

Mineralia slov.
16 (1984), 5, 467—483

Teplotno-tlakové problémy vo flyšových oblastiach a bradlovom pásme na východnom Slovensku a ich vzťah k ropoplynosnosti

RUDOLF RUDINEC

Moravské naftové doly, k. p. Hodonín, Prieskumný závod Michalovce

(6 obr. a 5 tab. v texte)

Doručené 18. 1. 1984

Вопросы температуры и давления во флишевых районах и утёсовой зоны Восточной Словакии и их отношение к нефтегазосности.

Скважины глубиной 3—6 километра на Восточной Словакии с точки зрения распределения теплотного поля во флишевых свитах и их непосредственной почве показали следующую последовательность: дуклянская единица, утёсовая зона, магурский покров и центральнокарпатский палеоген. Смотря на температурную ситуацию свиты с точки зрения существующих представлений более высокие аккумуляции нефти можно предполагать на глубине 2700—4000 м; газа на глубине 5200—6300 м.

Анализ давлений в слоях показал, что центральнокарпатский палеоген и дуклянская единица имеют эти давления ниже гидростатического давления. В утёсовой зоне являются приблизительно гидростатические и в магурском прикрове как правило высокие.

Temperature — pressure conditions in Flysch and Pieniny Klippen Belt areas of Eastern Slovakia: their relation to perspectives of natural hydrocarbons

Deep drilling reaching 3 to 6 km depths in Eastern Slovakia revealed that in respect of temperature distribution the single units may be arranged in the sequence of decreasing temperatures as follows: the Dukla unit, Pieniny Klippen Belt, Magura nappe and the Central Carpathian Paleogene units. With regard to the temperature distribution and assuming hitherto valid general considerations, greater accumulations of natural oil may be predicted in the 2,700—4,000 m interval whereas gas accumulations may be located in 5,200—6,300 m depths. An analysis of bedding pressures revealed that generally lower than hydrostatic pressures occur in the Central Carpathian Paleogene and Dukla units. Bedding pressures are roughly equal to hydrostatic ones in the Pieniny Klippen Belt whereas higher than hydrostatic pressures characterize the Magura nappe.

Na východnom Slovensku sa prieskumné práce na ropu a zemný plyn sústreďujú v oblastiach: východoslovenský neogén, vnútorný flyš — centrálnokarpatský paleogén, bradlové pásmo a vonkajší flyš — magurský prikrov a duklianska jednotka.

V každej z týchto oblastí sa realizoval jeden alebo viac hlbokých vrtov (obr. 1). Vrty poskytli zaujímavé a rozmanité výsledky o teplote a tlaku. Ukazuje sa, že každá z oblastí je z pohľadu týchto fyzikálnych javov akousi mikroprovinciou s viac alebo menej odlišnými pomermi. Ich poznávanie je dôležité z pohľadu teoretických prognóz, možnej genézy a koncentrácie kvapalných a plyných uhľovodíkov. Nie menej významné sú vedomosti o týchto javoch z praktického aspektu, t. j. pri zabezpečovaní kvalitného a technologicky optimálneho režimu vrtných prác.

Vo všeobecnom chápaní sú teplotné pomery najmä odrazom hlbšej stavby kôry a plášťa, ale sčasti aj dnešného režimu prúdenia podzemnej vody vo vzťahu k východom súvrství na povrch. Tlakové prejavy signalizujú celkovú dynamiku prostredia, ktorá odráža súčasné tektonické napätie (stresové pole), premietajú sa tu rozmanité faktory, stavba súvrství (faciálny vývoj, mocnosť, sedimentov, diagenéza a i.) ako odraz minulých dejov.

Pretože sa táto problematika už podrobne z rozličných hľadísk vo východoslovenskom neogéne rozoberala (Rudinec, 1970, 1976, 1978), na porovnanie uvádzame iba niektoré podstatné informácie. Ťažisko práce sa sústreďuje na oblasti, kde prieskumné práce pokračujú.

Stručná geologická situácia skúmaných oblastí a doterajšie teplotné a tlakové výsledky

Centrálnokarpatský paleogén zaberá územie na J a JZ od bradlového pásma, t. j. od štátnej hranice zo ZSSR na JV až po hranicu s PLR na SZ. V severnej časti východoslo-

venského neogénu sa čiastočne ponára pod jeho sedimenty. Na J a sčasti Z sa opiera o staršie súvrstvie centrálnych západných Karpát. Mocnosť flyšových súvrství od J na S narastá a pri bradlovom pásme dosahuje 3000—3500 m.

Prieskum na ropu sa v tejto oblasti doteraz sústreďuje na prvej štruktúre Lipany. Tu sa vyhlbil hlboký vrt Lipany-1 (4000 m), Lipany-2 (3500 m), Lipany-4 (3000 m) a Lipany-3 (3100 m).

Tieto vrty približne do hĺbky 1800—2000 m prevrtili flyšové súvrstvie s vrásovo-šupinatou stavbou. Litologicky ide hlavne o tmavý slabo vápnný ílovec s nevýraznými polohami jemnozrnného vápnnitého pieskovca. Vo viac detritickej spodnej časti v intervale 2000—3100 m podstatne vzrastá podiel piesčitej zložky. Pieskovec tu miestami dosahuje aj vyše 100 m mocnosť, inde iba desiatky metrov. Ojedinele sa spozorovali mocné vápencovo-slieňovcové polohy (olistolity) s jurskou a spodnokriedovou faunou (Rehánek, 1983). Bázu centrálnokarpatského paleogénu tu pod numulitovým vápencom tvorí 100—150 m mocný komplex pestrého rozpukaného ílovca ležiaceho diskordantne na vrchnotriasovom dolomite s polohami pestrého ílovca keupru (obr. 1).

Na štruktúre Lipany sa z rozpukaného dolomitu zistili prítoky až samotoky slabo až stredne mineralizovanej slanej vody s CO₂, v bazálnej časti centrálnokarpatského silne vápnnitého pieskovca a rozpukaného slieňovca a vápenca (olistolity) menšie prítoky plynu a pulzujúce prítoky ľahkej ropy s hustotou 816 kg/m³.

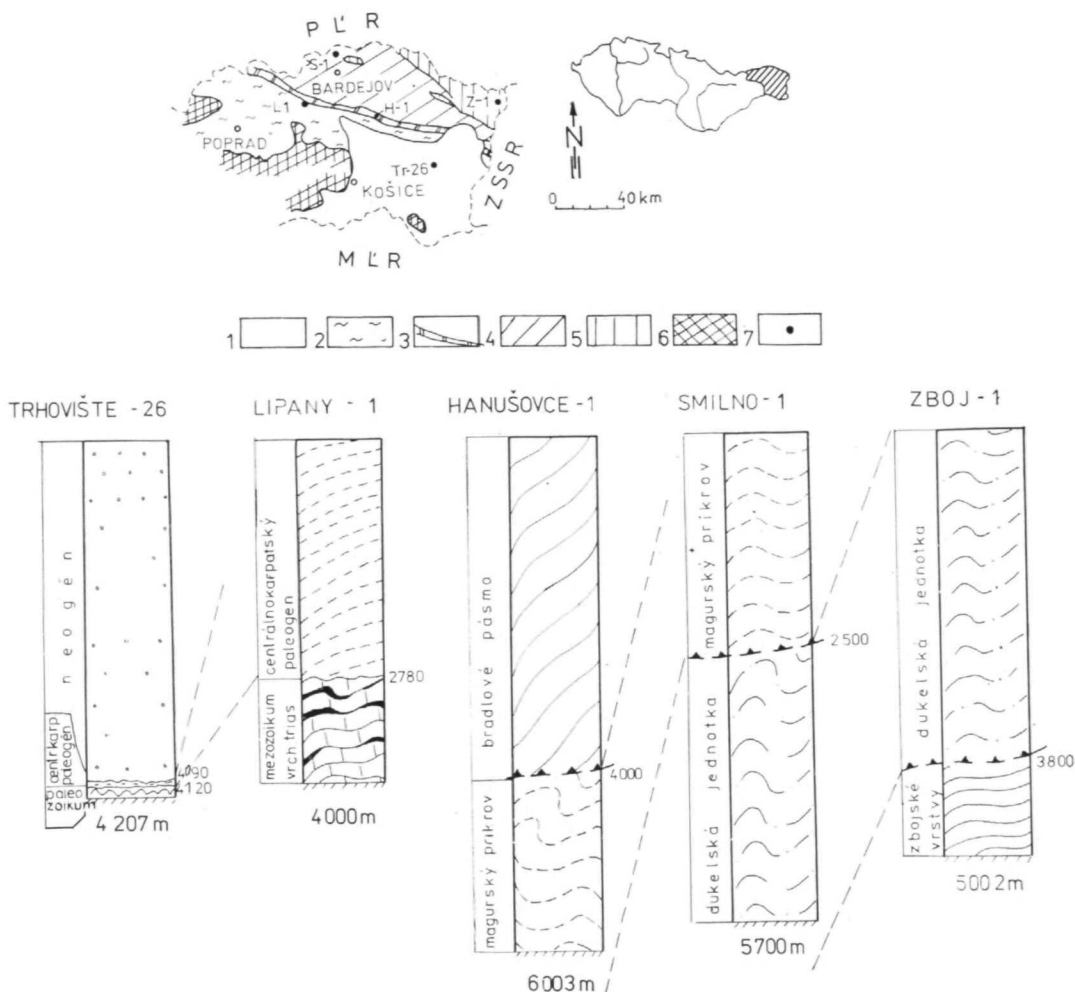
Merania teploty v najhlbšom vrte Lipany-1 ukázali, že v hĺbke 1000 m je teplota 41 °C, 2600 m 64 °C, 3000 m 91 °C a v hĺbke 3900 m 112 °C (Leško et al., 1982). Hĺbkové zobrazenie teplotného poľa jednoznačne ukazuje, že ide o najchladnejšiu oblasť na východnom Slovensku (tab. 1, obr. 2). Ukazuje sa, že centrálnokarpatský paleogén sa ochladzuje v dôsledku dobre priepustných karbonátových hornín v jeho podloží. Tie vystupujú na povrch pri jeho južnom okraji. Tu povrchová voda infiltruje, preniká do hĺbky a ochladzuje okolie a, prirodzene, aj nadložie. Vplyv tepla prechádzajúceho z hĺbín Zeme sa takto čiastočne potláča. Príkladom je lokálna „chladná“ mikroprovincia v hĺbke 1000 a 2000 m v okolí východov humenského mezozoika na povrch (obr. 3 a 4).

Táto interpretácia sa opiera o fakt, že voda v podpaleogénnych karbonátoch je iba slabo až stredne mineralizovaná, signalizuje otvorenosť rezervoára, v ktorom sa čiastočne riedi s povrchovou sladkou vodou. Naproti tomu voda z obalových mezozoických súvrství, ktoré sú v podloží týchto súvrství (humenského mezozoika) v Košickej kotline, má

charakter ropnej silne mineralizovanej vody, čo svedčí o uzavretosti rezervoára (Rudinec, 1980). Všeobecne sa to prejavuje tak, že sa vo väčšej hĺbke tento vplyv stráca (obr. 5).

Zaujímavé sú údaje o vrstvovom tlaku, ktorého výpočet sa robil tak, že sa hydrostatický tlak každého súvrstvia počítal vzhľadom

na hĺbku obzoru a zistenú alebo analogicky odvodenú hustotu vrstvej vody. Tento tlak sa bral za základ a namerané hodnoty ložiskového tlaku (hlbinným manometrom pri testerovaní) sa prepočítali na vrchnú hranicu perforácie (tab. 2). Ukazuje sa, že v mezozoickom vrchnotriasovom súvrství je tlak



Obr. 1. Korelačná schéma najhlbších vrtov na východnom Slovensku (Rudinec, 1983). 1 — východoslovenský neogén, 2 — centrálnokarpatský paleogén, 3 — bradlové pásmo, 4 — magurský príkrov, 5 — duklianska jednotka, 6 — predterciérne súvrstvia, 7 — hlboké vrty (Tr — Trhovište, L — Lipany, H — Hanušovce, S — Smilno, Z — Zboj)

Fig. 1. Correlation scheme of deepest drillings in Eastern Slovakia (Rudinec 1983). 1 — East Slovakian Neogene, 2 — Central Carpathian Paleogene unit, 3 — Pieniny Klippen Belt, 4 — Magura nappe, 5 — Dukla unit, 6 — Pre-Cenozoic units, 7 — deep drillings (Tr — Trhovište, H — Hanušovce, S — Smilno, Z — Zboj)

vzhľadom na vrstvovú vodu (hustota slabo až stredne mineralizovanej vody je 1001—1008 kg m⁻³) takmer hydrostatický (tab. 2, obr. 6). Na druhej strane všetky priepustné obzory v centrálnokarpatskom paleogéne vykazujú nižší tlak ako hydrostatický, a to s rozptylom od 1,7—12,8 ‰, ojedinele až 23,3 ‰. Pretože sa tu doteraz pri čerpacích pokusoch voda nezistila, hydrostatický tlak sa vypočítal vzhľadom na mineralizovanú vodu s hustotou 1010 kg m⁻³.

Bradlové pásmo predstavuje úzku a dlhú a v geologickej literatúre mnohými predstavami opradenú štruktúru smeru SZ—JV oddeľujúcu vnútorný a vonkajší flyš. V tejto oblasti bol vyhlbený najhlbší vrt na východnom Slovensku Hanušovce-1 do hĺbky 6003 m (obr. 1). Do hĺbky 4000 m prevrtal bradlové pásmo a do konečnej hĺbky nevyšiel z flyšových súvrství magurského príkrovu (Leško et al., 1983).

Súvrstvie bradlového pásma reprezentuje do hĺbky 2900 m silne vztyčený spevnený pieskovec preložený tmavým ílovcem vrchnej kriedy. Ten prechádza do sterilného súvrstvia pieskovca a ílovca pri báze s viacerými polohami pestrého ílovca až do hĺbky 4000 m.

Flyšové súvrstvia buduje odvrchu veľmi silne vápnitý rozpukaný a kavernózny pieskovec až piesčité vápenec s polohami tmavého ílovca postupne prechádzajúceho do piesčito-ílovitých súvrství. V intervale 4000—5100 m bola prevrtaná mohutná sedimentárna brekcia.

Vo vrchnej, drvenej a rozpukanej časti flyšových súvrství sa z intervalu 4000—4510 m zistili viaceré obzory s menším prítokom plynu. Podobný výsledok je aj z piesčitého

rozpukaného obzoru z bradlového pásma (hĺbka 2602,0—2636,0 m).

Pri meraní geotermického stupňa vrtu Hanušovce-1 sa namerala teplota v hĺbke 1000 m 47 °C, 2000 m 76 °C, 3000 m 106 °C, 4000 m 135 °C, 5000 m 164 °C, 5874 m 190 °C. Hĺbkové zobrazenie teplotného poľa ukazuje, že bradlové pásmo tvorí teplotne stred medzi oblasťami skúmaného teritória (tab. 1, obr. 2).

Ložiskový tlak obzorov, v ktorých sa zistil prítok plynu, je o 9,1 ‰ nižší a o 11,9 ‰ vyšší ako hydrostatický (tab. 2 a obr. 6). Zo skúšaných obzorov sa nezistil prítok vody, a tak hustotu mineralizovanej vody predpokladáme 1020 kg m⁻³ a vzťahujeme na ňu aj ložiskový tlak.

Vonkajší flyš — magurský príkrov. Tu sa na SZ od východov smilnianskeho tektonického okna vyhlbil do hĺbky 5700 m vrt Smilno-1 (obr. 1). Do hĺbky 2500 m prevrtal magurský príkrov ako pestrý nepiesčité ílovec, ktorý smerom k báze prechádza do sivého ílovca s málo výraznými piesčitými polohami. Do konečnej hĺbky pokračoval vo vrátaní flyšových sekvencií duklianskej jednotky a menilitového — krosnianskeho pásma (?). Litológicky ide o striedanie sa tmavého vápenatého ílovca s jemnozrnným vápenatým a pri báze už kremítym jemnozrnným pieskovcom. V intervale 3600—4460 m a 5050—5350 m boli prevrtané polohy sedimentárnych brekcií — ílovca a pieskovca.

Na tomto vrte sa pri zámere geotermického stupňa namerala teplota v hĺbke 1000 m 43 °C, 2000 m 70 °C, 3000 m 100 °C, 4000 m 128 °C, 4710 m 148 °C. Ukazuje sa, že je to druhá „najchladnejšia“ oblasť na východnom Slovensku (tab. 1, obr. 2, 3, 4, 5).

Zámery ustálenej teploty v hlbokých vrtoch na východnom Slovensku
Data on stable temperatures in deep drillings of Eastern Slovakia

Tab. 1

Oblasť (vrt)	Hĺbka vrtu (m)	Teplota v °C z hl. (m)					
		1000	2000	3000	4000	5000	6000
Východoslovenský neogén (Trhovište-26)	4207	67	120	162	209		
Vonkajší flyš — duklianska jednotka — (Zboj-1)	5002	51	87	118,5	141	168	
Bradlové pásmo (Hanušovce-1)	6003	47	76	106	135	164	190 (5874)
Vonkajší flyš — magurský príkrov (Smilno-1)	5700	43	70	100	128	148 (4710)	
Centrálnokarpatský paleogén (Lipany-1)	4000	41	64	91	112 (3900)		

Údaje o vrstvovom tlaku z plynonosných obzorov ukazujú, že je vyšší ako hydrostatický o 10,5—39 ‰ (tab. 2, obr. 6). Tlakové

hodnoty sa vzťahujú na mineralizovanú vodu a sú také, aké sa zistili z vrtu Zboj-1 (hustota 1037 kg m⁻³).

Vonkajší flyš — duklianska jednotka. Tu sa realizoval hlboký vrt Zboj-1 do hĺbky 5002 m (obr. 1). Do hĺbky 3800 m prevrátil flyšové súvrstvia duklianskej jednotky. Litológicky ide poväčšine o jemnozrnný až strednozrnný spevnený vápnitý pieskovec striedajúci sa s tmavým slabo vápnitým ílovcom. V jeho podloží sa až do hĺbky 5002 m vrtalo v neznámom — zbojskom súvrstvi (vrchný eocén? — sp. oligocén). Petrograficky ho charakterizuje kremity rôznorznný pieskovec až zlepenec s vrstvičkami tmavého ílovca. Celý komplex zbojských vrstiev je v nerovnej intenzite rozpukaný a miestami kavernózny, najmä vo vrchnej časti. Ekvivalent tohto súvrstvia na povrchu nepoznáme (Đurković — Koráb — Rudinec et al., 1982).

Prí čerpacích skúškach sa zo zbojského súvrstvia okrem menších prítokov horľavého a nehorľavého plynu zistili prítoky až samotoky slanej silne mineralizovanej ropnej vody v intervale 3800—4800. V bazálnej časti zbojského súvrstvia sa v intervale 2900—3800 m zistili iba menšie prítoky horľavého plynu s kapacitou v stovkách m³/24 hod.

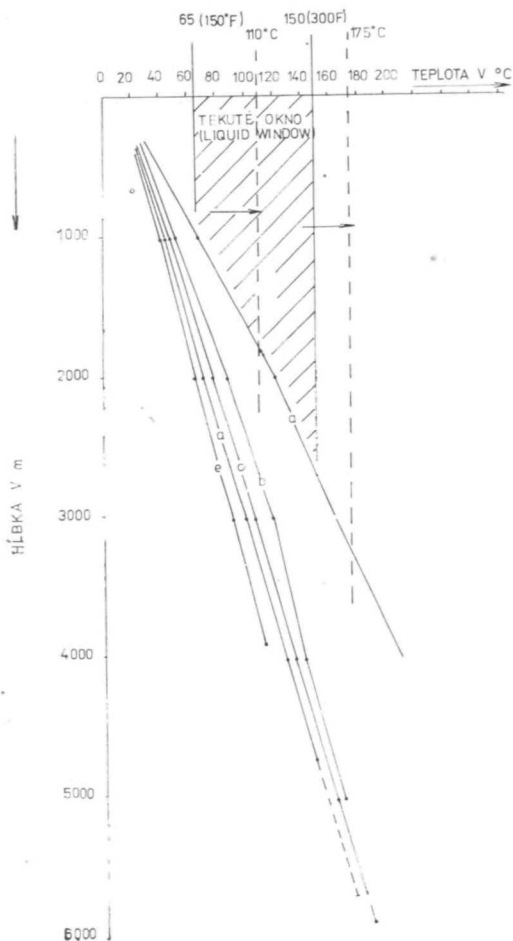
Prí zámere geotermického stupňa sa namerali tieto hodnoty: v hĺbke 1000 m 51 °C, 2000 m 87 °C, 3000 m 118 °C, 4000 m 141 °C, 5000 m 168 °C. Ukazuje sa, že ide o druhé najteplejšie územie na východnom Slovensku (obr. 2, tab. 1).

Analýza vrstvového tlaku v zbojskom súvrstvi ukázala, že je o 2,5—9,9 ‰ nižší ako hydrostatický (tab. 2, obr. 6). Tlak sa vzťahuje na ložiskovú vodu, ktorej hustota je od 1029—1037 kg m⁻³. Výpočet sa urobil pre hustotu vody 1037 kg m⁻³. Vrstvový tlak pri obzoroch z bazálnej časti duklianskej jednotky v intervale 2900—3800 m, ako sa zdá, nie je ustálený a pohybuje sa od 12,3—24,8 ‰ nižšie ako hydrostatický. Iba v jednom prípade sa pri skúške počas vrtania nameral vyšší ako hydrostatický tlak (tab. 2).

Na porovnanie a dokreslenie celkovej mozaiky ropných oblastí východného Slovenska uvádzame výsledky zameru ustálených teplot aj z najhlbšieho vrtu Trhovište-26 (hĺbka 4207 m), vyhlbeného v severovýchodnom krídle východoslovenskej neogénnej panvy (obr. 1). Teplota v hĺbke 1000 m je 67 °C, 2000 m 120 °C, 3000 m 162 °C, 4000 m 209 °C (tab. 1).

Hlbkový priebeh a korelácia s ostatnými uvedenými vrtmi jednoznačne ukazuje, že ide o najteplejšiu oblasť (obr. 2).

Pretože je z neho viac podkladov, oveľa lepšie je známy aj vrstvový tlak. Mení sa v horizontálnom aj vertikálnom smere. V juhovýchodnej a centrálnej časti Východoslovenskej nížiny sú jeho hodnoty v intervale



Obr. 2. Hlbkový priebeh ustáleného teplotného poľa na východnom Slovensku (Rudinec 1983). a — východoslovenský neogén (vrt Trhovište-26), b — vonkajší flyš — duklianska jednotka (vrt Zboj-1), c — bradlové pásmo (vrt Hanušovce-1), d — vonkajší flyš — magurský príkrov (vrt Smilno-1), e — centrálnokarpatský paleogén (vrt Lipany-1)
Fig. 2. Depthward distribution of the stable thermal field in Eastern Slovakia (Rudinec 1983). a — East Slovakian Neogene (Trhovište-26 drilling), b — outer flysch (Dukla unit, Zboj-1 drilling), c — Pieniny Klippen Belt (Hanušovce-1 drilling), e — Central Carpathian Paleogene unit (Lipany-1 drilling)

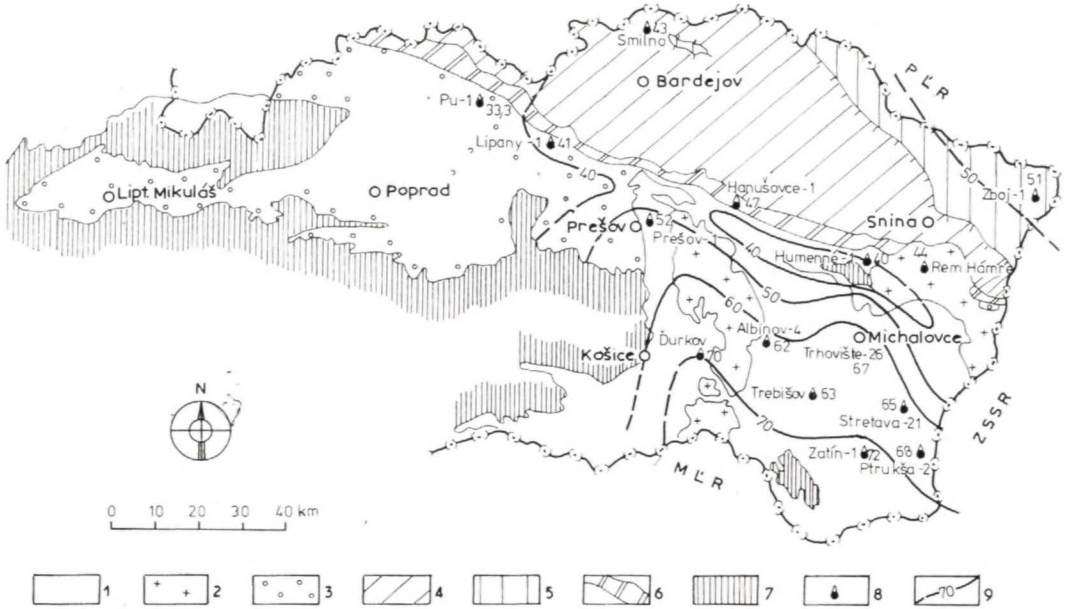
Tabuľka rozloženia vrstvomého tlaku v predneogénnych oblastiach východného Slovenska
 Distribution of bedding pressures in Pre-Neogene units of Eastern Slovakia
 (Rudíneć 1983)

Tab. 2

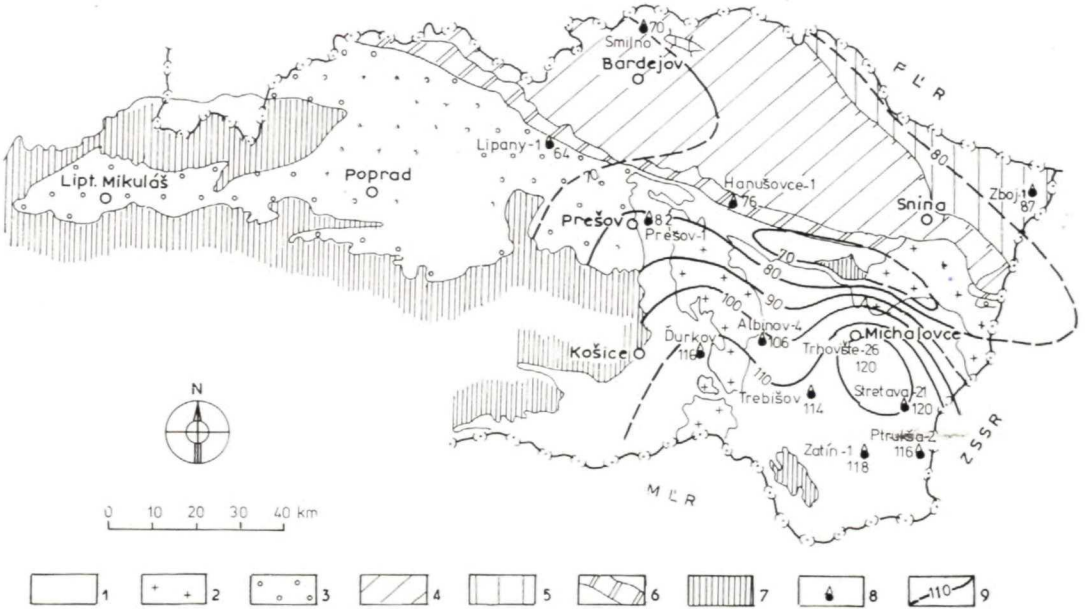
Oblasť	Vrt	Hĺbka obzoru	Nameraný ložiskový tlak v MPa	‰ vzťah lož. tlaku k hydrostatickému na vrch perforácie		Poznámky
				nižší	vyšší	
Vonkajší flyš — duklianska jednotka	Zboj-1	4828,0—4853,5	46,0	— 9,9.		Zbojské súvrstvie — eocén
		4858,0—4867,5				
		4723,0—4726,5	48,36	— 2,5.		
		4719,5—4692,5				
		4442,0—4449,5	44,52	— 5,3.		Hustota vrstvomvej vody 1029—1037 kg/m ³
		4460,0—4467,0				
		4469,5—4472,0				
		4328,5—4334,5	43,33	— 5,9.		
		4361,0—4343,0				
		3964,0—3992,5	40,46	— 3,4.		Lupkovské vrstvy vrchná krieda — paleogén
		3887,5—3901,0	39,48	— 2,7.		
		3803,5—3834,0	34,56*	—14,1.		
		3355,0—3420,0	26,29*	—24,8		
		3296,0—3312,0	29,93*	—12,3		
		3179,0—3190,0	25,91*	—21,6		
3006,4—3030,0	36,07+		+14,1	Hustota vrstvomvej vody (odhad) 1020 kg/m ³		
2900,0—3025,0	25,5*	—15,3				
Vonkajší flyš — Magurský príkrov	Smilno-1	5639,5—5700,0	82,75+		+39	Menilitovo-kros- nianske súvrstvie? Duklianska jednotka Hustota 1037 kg/m ³ vrstvomvej vody
		4146,0—4170,0	58,5		+33,2	
		3209,0—3308,0	37,98+		+10,5	
		2990,0—3015,0	39,47		+33,4	

Bradlové pásmo	Hanušov- ce-1	4510,0—4485,0	42,46	— 9,1		Magurský príkrov
		4502,0—4485,0	45,14	— 2,9		Hustota vrstvevej vody (odhad)
		4485,0—4455,0	48,58		+11,9	1020 kg/m ³
		4223,0—4171,0	44,94		+ 7,36	
		4082,0—4042,0	27,35+		+ 3,0	Bradlové pásmo
		4030,0—4012,0				
		2602,0—2636,0				
Vnútorný flyš — centrálnokarpatský paleogén	Lipany-1	3988,0—3974,0	39,88		+ 2,0.	Mezozoikum — vrchný trias
		3964,0—3943,0				
		3890,0—3860,0				
		3750,0—3729,5	37,75	— 1,32.		
		3570,0—3530,0	35,90	— 0,9.		Hustota vrstvevej vody 1001—1008 kg/m ³
		3455,0—3386,0	34,94+		+ 0,26.	
		3245,0—3176,8	33,08+		+ 1,37.	
		2955,5—3023,0	30,89		+ 2,10.	
		2794,7—2855,0	29,65+		+ 3,42.	
		2580,0—2496,5	22,64+	—12,2		
		2366,5—2352,0	18,48*	—23,3		
		2299,0—2290,0	20,59	—12,6		Centrálnokarpatský paleogén
		2110,0—2080,0	18,70	—12,8		
	2040,0—2035,0					
	2020,0—2000,0					
	1980,0—1960,0				Hustota vrstvevej vody (odhad)	
	Lipany-2	2493,0—2482,0	23,06	— 8,56	1010 kg/m ³	
		2482,0—2463,5				
		2463,0—2455,0				
Lipany-4	2342,0—1976,0	19,82+	— 1,78			

* Neustálené hodnoty tlaku, + tester počas vrtania, - hodnoty sa vzťahujú na hydrostatický tlak, ktorý vytvára vrstvomá voda zistená pri čerpacích pokusoch. V ostatných prípadoch je urobený odhad na základe analógie súvrstvi.



Obr. 3. Geozotermie v hĺbke 1000 m na východnom Slovensku (Rudinec, 1983)
 Fig. 3. Geoisotherms in 1,000 depth in Eastern Slovakia (Rudinec 1983)



Obr. 4. Geozotermie v hĺbke 2000 m na východnom Slovensku (Rudinec, 1983)
 Fig. 4. Geoisotherms in 2,000 m depth in Eastern Slovakia (Rudinec 1983)

1000—3500 m od 4 až do 90 ‰ vyššie ako pri hydrostatickom (Rudinec, 1970, 1976, 1978). Ukazuje sa, že aj pri tomto jave sú tu miestami anomálne pomery.

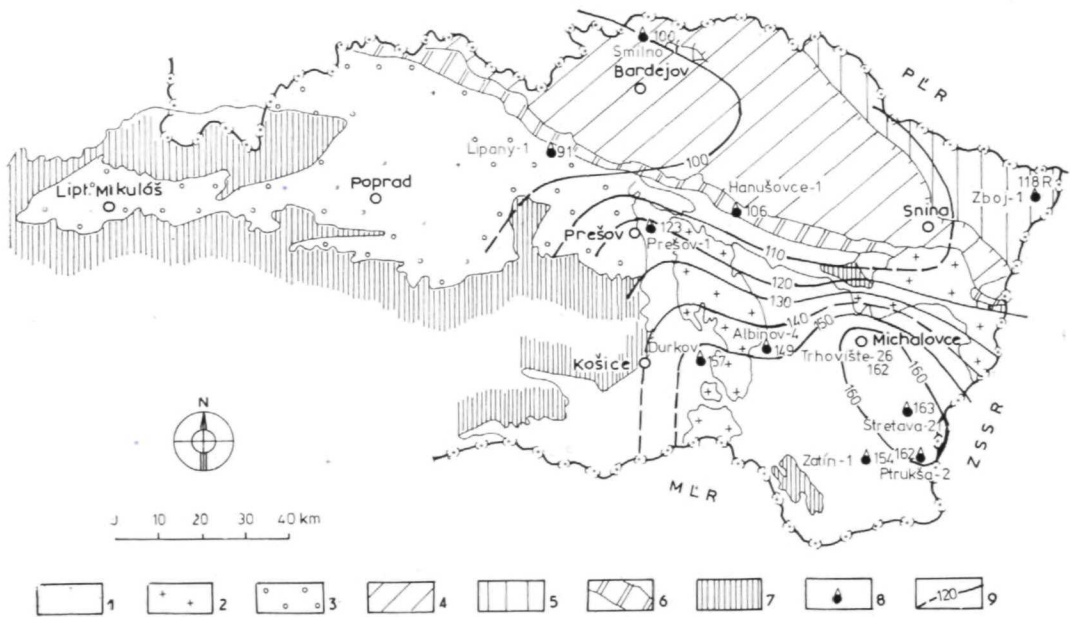
Analýza teplotného poľa

Podľa intenzity narastania teploty do hĺbky možno na východnom Slovensku pre skúmané územia stanoviť poradie: východoslovenský neogén, duklianska jednotka, bradlové pásmo, magurský príkrov, centrálnekarpatiský paleogén.

Rozloženie teploty v hĺbke 1000, 2000 a 3000 m ukazuje na klesanie teplotného gradientu smerom na S a SZ do karpat-

ského gravimetrického minima (obr. 3, 4 a 5). Tento trend je v súlade s klesaním regionálneho gradientu tiaže (Scheffer, 1960; Plančár in O. Fusán et al., 1971) a poklesom Mohorovičičovej zóny diskontinuity (Smíšek in Fusán et al., 1971). Oblasť centrálnekarpatiského paleogénu vykazuje v tomto všeobecnom trende istú anomálnosť. Vychodí najpravdepodobnejšie z infiltrácie chladnej povrchovej vody do mezozoických rozpukaných súvrství pod centrálnekarpatiský paleogén. Takto infiltrovaná chladná voda nielenže znižuje účinky penikajúceho tepla odspodu, ale ochladzuje aj svoje nadložie.

Rozloženie teplotného poľa do hĺbky je aj istým indikátorom možného výskytu



Obr. 5. Geoisotermie v hĺbke 3000 m na východnom Slovensku (Rudinec, 1983). 1 — neogénna výplň, 2 — neovulkanity (Slánske vrchy, Vihorlat), 3 — centrálnekarpatiský paleogén, 4 — vonkajší flyš — magurský príkrov, 5 — vonkajší flyš — duklianska jednotka, 6 — bradlové pásmo, 7 — predpaleogénne súvrstvia, 8 — hlboké vrty, 9 — geoisotermie

Fig. 5. Geoisotherms in 3,000 m depth in Eastern Slovakia (Rudinec 1983). — 1 Neogene basin filling, 2 — neovolcanite (Slánske vrchy and Vihorlat Mts.), 3 — Central Carpathian Paleogene unit, 4 — Outer Flysch: the Magura Nappe, 5 — Dukla unit, 6 — the Pieniny Klippen Belt, 7 — Pre-Cenozoic units, 8 — deep drillings, 9 — geoisotherms

uhľovodíkov. Dnes vo svete existuje viacero predstáv o zonálnosti väčších akumulácií uhľovodíkov v závislosti od teploty. Známa je teória tzv. tekutého okna (liquid window — Pusey, 1973). Opiera sa o analýzu súčasných najväčších koncentrácií ropy vo svete vo vzťahu k teplote. Podľa nej sa veľké koncentrácie kvapalných uhľovodíkov najčastejšie vyskytujú v teplotnom pásme od 65—150 °C. Podľa tejto teórie je v našich teplotných podmienkach možný výskyt kvapalných uhľovodíkov (ropy) vo východoslovenskom neogéne priebežne v hĺbkovom intervale 980—2700 m, v priestore centrálneokarpatského paleogénu v intervale 2000—5300 m, v bradlovom pásme od 1600—4500 m, vo vonkajšom flyši v magurskom príkrove v hĺbke 1800—4750 m a v duklianskej jednotke od 1300—4300 m (obr. 2 a tab. 3). Zákonitosťami rozloženia uhľovodíkov v závislosti od teploty sa v ukrajinských Karpatoch podrobne zaoberal R. M. Novosileckij (1975, 1982). Autor smerom do hĺbky v závislosti od teploty a priepustnosti kolektorov vydelil štyri zóny:

vrchnú plynonosnú, roponosnú, plynokondenzátovú, spodnú plynonosnú.

Podľa jeho analýz je v závislosti od teploty vrchná plynonosná zóna do teploty 45—60 °C a hlavná roponosná od 45—110 °C. V rozmedzí 110—175 °C sa vyskytujú hlavne plynokondenzátové ložiská. Pod touto teplotou sú iba menšie plynové ložiská uhľovodíkov s postupne sa zvyšujúcim podielom N₂ a CO₂.

V oblastiach, ktoré sme skúmali, sa vzhľadom na teplotné pole podľa tejto predstavy môžu vyskytovať ložiská ropy približne takto (obr. 2); vo východoslovenskom neogéne do hĺbky 1800 m, v duklianskej jednotke do 2700 m, v bradlovom pásme do 3100 m, v magurskom príkrove do 3400 m a v centrálneokarpatskom paleogéne do hĺbky 4000 m (tab. 3) a výskyt plynokondenzátových ložísk vo východoslovenskom neogéne do hĺbky 3250 m, v duklianskej jednotke do 5200 m, v bradlovom pásme do 5400 m, v magurskom príkrove do 5650 m a v centrálneokarpatskom paleogéne až do hĺbky 6300 m.

Je prirodzené, že takto vyčlenené hra-

Možný hĺbkový výskyt uhľovodíkov v perspektívnych oblastiach na východnom Slovensku
Possible depth intervals of hydrocarbon accumulations in prospective areas of Eastern Slovakia

Tab. 3

Podľa teórie tekutého okna W. G. Puseyho (1973) od 65—150 °C

* Podľa teórie R. M. Novosileckého (1982) do 110 °C ropa, do 175 °C plynokondenzát a plyn

Oblasť	Hĺbkový interval (m)		
		Ropa	Plyn
Východoslovenský neogén	980	2700 (1800*)	3250*
Vonkajší flyš duklianska jednotka	1300	4300 (2700*)	5200*
Bradlové pásmo	1600	4500 (3100*)	5400*
Vonkajší flyš Magurský príkrov	1800	4750 (3400*)	5650*
Centrálneokarpatský paleogén	2000	5300 (4000*)	6300*

nice nie sú striktné a treba ich chápať s istou toleranciou v najvšeobecnejšom zmysle a počítat s výnimkami v závislosti od rozmanitosti stavby celého karpatského oblúka. Rozmanitosť a výnimky sú v malých aj vo väčších regiónoch, čo do istej miery potvrdzujú výsledky z tab. 4 a 5.

Vo svete sa v súčasnosti ropa dobýva z najväčšej hĺbky 6570 m z ložiska Lake Washington a plyn z hĺbky 7875—8032 m — panva Anadorka (USA; in Chmelík — Đurica, 1983).

Diskusia

Relatívne najväčšia koncentrácia ropy sa doteraz na východnom Slovensku zistila v centrálnokarpatskom paleogéne štruktúry Lipany. Ide o územie, v ktorom z pohľadu teploty sú podľa uvedených predstáv optimálne podmienky (obr. 2). Ropa sa vyskytuje jednak v rozpukaných silne vápnatých primárne málo priepustných pieskovcových polohách alebo v roz-

pukanom brekciovitom slieňovci. Roponosný je aj jemne rozpukaný brekciovitý nevápnitý ilovec (mocný okolo 100 m) z bázy centrálnokarpatského paleogénu. Ako ukázali doterajšie výsledky, je jeho priepustnosť v priestore štruktúry Lipany minimálna, a tak súvrstvie možno pokladať skôr za materskú horninu ako za kolektor.

Vo vonkajšom flyši magurského príkrovu sú roponosné mohutné polohy pelitu — belovežské vrstvy (oblasť Smilna), ale tam chýbajú kolektory. Súvrstvie je veľkou zásobárňou kvapalných uhľovodíkov, z ktorej môžu migrovať do vyšších polôh. Súvrstvie je väčšinou obnažené (výskyt ropy na povrchu, plytké studne — Miková), a tak ropa uniká do terénu. V priestoroch, kde sa súvrstvie ponára hlbšie a v jeho nadloží by boli dobré kolektory, dá sa predpokladať ich napĺňanie, a teda aj možné väčšie koncentrácie.

Výskyty ropy vo východoslovenskom neogéne možno charakterizovať viac-me-

Prehľad výskytov ropy na východnom Slovensku v závislosti od teploty a hĺbky
Review of East Slovakian oil occurrences in relation to temperature and pressure

Tab. 4

Oblasť	Hĺbka v m	Teplota °C	Poznámka
Východoslovenský neogén	400—600	35—45	vrchný bádén — vrt Pozdišovce 3 a 5
	2800	146	vrchný bádén — vrt Lastomír-1
	3100	168	karpát — vrt Albínov-4
Centrálnokarpatský paleogén	oxidy ropy 537—644	20—23	šambronské vrstvy — vrt Šambron-1 (Pu-1)
	2250—2700	71—82	šambronské vrstvy — spodná časť — vrty Lipany-2, 4
Vonkajší flyš — magurský príkrov	0—40	15—20	belovežské vrstvy — Miková
	0—2500	12—85	belovežské vrstvy — vrt Smilno-1

*Prehľad výskytu plynových obzorov, resp. ložísk na východnom Slovensku
v závislosti od hĺbky a teploty*
*Review of East Slovakian gas-bearing horizons and gas pools in relation
to temperature and pressure*

Tab. 5

Oblasť	Hĺbka v m	Teplota °C	Poznámka
Východoslovenský neogén	400—1500	34/95	spodný sarmat — vrchný bádén — ložiská suchého plynu Trhovište — Pozdišovce
	900—2000	62—120	detto Lastomír — Bánovce
	1100—1600	74—100	spodný sarmat — nálezisko suchého plynu — Stretava
	2500—3700	138—195	stredný bádén — malokapacitné plynové ložiská — Stretava
	1500—2100	95—125	spodný sarmat — plynové až plynokondenzátové ložiská — Ptrukša
	2000—3000	120—165	bádén — nízkokapacitné plynové ložiská — Trebišov
Centrálnokarpatský paleogén	1800—2700	60—82	menšie plynové ložiská — Lipany
Bradlové pásmo	2600	94	bradlové pásmo — malo- kapacitný plynový obzor — vrt Hanušovce-1
	4000—4500	136—150	vrchná — drvená časť magurského príkrovu — plynonosná zóna s podielom 25—30 % N ₂ — vrt Hanušovce-1
Vonkajší flyš			
dukelská jednotka a menilitová krosenská zóna	2500—5700	90—178	plynonosné obzory — vrt Smilno-1
— dukelská jednotka a zbojské vrstvy	2900—5000	116—168	malokapacitné plynové obzory — vrt Zboj-1

nej ako mineralogické. Vzhľadom na do-
terajšiu preskúmanosť, výsledky a teplot-
né osadenie je malá pravdepodobnosť vý-
skytu väčších hospodárskych koncentrácií
ropy. Reálne sa tu môžu vyskytovať väč-
šie hospodárske koncentrácie plynu a ply-
nokondenzátov do hĺbky 3200 až 3500 m
(v severnej časti), ale vo väčšej hĺbke,
zdá sa, budú iba menšie ložiská.

Je prirodzené, že hospodárske konc-
trácie uhľovodíkov sú neodmysliteľne
späté s dobre priepustnými kolektormi.
Vo flyšových súvrstviach, ktoré vystupujú

na povrch a kde sú aj bežné plynové pre-
javky, je primárna priepustnosť kolektor-
rov malá. Miestami ju v rozličnej miere
zlepšuje sekundárna puklinatosť.

V centrálnokarpatskom paleogéne má
pieskovec ako kolektor vysoký obsah vá-
penatej zložky, takže intenzifikačnými
zásahmi (kyselinovaním) možno do istej
miery zlepšiť jeho fyzikálne vlastnosti.
Čiastkové výsledky z vrtu Zboj-1 a spod-
nej časti vrtu Smilno-1 ukazujú, že sú-
vrstvia v podloží z povrchu známych fly-
šových sekvencií majú lepšie kolektory.

V zbojskom súvrství boli pod duklianskou jednotkou z kremitého rozpukaného pieskovca až zlepenca zistené prítoky, miestami až samotoky slanej silne mineralizovanej ropnej vody. Signalizujú lepšiu priepustnosť kolektorov, a hlavne ich regionálnejší rozsah a širšie zázemie.

Aj keď výsledok testeru z vrtu Smilno-1 (hĺbka 5640—5700 m) — prítok preplyneného vyplachu po predchádzajúcich intenzívnych plynových prejavoch v ňom nie je úplne reprezentatívny, ukazuje sa, že nameraný ložiskový tlak 82,75 MP a jeho nástup nepriamo svedčí o dobrých kolektorových vlastnostiach skúšaných obzorov.

Zaujímavé je zistenie celkovej pórovitosti 10,6—11,7 % z jedného intervalu jadra z hĺbky 3741—3746 m a priepustnosti 25,2 mD (21 872,4 nm²). Vysoká pórovitosť 15 % bola vypočítaná z výsledkov testeru z obzoru z hĺbky 2990—3010 m vo vrte Smilno-1, kde sa zistil hospodársky prítok suchého plynu s kapacitou 327 000 m³/24 hod. Podľa výsledkov karotáže sa celková pórovitosť piesčítokuklinatých kolektorov pohybuje od 2—10,8 %. V obidvoch prípadoch je vysoká pórovitosť vo vrte Smilno-1 pre flyšové súvrstvia Západných Karpát nezvyčajná, a treba ju chápať ako hodnotu, do ktorej sa premieta hlavný podiel puklín.

Ako je známe z ukrajinských Karpát, paleogénne súvrstvie z okraja karpatského oblúka obsahuje piesok s veľmi dobrými fyzikálnymi vlastnosťami a viažu sa naň veľké zásoby kvapalných aj plyných uhľovodíkov. Podľa R. M. Novosileského (1976) sa absolútna priepustnosť kolektorov pohybuje od 2—3 až do 30,6 %.

Vo východoslovenskom neogéne sa fyzikálne vlastnosti kolektorov v dôsledku diagenetického spevňovania sedimentov smerom do hĺbky, okrem malých výnimiek, v najvšeobecnejšom pohľade zhoršujú.

Analýza tlaku

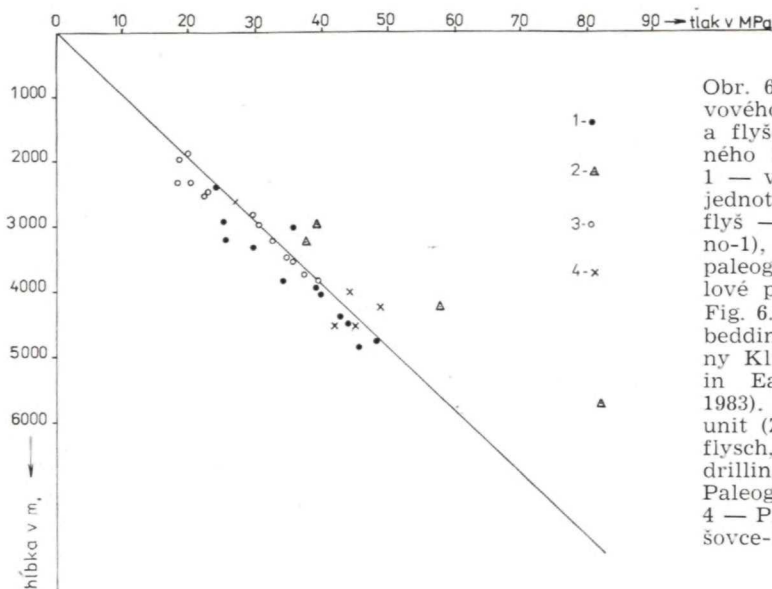
Aj keď je vrstvomý tlak charakteristický pre jednotlivé geologické celky, východoslovenský neogén vykazuje v tomto smere isté anomálie.

Určitý trend zvýšeného ložiskového tlaku od 10,5—39 % badať vo vonkajšom flyši v štruktúre Smilno (tab. 2, obr. 6), ale na objasnenie príčin tohto stavu je nateraz málo podkladov.

Ako vychodí z tab. 2, vrstvomý tlak sa väčšinou pohybuje okolo hydrostatického. Isté anomálie smerom dole vykazujú obzory z bázy duklianskej jednotky. Podobný všeobecne nižší ako hydrostatický tlak bol zistený v centrálnokarpatskom paleogéne. Pri ustálených zámeroch je to okolo 12 %. Čo je príčinou tohto stavu, zatiaľ presnejšie nevieme, ale vysvetlení môže byť viac.

Piesčité kolektory s výskytom uhľovodíkov majú veľmi malú primárnu priepustnosť, ale podstatnejšia je ich sekundárna priepustnosť. Ich faciálny vývoj je veľmi premenlivý, a tým aj plošný rozsah relatívne malý. Tým možno do istej miery vysvetliť rýchly pokles tlaku pri ťažbe. Deštruktívne procesy späté so vznikom bradlového pásma ako jedného z najmladších štruktúrnych fenoménov (podľa súčasných predstáv sa začína prejavovať na povrchu až do obdobia vrchného bádenu) mali vplyv aj na príľahlé flyšové súvrstvia, v dôsledku čoho mohla časť uhľovodíkov odmigrovať až na povrch (výskyty oxidov na vrte Šambron-1), a tým poklesnúť tlak. Na podporu tejto alternatívy tu chýbajú väčšie a azda aj častejšie výskyty zoxidovanej ropy — asfaltu neďaleko bradlového pásma alebo v jeho okolí.

Ďalším možným vysvetlením je, že v pôvodne poréznych kolektoroch nasycovaných uhľovodíkmi ako výsledok tektonického diania vznikli v okolí pukliny, kto-



Obr. 6. Hĺbkové rozloženie vrstvomového tlaku v bradlovom pásme a flyšových súvrstviach východného Slovenska (Rudinec, 1983). 1 — vonkajší flyš — duklianska jednotka (Zboj-1), 2 — vonkajší flyš — magurský príkrov (Smilno-1), 3 — centrálno-karpatský paleogén (Lipany-1), 4 — bradlové pásmo (Hanusovce-1)

Fig. 6. Depthward distribution of bedding pressures in the Pieniny Klippen Belt and flysch units in Eastern Slovakia (Rudinec 1983). 1 — outer flysch, Dukla unit (Zboj-1 drilling), 2 — outer flysch, Magura nappe (Smilno-1 drilling), 3 — Central Carpathian Paleogene unit (Lipany-1 drilling), 4 — Pieniny Klippen Belt (Hanusovce-1 drilling)

rých čast nebola vyhojená. Pukliny spôsobili zväčšenie voľného priestoru pre uhľovodíky, a preto pri rovnakom objeme plynu poklesol jeho tlak. Štúdium vyhojených puklín v jadrách jednoznačne ukazuje, že vznikali v čase, keď boli ílovité súvrstvia ešte plastické. Kalcitovými žilkami sú vyhojené iba pevnejšie pieskovcové polohy. Kalcitové žilky neprenikajú, alebo ojedinele prenikajú iba sčasti do ílovca. Prirodzene, že ani táto predstava nie je posledná a ďalším hromadením podkladov sa budú poznatky o tomto jave dopĺňať.

Vo vzťahu k teplote sa na východnom Slovensku všeobecne ukazuje istá závislosť v tom, že čím vyššia je teplota, tým zložitejšia a vyššia je vrstvomový tlak (východoslovenský neogén), ale naopak, čím je teplota nižšia, tým nižší je vrstvomový tlak (centrálno-karpatský paleogén).

Záver

Z pohľadu teploty má anomálne postavenie východoslovenský neogén, ktorý je

najteplejší, ďalej vonkajší flyš — magurský príkrov, bradlové pásmo, duklianska jednotka a centrálno-karpatský paleogén. Zníženie teploty v centrálno-karpatskom paleogéne oproti všeobecnému regionálnemu trendu asi spôsobilo ochladzovanie podložitých mezozoických dolomitov infiltrujúcou vodou z povrchu.

V závislosti od teplého poľa možno podľa dnešných predstáv v rozložení uhľovodíkov vo vrchnej časti kôry predpokladať hospodárske koncentrácie ropy vo východoslovenskom neogéne do hĺbky 2700 m, v duklianskej jednotke do 4300 m, v bradlovom pásme do 4500 m, magurskom príkrove do 4750 m a v oblasti centrálno-karpatského paleogénu do hĺbky 5300 m, hospodárske koncentrácie plynokondenzátov vo východoslovenskom neogéne do hĺbky 3200—3600 m, duklianskej jednotke do 5200 m, bradlovom pásme do 5400 m, v magurskom príkrove do 5650 m a v centrálno-karpatskom paleogéne do hĺbky až 6300 m. Toto hĺbkové vymedzenie treba chápať v najvšeobecnejšej rovine a tolerantne.

Analýza ukázala, že až o 39 % vyšší ako hydrostatický tlak sa vyskytuje v magurskom príkrove v štruktúre Smilno. V oblasti duklianskej jednotky a bradlového pásma je tlak približne hydrostatický, s malou toleranciou nad touto hranicou, resp. pod ňou. Všeobecne nižší vrstvový tlak je v centrálnokarpatskom paleogéne (cca 12 %).

Recenzoval I. Pagáč

LITERATÚRA

- Ďurkovič, T. — Koráb, T. — Rudinec, R. et al. 1982: Hlboký štruktúrny vrt Zboj-1. *Manuskript — GÚDŠ Bratislava*. 75 s.
- Fusán, O. — Ibermajer, J. — Plančár, J. — Slávik, J. — Smíšek, M. 1971: Geologická stavba podložia zakrytých oblastí južnej časti vnútorných Západných Karpát. *Zbor. geol. vied. rad ZK*, 15, 173 s.
- Chmelík, F. — Ďurica, D. 1983: Možnosti realizácie veľmi hlbokého vrtu na ropu a zemný plyn. *Geol. průzk.*, 25, 4, s. 100—104.
- Leško, B. et al. 1982: Oporný vrt Lipany-1 (4000 m). *Manuskript — GÚDŠ Bratislava*. 77 s.
- Leško, B. et al. 1983: Oporný vrt Hanušovce-1 (6003 m). *Manuskript — GÚDŠ Bratislava*.
- Novosileckij, R. M. 1975: Geogidrodinamičeskije i geochemičeskije uslovija formirovanija zalezěj nifti i gaza Ukrajiny, *Moskva, Nedra* 1975. 225 s.
- Novosilickij, R. M. 1982: Zony anomalno vysokich plastovych dovolenij a ich naftogazonosnost. *Geol. žurnal (Kiev)*, 3, s. 60—70.
- Pussy, W. C. 1973: How to evaluate potential gas and oil Source rocks. *Wild. Drill*, 176, 5, pp. 71—75.
- Řehánek, J. 1983: Mikrofaciální srovnání mezozoických karbonátových fragmentů z centrálně-karpatského paleogénu na vrtech Lipany-2 a 3. *Manuskript — MND Michalovce*. 4 s.
- Rudinec, R. 1970: Anomálne tlakové a teplotné pomery vo východoslovenskom neogéne. *Geol. průzk.*, 12, 4, s. 100—103.
- Rudinec, R. 1976: 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 — MND Michalovce*. 90 s.
- Rudinec, R. 1978: Anomálne vrstvové tlaky a teploty vo východoslovenskej neogénnej panve Západných Karpát. *Mineralia slov.*, 10, s. 481—504.
- Rudinec, R. 1980: Možnosti výskytu ropy a plynu v predneogénnom podloží východoslovenskej neogénnej panvy. *Mineralia slov.*, 12, s. 507—531.
- Scheffer, V. 1960: Some Contributions to the geophysical Knowledge of the Carpathian Basins. *Acta Technica. Academia Scientiarum Hungarica*, 30, 1—2, Budapest.

Temperature — pressure conditions in Flysch and Pieniny Klippen Belt areas of Eastern Slovakia: their relation to perspectives of natural hydrocarbons

RUDOLF RUDINEC

Hydrocarbon prospection in Eastern Slovakia is recently realized in the Neogene Basin filling, in Central Carpathian Paleogene unit, in the Pieniny Klippen Belt and in outer flysch units (the Magura nappe and the Dukla unit). Temperature — pressure conditions are analyzed from all indicated areas (excluding the Neogene Basin filling) and using data from deep drillings reaching

3—6 km depths (fig. 1). Only the most substantial data are given for the Neogene beds evaluated formerly (Rudinec 1976, 1978).

The knowledge of temperature — pressure distribution is important not only for theoretical considerations and prognostics but also for practical use and rational development of oil and gas pools in the area.

Brief characteristics of geological situations and previous data on temperature and pressure

The Central Carpathian Paleogene unit occurs southwesternly from the Pieniny Klippen Belt extending from the USSR frontier in the SE to the Polish/ČSSR boundary in the NW. The unit relies partly over older Central West Carpathian units. In the northern part of the East Slovakian Neogene Basin, the Central Carpathian Paleogene merges partly under Neogene sediments.

Prospection work realized up to now is concentrated to the Lipany structure where several drillings reached 2,000–4,000 m (fig. 1). Results proved that the Central Carpathian Paleogene unit attains 3,000–3,500 m thickness near to the southern margin of the Pieniny Klippen Belt.

From lithological point of view, the sequence contains fine rhythmic flysch beds of the Šambron member down to 1,800–2,000 m depth in a sliced-folded structure. The lower part lies only moderately inclined (by 30°) and consists of more detritic constituents (sandstone) together with irregular breccia-like marly to limestone bodies (olistoliths) yielding Jurassic to Lower Cretaceous fauna.

Basal part of the Central Carpathian Paleogene is built by a 100–150 m thick layer of variegated and brecciated claystone lying unconformably over Upper Triassic dolomite and variegated claystone (Carpathian Keuper development). Yields of slightly to moderately mineralized saline water and carbon dioxide have been trapped from fissured Mesozoic dolomite. Lesser yields of gas and pulsating inflows of light oil (up to 810 kg.m⁻³ specific gravity) have been stated in sandstone and fissured claystone to limestone in the lower parts of the Central Carpathian Paleogene unit.

Temperature measurements from the deepest Lipany-1 drilling revealed (tab. 1, fig. 2) that the unit represents the "coolest" are in Eastern Slovakia with local "cold" microprovinces in 1,000 and 2,000 m depths respectively and in areas where the Humenné Mesozoic units outcrops (fig. 3, 4). The relatively cold pattern of the Central Carpathian Paleogene unit may plausibly be explained by infiltration of sweet surficial water from its southern and southeastern margin where Mesozoic rocks occur on the

surface. The influence of surficial waters decreases in deeper and more isolated structures of the unit (fig. 5).

Bedding pressures are related to the hydrostatic pressure the latter calculated for each member assuming also the stated, or deduced, presence of bedding water. The latter pressure was used as reference and the measured values of the reservoir pressure (measured by pressure gauge during bed testing) have been recalculated to the upper limit of perforation in the drilling (tab. 2). In the Mesozoic units, in view of the density of mildly to moderately mineralized waters present (1,001–1,008 kg.m⁻³), are these pressures by 1.3 ‰ lower and 3.4 ‰ higher than the hydrostatic pressure. Permeable layers in the Central Carpathian Paleogene reveal by 1.7–12.9 ‰ lower pressures than the hydrostatic one (tab. 2, fig. 6).

The Pieniny Klippen Belt represents a narrow and long structure of NW–SE orientation bordering the Central Carpathian Paleogene from outer flysch units. The deepest drilling in Slovakia has been realized here (Hanušovce-1) reaching 6,003 m final depth (fig. 1). The drilling traversed the Pieniny Klippen Belt down to 4,000 m depth as an erected and steeply southwards inclined structure whereas to the final depth but the Magura nappe has been stated (flysch beds).

Temperature measurements in the drilling (fig. 2, tab. 1) reveal that the Pieniny Klippen Belt is intermediate in respect of its temperatures in the area. Bedding pressures of gaseous horizons are by 9.1 ‰ lower and 11.9 ‰ higher than the hydrostatic pressure (tab. 2, fig. 10).

Outer Flysch Units: in the Magura nappe, the Smilno-1 deep drilling has been located northwesternly from the outline of the Smilno tectonic window and reached 5,700 m final depth (fig. 1).

The drilling pierced in 0–2,000 m interval the Magura nappe represented by variegated claystone of the Beloveža member and from 2,000 m to its final depth drilled the Dukla unit and, probably, even the Menilite (Krosno) zone with prevailing quartzzy sandstone.

The course of temperature distribution reveals that the Magura nappe is the second coldest structure in Eastern Slovakia (figs. 2–5, tab. 1). To the contrary, reservoir pressures of gas-yielding horizons reveal certain anomaly being by 10.5–30 ‰ higher

than the hydrostatic pressure (tab. 2, fig. 6).

The Dukla unit has been drilled by the Zboj-1 deep drilling reaching 5,002 m final depth. The drilling pierced flysch sequences of the Dukla unit down to 3,800 m and entered the Zboj member of Upper Eocene to Lower Oligocene age in this depth. From lithological point of view, the Zboj member consists of quartz heterogranular sandstone to conglomerate with dark claystone intercalations. The entire sequence is strongly fissured to cavernous with fluctuating intensity.

Temperatures are there the highest among Pre-Neogene units in the area investigated (tab. 1, fig. 2). Reservoir pressures reveal, in the case of low-capacity gaseous horizons found along the base of the Dukla unit and except of one case, lower values than is the hydrostatic pressure (fig. 2). Bedding pressures in the Zboj member where yields of saline oil waters contain both combustible and incombustible (CO₂) gas, are by 2.5—9.9 % lower than the hydrostatic pressure (tab. 2, fig. 6).

With the aim to give complete picture on temperature — pressure relations in investigated areas of Eastern Slovakia, anomalous temperature data from the deepest drilling in the East Slovakian Neogene Basin are also included (Trhovište-26 drilling, tab. 1, fig. 2). The depthward increase of bedding pressure attains as much as 4 to 90 % in central parts of the Neogene Basin filling (Rudinec 1978).

Analysis of the temperature field

If arranged according to the intensity of temperature increase, the units investigated may be arranged into the following sequence: East Slovakian Neogene Basin, Dukla unit, Pieiiny Klippen Belt, Magura nappe and the Central Carpathian Paleogene unit. Due to the cooling of drill-holes by induced circulation in logging technique used (15—20 %, Rudinec 1976), the drilling depths off the Neogene Basin proper may reach 6,500 to 7,000 m depths without unfavourable influence on hydrocarbon accumulations. The depthward temperature distribution (figs. 3—5) is in agreement with the regional decrease of gravity gradient and of the Moho surface towards the Carpathian gravity low (Scheffer 1960, Fusán et al. 1971). A certain anomaly in this respect is revealed by the Central Carpathian Paleogene unit induced by the

infiltration of cold surficial waters into its fissured Mesozoic underlier eliminating also partly the geothermic gradient.

The temperature distribution may serve, to a certain extent, also as a guide for possible hydrocarbon accumulations in the area. If one makes selection from several data on the influence of temperature on hydrocarbon accumulations (fig. 2), the possible depth interval of larger pools containing both liquid and gaseous hydrocarbons in single units may be indicated (tab. 3), for which data from Pusey (1973) and Novosiletzkiy (1982) have been used. Naturally, exceptions from the indicated general values may also occur and the reader is referred also to tabs. 4 and 5.

It follows from the acquired data that optimal conditions in respect to bedding temperatures are in the Central Carpathian Paleogene unit where also the largest oil concentrations have been found in fissured and brecciated claystone and limestone. The higher carbonate content of sandstone may be a positive factor for possible intensification interferences here. Similarly, also temperature data obtained from the further units allow really presume economic accumulations of hydrocarbon liquids but mainly of gas down to 5,000—6,000 m depths. Motivating are mainly the up to date results from the outer flysch units where the collector properties generally improve with increasing depths. The low average permeability is here also increasing due to strong fissuration so that rarely even 11.7 % porosity has been found in the Smilno-1 drilling but the calculated value of the gas-yielding horizon was as much as 15 % in 3,000 m depth. Also the saline water inflow indirectly indicates a larger collector area.

Analysis of pressures

There are but insufficient data to explain the bedding pressures higher by 39 % from the hydrostatic pressure in the Smilno structure. Generally lower bedding pressures occur in the Central Carpathian Paleogene unit what may be explained by destructive influence of Post-Paleogene movements related to the Pieniny Klippen Belt (from the Upper Badenian to Pliocene including).

Preložil I. Varga