

Interpretácia karotážnych meraní na ložisku Ždánice-kryštalínikum 1

SILVESTER ŠÁLY, JÁN BIENIK

Naftoprojekt, k. ú. o., pobočka Bratislava, Mlynské Nivy 46, 825 05 Bratislava

(Doručené 12. 12. 1988, revidovaná verzia doručená 4. 5. 1989)

Interpretation of well logging measurements in the Ždánice 1 pool in crystalline rocks

Actual problems of well logging interpretation in crystalline rock environment of the Ždánice 1 hydrocarbon pool are discussed setting out from common manual interpretation results. Obtained results are discussed with the aim to serve for further prospection purposes in crystalline rock units.

Úvod

Oblasť Ždánického lesa, v ktorej leží spracované ložisko, sa nachádza v strednej skupine západného flyšového pásma československých Karpát. Najstaršími horninami tvoriacimi autochtónny podklad na väčšine územia sú granodiority. Najrozšírenejší je biotitický granodiorit. Kryštalínikum, hlavne jeho vrcholové časti, sú silne tektonicky porušené. Západnú časť Ždánického lesa tvoria devónske karbonáty a bazálne klastické súvrstvia. Paleozoické horniny sú známe z vrtovej Žd-14, 2 a 1. Na niektorých miestach sa zistili horniny spodného miocénu. Povrch masívu je dosť členitý a na vrchnej časti i na jv. svahu je presunutá ždánická jednotka. Spodnomiocénové sedimenty tvorené jemnozrnnými pieskovecami, pelitmi a ílovcami sa zistili v niekoľkých vrtoch na západnej strane elevácie. Celú oblasť prikrýva presunutá ždánická jednotka s mocnosťou 700—1 300 m.

Nachádza sa tu 6 ložísk ropy a zemného plynu rôznej veľkosti. Ako prvé sa na ťažbu pripravuje ložisko Ždánice-kryštalínikum 1. Má pozdĺžny tvar v smere JZ — SV, dĺžku 4,2 km a šírku 2,0 km. Plynová čapica má dĺžku 2,7 km a šírku 1,1 km (Krejčí a Buchta, 1983).

Interpretáciu karotážnych meraní sťažuje skutočnosť, že ložisko tvoria pevné, stredne až slabo rozpukané zelenošedé a ružovkasté zrnité biotitické granodiority s puklinovou pórovitosťou. Nad kryštalínikom je 15 až 20 m mocná poloha jemnozrnej brekcie s materiálom kryštalínika.

Geologický prieskum oblasti Ždánice ukázal, že ložisko ropy je masívneho typu s plynovou čapicou a podstlané vodou. Roponosná poloha kryštalínika dosahuje maximálne 87 m (max. efektívna mocnosť je 65 m), plynonosná časť max. 101 m (max. efektívna

mocnosť je 76 m). Komplikujúcou okolnosťou prípravy ťažby je členitý povrch terénu, ktorý nedovoľuje zvyčajné rovnomerné rozmiestnenie ťažobných sond na povrchu. Z tohto dôvodu sa rozhodlo, že ťažobné sondy sa budú vŕtať usmernene trsovite.

V kryštalínických kolektoroch študovaného ložiska sa zvyčajne vytvára zmiešaný systém pórovitosti s chaotickým geometrickým rozložením v priestore a súčasne sa značne mení aj mineralogické zloženie kolektora. V takýchto horninách stojí pred karotážou veľmi zložitá úloha. Zvlášť obťažné je určiť nasýtenie pórového priestoru, čo komplikuje hlavne kombinovanie jednotlivých typov pórovitosti, pričom primárnu pórovitosť blokov horniny tvoria póry veľmi malých rozmerov, ktoré sú okrem toho často úplne nasýtené vodou, alebo percentuálny podiel vody v nich je vysoký. Aj prípadný veľký prienik výplachu do okolia vrtu sťažuje určiť nasýtenie uhľovodíkmí.

Pri komplexnej karotážnej interpretácii treba veľmi opatrne posudzovať aj výsledky laboratórnych meraní na jadrách. V takýchto horninách treba odoberať vzorky väčších rozmerov. Napriek tomu informácie o pórovitosti poskytujú väčšinou pesimistické výsledky, pretože sa vzorky zvyčajne rozpadajú v miestach, kde sa nachádzajú najlepšie dutiny a pukliny.

Použitá metodika interpretácie karotážnych meraní

Analýza karotážných záznamov ukázala, že krivky sú veľmi členité (merania HK, AK a v niektorých prípadoch i NGK), a preto je ich digitalizácia bez komplikovaných úprav nevhodná. Použitie výpočtovej techniky pri automatizovanej interpretácii komplikuje i nedostatočná kalibrácia meraní. Z týchto dôvodov sa na spracovanie karotážnych meraní zvolila ručná interpretácia, aj keď si autori uvedomovali,

že kvalita interpretácie bude nižšia, ako by tomu bolo pri automatizovanom spracovaní.

Pri interpretácii sa na základe meraní LL určila bloková pórovitosť — p_b , z meraní NGK celková pórovitosť — p_c a na základe týchto parametrov sa určila puklinová pórovitosť — p_p . Interpretácia prebiehala podľa schémy:

- zhodnotenie kvality karotážnych meraní,
- vyčlenenie intervalu kryštalinika,
- stanovenie kontaktov ropa — voda — plyn podľa štruktúrnej mapy,
- určenie stredných hodnôt potrebných karotážnych parametrov pre ropnú a plynovú zónu,
- vlastná interpretácia.

Kvalita karotážnych meraní bola veľmi rozdielna. Napr. na vrtoch Žd-15 a 18 sa meralo súpravou Dresser Atlas, ktorá je veľmi kvalitná. Asi 17 vrtov z celkového počtu 26 spracovaných vrtov má dobré meranie LL-7. Merania NGK nie sú ciachované, a preto bolo potrebné nachádzať závislosť nameraných hodnôt od pórovitosti.

Horná hranica kryštalinika sa veľmi dobre prejavuje na všetkých meraniach. Najzreteľnejšia je na meraniach LL, NGK, AK a HK. Petrofyzikálne rozdiely medzi kryštalinikom a nadložným ílom sú výrazné, a preto určenie hornej hranice nie je problémom. Stredné hodnoty potrebných karotážnych parametrov pre ropnú a plynovú zónu ložiska sa určili podľa karotážnych meraní (hlavne metódy LL). Interval kryštalinika bol rozdelený na bloky a odčítali sa namerané hodnoty. Stredné hodnoty pre ropnú a plynovú zónu boli stanovené samostatne.

Vlastná interpretácia karotážnych meraní

Karotážne merania sa interpretovali na základe závislosti zostrojených z laboratórnych meraní a meraní vo vrte. Sú to hlavne závislosti $F = a \cdot p^{-m}$, pomocou ktorej bola určovaná p_b — bloková pórovitosť, závislosť $\log p = f(X_{NGK})$, na základe ktorej bola určená celková pórovitosť p_c a ich rozdiel bol s určitými výhradami považovaný za p_p — puklinovú pórovitosť.

Určiť p_b zo závislosti $F = a \cdot p^{-m}$ možno len za predpokladu, že v blokoch sú póry nasýtené vodou alebo len minimálne nasýtené uhľovodíkmi. Ak sú póry v blokoch vysoko nasýtené uhľovodíkmi, v ropnej zóne je p_b znížené, a tým p_p zvýšené. V plynovej zóne je p_b i p_c znížené.

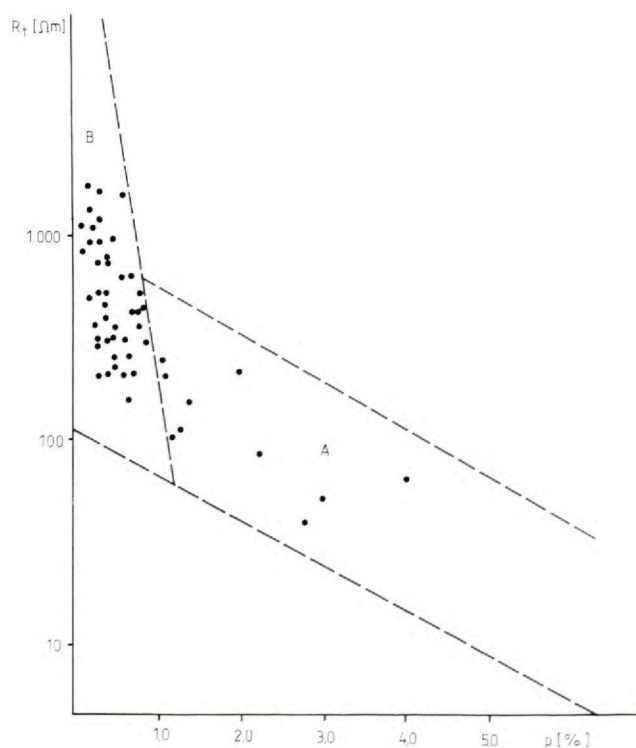
Určenie nasýtenia vodou S_w v takýchto kolektoroch je problematické. Ak sa prevažná časť uhľovodíkov nachádza v puklinách, a nie v blokoch, predpoklad malého nasýtenia uhľovodíkmi v blokoch je reálny a umožňuje použitie uvedenej metodiky interpretácie.

V puklinových kolektoroch je veľmi dôležité vyčleniť priepustné intervaly.

Na ilustráciu uvádzame určenie priepustných intervalov vo vrte Žd-21. Na obr. 1 je znázornená závislosť $p_{NG} = f(Rt)$. Vstupné karotážne hodnoty sa merali s krokom 2 m. Na obr. 1 má interval B puklinovú pórovitosť, pretože malú zmenu p_{NG} sprevádza veľká zmena Rt . V intervale A to tak nie je, lebo zmena p_{NG} vyvoláva malú zmenu Rt . Podľa uvedeného autora (Markó, 1980) je priepustný už interval, pre ktorý platí puklinovitosť $p_p > 0.05\%$. Podľa zostrojenej závislosti sú potom priepustné intervaly 900—890, 870—862, 844—818, 806—760 m. Nasýtenie uhľovodíkmi sa určovalo len orientačne, pretože presnosť určenia nasýtenia uhľovodíkmi je pri $p < 5\%$ nízka. Nasýtenie uhľovodíkmi bolo určované podľa metodiky Kissa a Tótha (1981), ktorej opis presahuje rozsah tohto príspevku, a preto ho neuvádzame. Použité konštanty mali tieto hodnoty $a = 1$, $m = 1.212$, $n = 2$, $R_w = 0.37$ ohmm, $R_m = 2$ ohmm. Stredná hodnota takto riešeného nasýtenia pre celé ložisko $S_w = 42\%$.

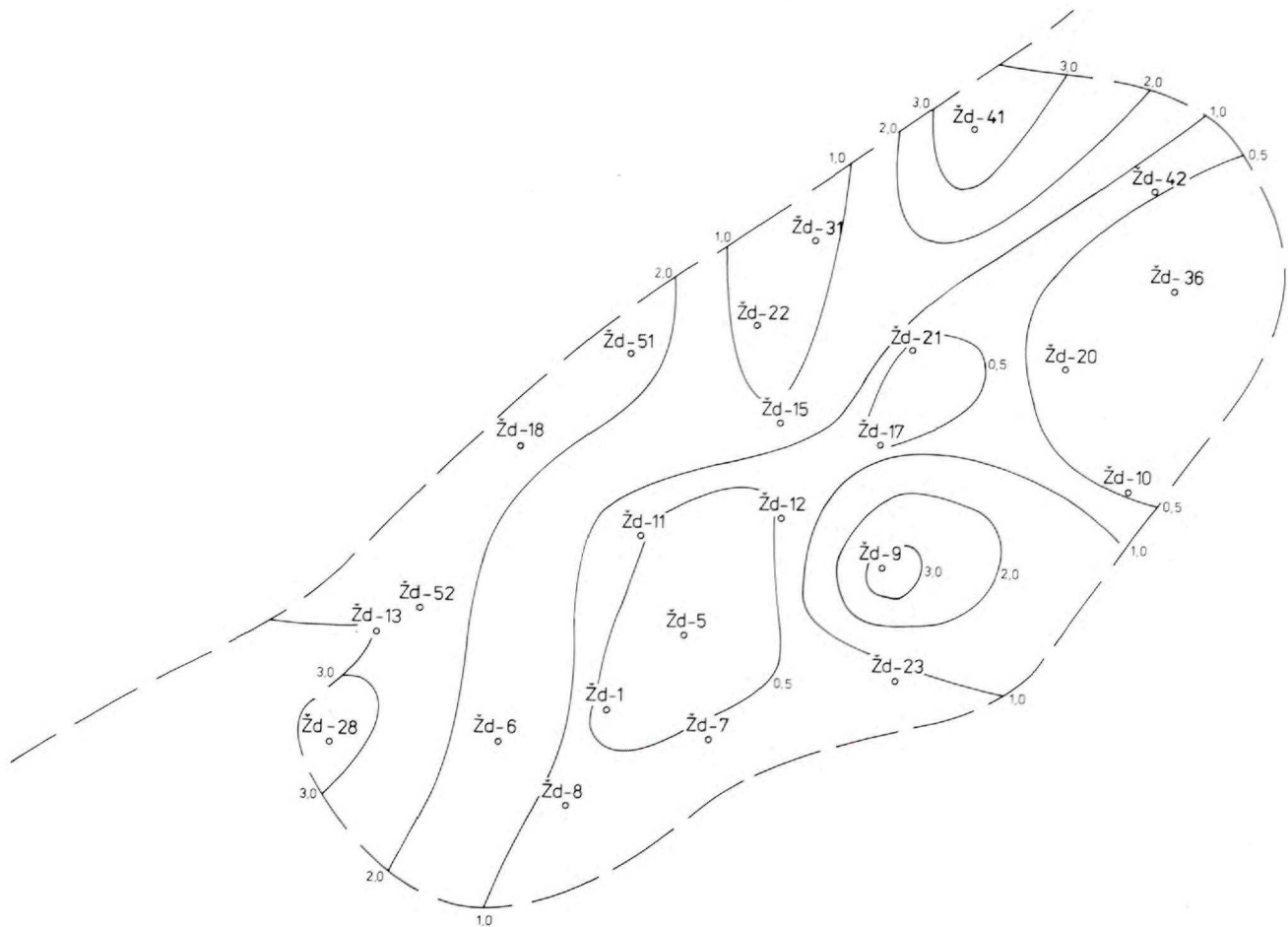
Výsledky interpretácie karotážnych meraní

Samostatne sme interpretovali ropnú aj plynovú zónu ložiska. Odčítali sa namerané hodnoty pre obidve tieto zóny a vypočítali sa priemerné kolektor-



Obr. 1. Vyčlenenie puklinových intervalov vo vrte Žd-21 na základe karotážnych meraní pomocou závislosti $\log Rt = f(p_{NG})$. Interval s puklinovou pórovitosťou zodpovedá oblasti B.

Fig. 1. Interpretation of fissure intervals in the Žd-21 well from logging measurements using the $Rt = f(p_{NG})$ function. The B area represents the interval with fissure porosity.



Obr. 2. Mapa celkovej pórovitosti p_c v ropnej zóne ložiskového celku Ždánice I kryštalínium I vyhotovená na základe výsledkov komplexnej plošnej interpretácie karotážnych meraní.

Fig. 2. Map of total porosity p_c in the zone of crude oil of the Ždánice I crystalline pool plotted from complex areal interpretation of well logging data.

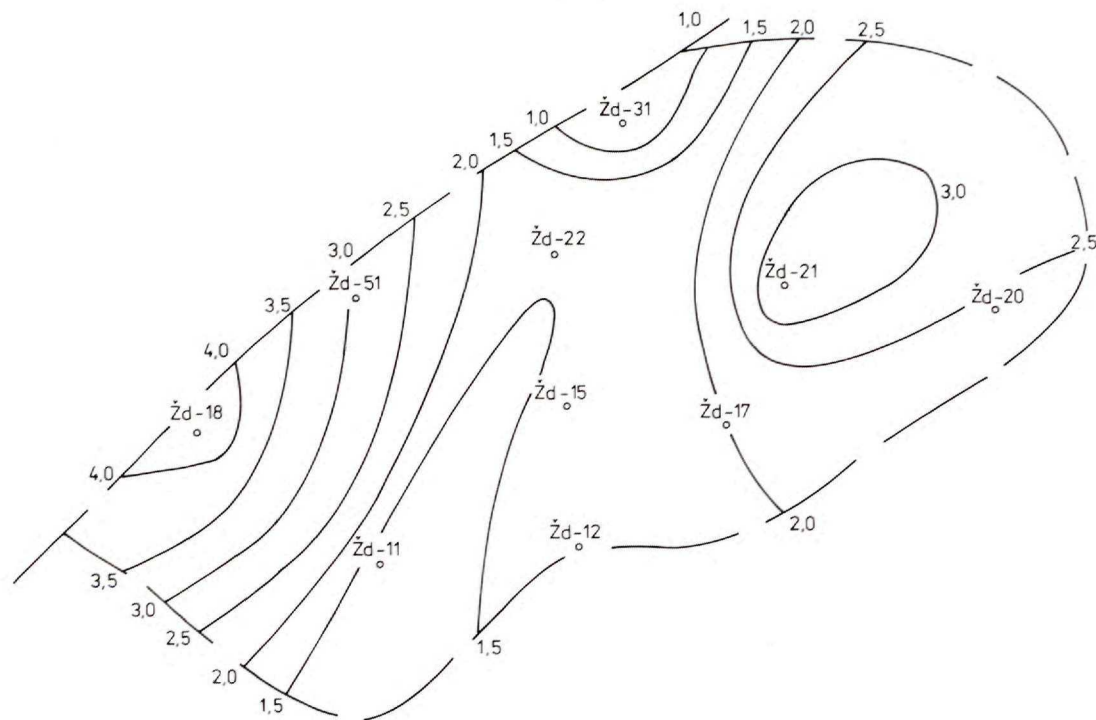
ské vlastnosti týchto zón. Na základe týchto údajov sme zostrojili mapu celkovej pórovitosti — p_c , blokovej pórovitosti — p_b , puklinovej pórovitosti — p_p , merného elektrického odporu — R_t , nasýtenia uhľovodíkmi — Sh a mapu plošnej hustoty geologických zásob uhľovodíkov — $p \cdot Sh \cdot 10^{-4}$, a to pre každú zónu samostatne. Na základe zostrojených máp sa mohol podrobne charakterizovať vývoj kolektorských vlastností ložiska.

Ropná zóna

Mapa celkovej pórovitosti p_c (obr. 2) ukázala, že v jv. časti ložiska je pórovitosť nižšia a má priemernú hodnotu 0.5—1.0 %. Smerom na SZ pórovitosť stúpa a pri ohrazení ložiska dosahuje hodnoty 2.0—4.0 %. Z hľadiska priepustnosti je však dôležitá puklinová pórovitosť. Na základe uskutočnenej interpretácie karotážnych meraní má bloková pórovitosť nasledovný vývoj: V jv. časti ložiska dosahuje hodnoty 0.5 %.

Smerom na SZ stúpa až na hodnotu 1 %. Puklinová pórovitosť má nasledovný plošný vývoj: Podľa výsledkov karotážnej interpretácie je horší vývoj v okolí vrtov Žd-36, 20, 9, 10, 22 a 31. Puklinová pórovitosť je blízka hodnote 0. Lepší vývoj kolektora je vo vrtach Žd-52, 41, 18 a 51, kde puklinová pórovitosť dosahuje hodnotu 1 %. V ostatnej časti ložiska je vývoj tohto parametra priemerný.

Orientačne sme vyhodnotili aj mapy nasýtenia uhľovodíkmi a plošnej hustoty geologických zásob uhľovodíkov, umožňujúce určiť, z ktorých sond možno očakávať dobrú a z ktorých nízku ťažbu. Pretože interpretácia karotážnych meraní v kryštalínických kolektoroch s kombinovanou pórovitosťou je veľmi obťažná, výsledky interpretácie sme porovnali s výsledkami čerpacích pokusov. Dosť presne sa potvrdili výsledky našej interpretácie, aj keď sa objavili niektoré rozpory, a to hlavne v okrajových častiach ložiska. Výsledok karotážnej interpretácie však uvádza priemerné hodnoty pre celý interval ropnej zóny, kým



Obr. 3. Mapa celkovej pórovitosti p_c v plynovej zóne ložiskového celku Ždánice-kryštalínium I vyhotovená na základe výsledkov komplexnej plošnej interpretácie karotážnych meraní.

Fig. 3. Map of total porosity p_c in the zone of natural gas of the Ždánice I crystalline pool plotted from complex areal interpretation of well logging data.

čerpacie skúšky vypovedajú len o skúšanom a prvotnou interpretáciou navrhnutom úseku sondy. Rozdiely môžu vznikať z interpretačných dôvodov aj z odlišností intervalov hodnotených karotážou a čerpacími skúškami.

Plynová zóna

Na základe mapy p_c zostavenej podľa výsledkov karotážnej interpretácie (obr. 3), je vývoj kryštalínika priaznivý v okolí vrtov Žd-18, 51, 20 a 17. Celková pórovitosť dosahuje priemerne 2.0–4.5 %. Horší vývoj je vo vrtoch Žd-11, 22 a 15, kde $p_c = 1.0$ –1.5 %. Treba poznamenať, že vplyvom plynu sú hodnoty p_c mierne znížené. Blokovaná pórovitosť je najvyššia v okolí vrtov Žd-20, 17, 31, 18 a dosahuje hodnoty $p_b = 1.5$ –3.0 %. V ostatnej časti ložiska je $p_b < 1.5$ %. V jv. časti v blízkosti kontaktu ropa – plyn má puklinová pórovitosť hodnotu 0.5 % a smerom na SZ stúpa. V strede ložiska a v jz. časti dosahuje hodnoty $p_p = 2.0$ –2.5 %. V severnej časti klesá zase k hodnote 0.5 %. Z mapky vidno, že najlepší vývoj kolektorských vlastností v plynovej zóne je v pásme, ktoré sa ťahne stredom ložiska od SV na JZ, a to v okolí vrtov Žd-21, 15 a 18.

Pre objektivitu je potrebné poznamenať, že uvedené hodnotenie sme urobili klasickým spôsobom.

Bude treba urobiť komplexnú automatizovanú analýzu karotážnych meraní a reinterpretáciu pomocou výpočtovej techniky s použitím moderného štatistického programového vybavenia.

Výsledky uskutočnenej karotážnej interpretácie sme spracovali do tabuliek a do 12 máp (Šály, 1985), ktorých zjednodušené ukážky sú na obr. 2 a 3. Okrem toho sme charakterizovali jednotlivé hodnotené vrty.

Ždánice-11. Okolie vrtu má z hľadiska ložiskovo-kolektorských vlastností priemerný vývoj ($p_c = 1$ %, $R_t = 350$ ohmm a $Sh = 90$ %). Puklinová pórovitosť dosahuje 0.65 % (hlbkový interval 873.0–938.0 m, z ktorého sa predpokladá dobrá ťažba plynu). Pri štandardizácii sme krivku NGK opravili pomocou koeficientu $k = 0.71$.

Ždánice-15. Vrt sa nachádza v oblasti s dobrými kolektorskými vlastnosťami ($p_p = 1.2$ %, $Sh = 90$ %, $R_t = 162$ ohmm). V hodnotenom hlbkovom intervale (839.0–932.0 m) je predpoklad dobrej ťažby plynu. Krivka NGK pri štandardizácii opravená koeficientom $k = 1.43$. Puklinová pórovitosť dosahuje 0.34 % atď.

Záver

Našou úlohou bolo podľa litologického typu hornín stanoviť vhodnú metodiku interpretácie, interpre-

tovať karotážne merania vo vrtoch a vyhodnotiť výsledky interpretácie. Podľa výsledkov karotážnych meraní ložisko Ždánice-kryštalínium 1 tvorí prevažne biotitický granodiorit s puklinovou pórovitosťou. Z viacerých dôvodov (kvalita karotážnych meraní nie je vždy na požadovanej úrovni a automatizovaná interpretácia je na kvalitu mimoriadne citlivá, karotážne krivky sú veľmi členité a nedostatočná je aj kalibrácia NGK) sme ložiskový celok Ždánice-kryštalínium 1 interpretovali klasicky.

Merania NGK boli pomocou korekčných koeficientov individuálne štandardizované tak, aby v nadložnom íle bola vždy hodnota $X_{NGsh} = 10$ ngj. Interpretáciou sa určila celková pórovitosť p_c z meraní NGK a bloková pórovitosť z meraní LL. Ich rozdiel sa považoval za puklinovú pórovitosť.

Výsledky sme spracovali aj do 12 máp základných kolektorských parametrov. Kvôli kontrole správnosti karotážnej interpretácie sme jej výsledky porovnali s výsledkami čerpacích skúšok. S dostatočnou presnosťou sa potvrdili výsledky interpretácie karotážnych meraní. Rozdiely sa pozorovali hlavne v okrajových častiach ložiska. Sú dôsledkom nepresnosti meraní a interpretácie, ako aj toho, že výsledkom karotážného zhodnotenia sú údaje pre celý interval ložiska, ale výsledky čerpacích skúšok platia len pre skúšaný interval sondy.

Podľa výsledkov spracovania a interpretácie karotážnych meraní má ropná zóna ložiskového celku Ždánice-kryštalínium 1 nasledujúce hodnoty: celková pórovitosť $p_c = 1.3$ %, bloková pórovitosť $p_b =$

0.82 %, puklinová pórovitosť $p_p = 0.49$ % a nasýtenie uhľovodíkmi $Sh = 53$ %. Pre plynovú zónu, ktorá má priaznivejší kolektorský vývoj, sú priemerné hodnoty takéto: $p_c = 2.2$ %, $p_b = 1.4$ %, $p_p = 1.02$ % a $Sh = 58$ %.

Podľa máp sa stručne opísal vývoj ložiska a charakterizoval každý vrt samostatne. Ropnú zónu v dobrom vývoji prevítali len vrty Žd-18, 28, 31, 41, 51 a 52. Sú to väčšinou vrty v blízkosti sz. ohraničenia ložiskového celku Ždánice-kryštalínium 1. Smerom na JV sa kolektorské vlastnosti zhoršujú a dobrá ťažba sa dá očakávať len pri navŕtaní významnejších puklinových pásem.

Súčasne treba poznamenať, že klasické (ručné) spracovávanie a hodnotenie karotážnych meraní v takomto type hornín je málo vhodné, treba zvýšiť kvalitu karotážnych meraní, aby bolo možné na takéto ložiská v plnom rozsahu aplikovať moderné metódy automatizovaného strojného spracovania a interpretácie.

Literatúra

- Krejčí, J. a Buchta, J. 1983: Výpočet zásob ložiska Ždánice. *Manuskript — MND k. p. Hodonín*, 120 s.
- Kiss, V. a Tóth, J. 1981: Voprosy interpretacii dannyh promyslovo-geofizičeskich izmerenij v metamorfičeskich kolektorach. *Manuskript — Interneftegeofizika KOS RVHP Moskva*, 11 s.
- Markó, L. 1980: Összetett közettani felépítésű tárolók mélyfurási-geofizikai értelmezésének új módszere. *Kőolaj és Földgáz*, 2.
- Šály, S. 1985: Zhodnotenie karotážných materiálov z ložiska Ždánice-kryštalínium 1. *Manuskript — Naftoprojekt Bratislava*, 27 s. a 12 máp.

Interpretation of well logging measurements in the Ždánice 1 pool in crystalline rocks

The aim of the present research was to select the appropriate methods of interpretation of well logging measurements for the investigated lithotypes and to realize the interpretation of well logging measurements serving for the assessment of results. The obtained result shows that the Ždánice 1 hydrocarbon pool is situated in crystalline rocks mainly represented by biotite granodiorite with fissure type of porosity. For several reasons, the quality of well logging data did not achieve the appropriate quality and for an automatic interpretation process, which is highly sensitive to the quality of logging data, unsuitable. The NGK calibration appeared as insufficient (being selected for the manual interpretation method, fig. 1).

Data from NGK measurements have individually been standardized by means of corrections and hence the value of $X_{NGsh} = 10$ ngj has been maintained everywhere for the overlying clay. By the means of interpretation, the total porosity has been assessed from NGK measurements and the average block porosity from LL measurements. Their difference has been assessed to represent the fissure porosity.

According to the processed logging data, the average values in the Ždánice 1 crystalline pool are for the zone of

crude oil as follows: total porosity p_c 1.3 %, block porosity p_b 0.82 %, fissure porosity p_p 0.49 % and hydrocarbon saturation Sh 53 %. For the zone of natural gas, which displays more appropriate collector properties, the respective values are p_c 2.2 %, p_b 1.4 %, p_p 1.02 % and Sh 57 %.

Construction of maps allowed short description of physical properties in the pool and to give characteristics for each well. Accordingly, the zone of crude oil has been pierced only by some of wells (Žd-18, 28, 31, 41, 51 and 52) situated namely in the NW part of the area (fig. 3). Collector properties are gradually deteriorating in SE direction and good conditions for exploitation may be presumed only within fissure zones.

With the aim to control the reliability of logging interpretation, the results have been compared with data from pumping tests. This comparison proved sufficient accuracy and reliability of logging results. It should be mentioned that the evaluation of logging measurements in similar rocks is less appropriate by the means of manual interpretation and also the quality of logging data should be improved. This will allow in the future the full use of up to date methods of automatized data processing.