pattern is typical for the central and southern parts of the basin (Table 5). The thermal field is relatively tranquil in northern portions of the basin.

Possible reasons of the elevated thermal field

Elevated values of the thermal field in the East Slovakian Neogene basin have been previously connected with the activity of huge subsequent volcanism during the Neogene. Comparison of the average geothermal gradient value distribution with detailed geomagnetic map of the vertical intensity (O. Man 1959—1960) showed interesting results. The map gives a detailed picture of magnetic anomalies (Fig. 2) reflecting buried volcanic bodies in different depths (i. e. superficial, subsurface and deep-seated bodies).

According to this map, the lowest geothermal gradient occurs in places where drill-holes Lastomír 1 and Rebrín 1 are located. The comparison of low geothermal gradient occurrences with the geomagnetic map reveals good covering of a pronounced intrabasinal magnetic anomaly elongated in its vault-head about 20—25 km between the villages Hriadky, Trhovište and Lastomír. Warmest areas in the territory do not overlap occurrences of superficial or subsurface volcanic bodies. Therefore another source is to be supposed for the ascertained anomalous heat field, which seems to be in a deep-seated volcanic mass. The presence of such a deep-seated volcanic mass is probably reflected by mentioned magnetic anomaly. The supposed volcanic body is represented on a hypothetical and idealized geological profile of the area (Fig. 3). It might have acted as a deep-seated magmatic reservoir in upper crustal portions. The elevated thermal field of Hungary and neighbour areas has been also connected with the existence of a subcrustal (i. e. upper mantle located) diapirism (L. Stegena 1974). In dimension of this conception, one or two such magmatic reservoirs may represent apophyses of the mantle diapir.

The average geothermal gradient (Fig. 4 and Table 6) points to two such pronounced thermal anomalies in the East Slovakian lowland, the northern and southern ones, divided by a thermal depression. The thermal depression is located between Malčice and Trebišov. The northern thermal anomaly is probably a reflection of deep-seated magmatic reservoir whereas the southern anomaly may reflect NW part of the buried Zemplín—Beregovo volcanic range (J. Slávik 1972) or a smaller magmatic chamber in the crust (Fig. 3). A pronounced magmatic body in central portions of the East Slovakian lowland was interpreted from geophysical measurements also by L. Pospíšil — M. Filo (1977).

Pressure relations

Bedding pressure distribution in Neogene basins of Western Carpathians (Table 7) was ascertained as to be anomalous except for the Kúty graben in the Vienna basin (K. Bílek 1974) only in the East Slovakian Neogene basin (R. Rudinec 1969, 1974, 1977).

An analysis of bedding pressures revealed both horizontal and vertical fluctuations. Four pressure zones were delimited in horizontal direction (Fig. 5). The first zone has a pressure gradient below $109 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} , the second between $109 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} and $130 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} , the third between 145 and 130 MPa m^{-1} and the fourth zone between 145 and $191 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} . The second, third and fourth pressure zones occupy the central and southeastern part of the East Slovakian lowland.

In the zone of highest pressure values, according to exploration results of its most known Stretava structure, four pressure zones were delimited in vertical direction (Fig. 6). The first pressure zone occurs at depths 1100—1600 m and has a pressure gradient of $103\text{--}128 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} . Pressure gradient of the second zone (1600—2000 m) is $118\text{--}136 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} whereas the highest pressure gradient occurs in the third zone (200—3200 m) and its values are $140\text{--}187 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} . A decrease of the pressure gradient occurs in the fourth zone between 3200—3800 m having values of $147\text{--}151 \cdot 10^{-4}$ MPa m^{-1} .

Possible reasons of the high bedding pressure

Comparison of the areal distribution of bedding pressures and the tectonic map of the area reveals location of elevated pressures in a quadrangle limited by pronounced normal faults. According to until known paleogeographical development of the East Slovakian Neogene, anomalous bedding pressures are in places where maximal subsidence occurred during the Upper Badenian, Sarmatian and Pliocene. In the Upper Badenian and Sarmatian, these normal faults acted syngenetically and therefore relatively slightly consolidated sediments underwent strong deformations in the time of highest subsidence rates of the Neogene basin formation. Strong deformations in the Neogene eventually influenced even older, Karpatian sediments. An analysis of the lithofacial development showed frequent lenticular development and gradual transitions of sandy sediments into marly development.

In the course of deformations caused mainly by tangential forces, frequent plicative forms generated along main fault lines. On the idealized geological section (Fig. 7), two main elevational belts are presented, the Lastomír — Stretava and the Ložín — Malčice belt. Highest bedding pressures occur along these structures. Pressure in overlying sediments does not exceed the hydrostatic one.

Conclusions

Both anomalous features have their practical consequences whether positive or negative. Elevated thermal gradients influence in negative sense realisation of deep bore-holes. Maximal bore-hole depths are limited by

4.200—4.500 m for the central and southern part of the basin. This depth limit is caused by the necessity of achieving working-temperature of drilling by the means of circulating drilling flush-liquid by 15—25 p. c. lower as the stationary thermal field (Fig. 1). On the other hand, such environment promotes the utilization of the geothermal energy. Actually, thermal water discharges having 26—85 °C temperature on the surface were discovered. However, high mineralisation of these waters (achieving total mineralisation of 7.300—16.760 mg l⁻¹) raises objections against their exploitation due to possible negative environmental influences. Nevertheless, twelve perspective areas for utilisation of the geothermal energy have been delimited recently (Fig. 8).

Elevated bedding pressures have solely negative influence. Application of high-weight flush mud is necessary in these sites (using barite and limestone powder) which in high temperatures leads to colmatation of the permeable environment of the drill-hole. Sometimes, presence of high bedding pressure indirectly points to the occurrence of small and lenticular-shaped gas accumulations.

Preložil I. Varga