

Geol. vjesnik	30/2	761—772	5 sl. u tekstu	Zagreb, 1978
---------------	------	---------	----------------	--------------

550.83

Interaktivno komuniciranje s podacima seizmičkih istraživanja

Darko TUFEKČIĆ

INA-ERC, Proł. brigada 78, YU-41000 Zagreb

U članku su razmotrene osnove programa za interaktivno komuniciranje s podacima analiza brzina širenja seizmičkih valova. Kompjutorski sistem UNIVAC 1100 s pratećim terminalima pokazao se je podobnim za tu svrhu. Primjeri analize interaktivnog komuniciranja s podacima iz Jadranskog tercijarnog bazena ukazuju na mogućnost korištenja ove tehnike i za direktno otkrivanje ležišta plina kod nas.

UVOD

Granicu između interpretacije i numeričke obrade seizmičkih podataka sve je teže striktno povući. Seizmički podaci prikupljaju se danas gotovo isključivo u digitalnom obliku i kod pristupanja osnovnoj obradi nema izbora, podatke je nužno obraditi uz korištenje kompjutora. Tehnika obrade i numeričke metode intenzivno se razvijaju u zadnjih deset godina i to bi moglo biti predmetom jednog posebnog razmatranja. Naša je namjera da ovdje prikazemo jednu modernu, kod nas razvijenu metodu interaktivnog komuniciranja s podacima, i to u fazi interpretacije podataka reflektivne seizmike. Uz pomoć terminala, koji s udaljenog mjesta povezuje interpretatora s bazom podataka pohranjenom u memoriji kompjutora, omogućeno je aktivno komuniciranje s podacima u osnovi već obrađenog seizmičkog profila. Izbog funkcija za komuniciranje pažljivo je odabran i omogućava dodatnu analizu podataka koji mogu najviše da pridonesu sigurnijoj interpretaciji, a time i većem uspjehu kod istraživanja nafte i plina, a to su: amplitudne anomalije i njihova prostorna i vremenska distribucija, te detaljno upoznavanje zakona brzina širenja seizmičkih valova u promatranj sedimentnoj sredini.

Primjer koji će nam poslužiti za ilustraciju uzet je iz Jadranskog bazena. Već u ranijem radu (T u f e k č i ć, 1975), autor je ukazao na mogućnost određivanja tipa sedimentacijskog modela klastičnih stijena na osnovi seizmičkih podataka i ograničio neke zone kao perspektivne za istraživanje stratigrafskih ležišta nafte i plina. Korištenjem interaktivnog komuniciranja omogućeno je da se uz ranije uočene amplitudne anomalije detaljnije upozna i narav i promjena brzina u dijelu sekcije koja je u interesu istraživanja. Time je ugrađen još jedan objektivn

elemenat za izvođenje zaključaka, naročito o plinonosti mlađih terci-jarnih sedimenata ovog bazena. U svom radu o primjeni geofizičkih me-toda za direktno utvrđivanje ležišta, Nowinsky (1976) ukazao je da upravo tercijar Jadranskog bazena ima sve uvjete za primjenu di-rektnih metoda, što je ovim radom i primjerima potvrđeno.

Realizacija ovako kompleksnog postupka komuniciranja s podacima odraz je našeg općeg napretka na planu korištenja elektroničkih raču-nala u svakodnevnoj praksi. Posebnu zahvalnost autor duguje Z. Raš-eriću za umješnost i uloženi trud u izradi programa.

FIZIKALNE OSOBINE I POSTUPAK ODREĐIVANJA GEOFIZIČKIH PARAMETARA

Direktno istraživanje ugljikovodika postalo je danas raširena praksa. Mi ovdje nećemo diskutirati općenito o svim karakteristikama koje se javljaju kao značajne za direktno otkrivanje ležišta. Za naše uvjete po-javljivanja permeabilnih sedimenata, koji su obično serija slojeva ogra-ničene pojedinačne debljine, primarni su indikatori, naročito ukoliko se radi o plinskim zasićenjima, izraziti koeficijent refleksije u krovini i po-dini i značajno smanjenje intervalnih brzina. Ove dvije karakteristike imaju u stvari isto porijeklo i zato ćemo dati teoretski osvrt.

Po Gassmannovoj pojednostavljenoj teoriji, najveći utjecaj na pro-mjenu brzina u nekonsolidarnim pijescima ima modul krutosti planarnih valova M .

Definirajmo osnovne parametre za pijeske zasićene fluidima:

1. Čestice matriksa definirane su sa gustoćom ρ_m , modulom nestišljivosti k_m i smicanja μ_m .
2. Matriks ili skeleton karakteriziran je sa $\bar{\rho}$, \bar{k} , i porozitetom Φ .
3. Fluidi su karakterizirani sa ρ_f i k_f .
4. Stijene zasićene fluidom karakterizirane su sa ρ , k i μ .

Znamo da je brzina kompresionih valova definirana izrazom:

$$V_p = \sqrt{\frac{M}{\rho}} \quad (1)$$

Nadalje, $M = (k + 4\mu/3)$, a modul nestišljivosti zasićenih stijena raču-namo po formuli:

$$k = k_m \frac{\bar{k} + k_f (k_m - \bar{k}) / (k_m - k_f)}{k_m + k_f (k_m - \bar{k}) / \Phi (k_m - k_f)} \quad (2)$$

Ako uzmemo u obzir da je k za vodu $2,2 \times 10^{10}$ dina/cm², a za plin (me-tan) samo $0,0001 \times 10^{10}$ dina/cm², proizlazi da je rezultatni \bar{k} za pijeske

zasićene plinom praktično jednak modulu samog matriksa, a to je za kvarcne pijeske na dubini od 1 do 2 km oko $1,7 \times 10^{10}$ dina/cm². Za takvu vrstu pijeska uz porozitet $\Phi = 0,3$, $\rho_m = 2,65/\text{cm}^3$ i $\mu = 1,85 \times 10^{10}$ dina/cm² dobivamo prema formuli (1) da je brzina u slučaju zasićenosti vodom 2170 m/sek, a plinom 1500 m/sek.

Upravo ova razlika u brzini širenja seizmičkih valova utječe i na amplitudne anomalije kroz povezani koeficijent refleksije, a u povoljnim slučajevima mogu se površinskim mjerenjem i utvrditi anomalno niske brzine.

Kako separirati ova dva važna parametra iz podataka refleksivne seizmike? Amplitudne promjene reflektiranog signala možemo potpuno kontrolirati s obzirom na način terenskog zapisivanja podataka. Moderni terenski instrumenti u mogućnosti su, unatoč ogromnom stupnju pojačanja ulaznog signala (do milijun puta), da relativne odnose amplituda signala sačuvaju nepromijenjenim. To se postiže posebnom registracijom pojačanja. Proizlazi da, ukoliko izaberemo ispravan numerički tretman kompjutorske obrade podataka, možemo sigurno indicirati amplitudne anomalije i vizuelno i numerički. Na sl. 1 prikazane su karakteristične krivulje u procesu kontrolirane amplitudne obrade. Krivulja *a* je originalna ekspanzija terenskog pojačanja u toku zapisa podataka, dok *b* predstavlja relativne amplitudne promjene na jednom seizmičkom tragu nakon kontrolirane obrade. Lako je uočiti da nailazak na cca 2 sek ima izraziti porast amplituda i predstavlja anomaliju vrijednu pažnje.

Brzine širenja seizmičkih valova upoznajemo analizom podataka ili skupine tragova koji pripadaju istoj dubinskoj refleksivnoj točki. Naime, terenski postupak istraživanja je takav da su mjerenja višestruka, npr. 12, 24 ili još većeg stupnja prekrivanja. Znači da za jednu refleksivnu točku dobivamo skupinu podataka koji imaju različite putanje, ovisno o geometriji rasporeda prijemnika i točke paljenja na površini. Na sl. 2a prikazan je primjer skupine tragova kod dvadesetčetverostrukog prekrivanja. Podsjetimo se da je trajektorija zakašnjenja jednog signala iz iste dubinske refleksivne točke definirana približnim izrazom:

$$\Delta T = \frac{X^2}{2TV^2}$$

U ovom izrazu *X* je odmak prijemnika od točke paljenja, *T* je tzv. vertikalno vrijeme, a *V* je srednja kvadratna brzina.

Kod kompjutorske obrade brzina iz ovakve skupine tragova uobičajeno je da određujemo koherentnost među podacima, a na osnovi predodređenog broja brzina, koje je definiraju u programu. Na sl. 2b prikazana je shema skupine tragova indeksiranih s *i*, te uzorkovanim amplitudama duž jednog traga, indeksiranim s *k*. Kod računanja koherencije u određenom vremenskom intervalu, koji obično ne prelazi dužinu signala, primjenjujemo izraz:

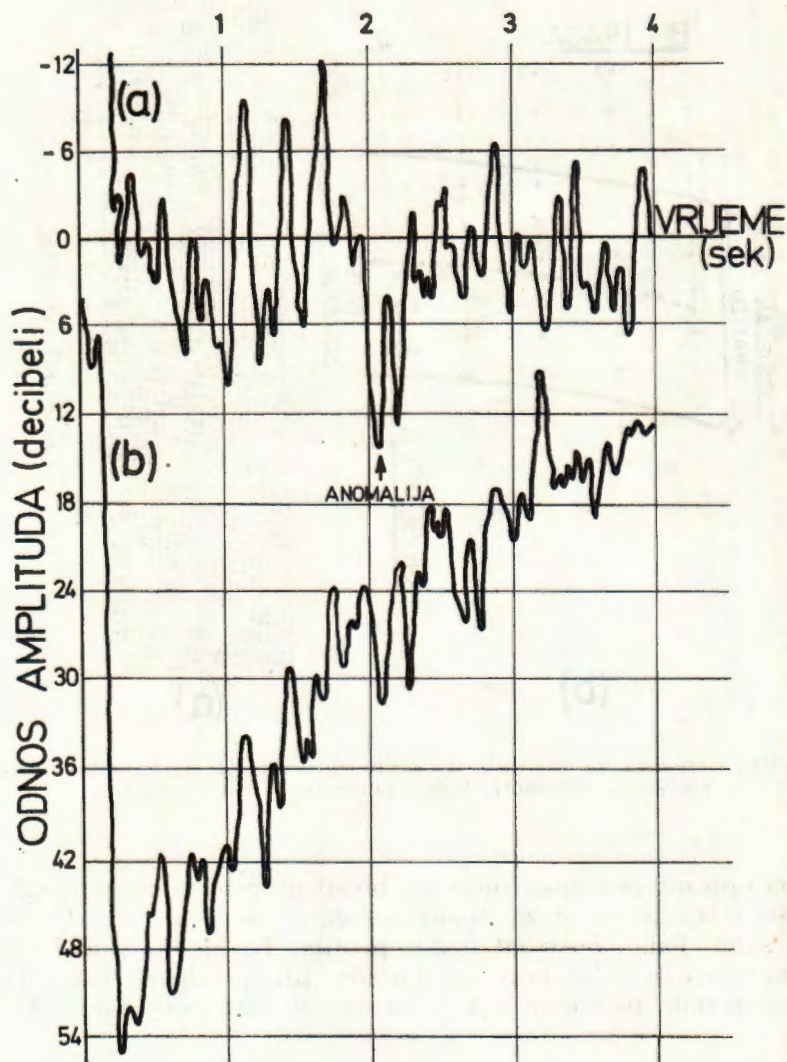
$$S_c = \frac{\sum_{j=k-\frac{N}{2}}^{k+\frac{N}{2}} \left\{ \sum_{i=1}^M A_{i,j(i)} \right\}^2}{\sum_{j=k-\frac{N}{2}}^{k+\frac{N}{2}} \sum_{i=1}^M A_{i,j(i)}^2}$$

Pretpostavka je, da imamo ukupno M tragova između kojih se računa koherencija uzduž trajektorije zakašnjenja signala k , što ovisi o odabranoj brzini. Broj uzorkovanih amplituda u jednom odsječku analize definiran je sa $N + 1$, a $A_{i,j}$ je amplituda j -tog uzorka na i -tom tragu. Treba naglasiti da preveliko smanjenje vremenskog odsječka za analizu smanjuje selektivnost po koherenciji, i u ekstremnom slučaju — kada u odsječku imamo samo jednu uzorkovanu amplitudu — koherencija poprima konstantnu vrijednost i ne daje osnovu za razdvajanje podataka. Kao rezultat analize brzina na jednoj skupini tragova dobivamo za odabrani opseg brzina niz mogućih podataka s tri bitna parametra: vrijeme koherentnog maksimuma, srednju brzinu i vrijednost koherencije.

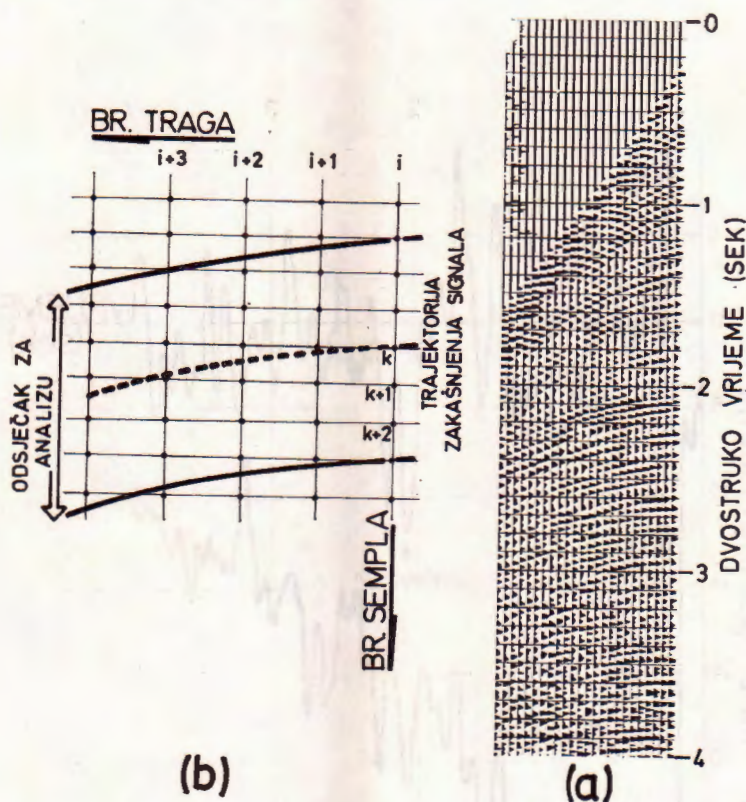
STRUKTURA PROGRAMA

Ovako pripremljeni podaci analiza brzina pohranjuju se na magnet-skoj traci. Gustoća i rezolucija analiza podešava se prema našem zahtjevu. Praktično je moguće profil analizirati kontinuirano, tj. za svaku zajedničku dubinsku točku. Broj podataka koji rezultira ovakvom analizom je obilat, npr. kod kontinuirane analize morskog profila dužine 10 km penje se na 16.000 podataka karakteriziranih sa već naprijed pomenuta tri parametra (vrijeme, brzina, koherencija). Podaci s magnet-ske trake mogu se učitavati na zahtjev interpretatora preko terminala i uz pomoć programa za interaktivno komuniciranje, VELIN, formiramo privremenu datoteku na slučajnoj (»random«) memoriji. Shema programa prikazana je na sl. 3. Njegova struktura podešena je zahtjevima komuniciranja s podacima, a razlikujemo tri osnovna slučaja:

1. Pojedinačno selektiranje izabranih maksimuma koji nas zadovoljavaju po vremenu, brzini i koherenciji, i njihovo pohranjivanje uz poziv rednog broja. Za ovako selektirane podatke možemo preko terminala unijeti vrijednost nagiba promatranog horizonta, a zatim slijedi računanje intervalnih i vertikalnih brzina. Izračunate vrijednosti ispisuju se na štampaču terminala.
2. Za niz sekvencijalnih analiza brzina računamo za horizonte odabrane po želji srednju brzinu, vrijeme, i standardnu devijaciju. Slijedi računanje intervalnih i vertikalnih brzina, kao i u prvom slučaju.



Sl. 1. — Krivulja ekspanzije pojačanja ili opadanja amplitude signala s vremenom (a) i odnosi amplituda nakon obrade kontroliranim pojačanjem (b).

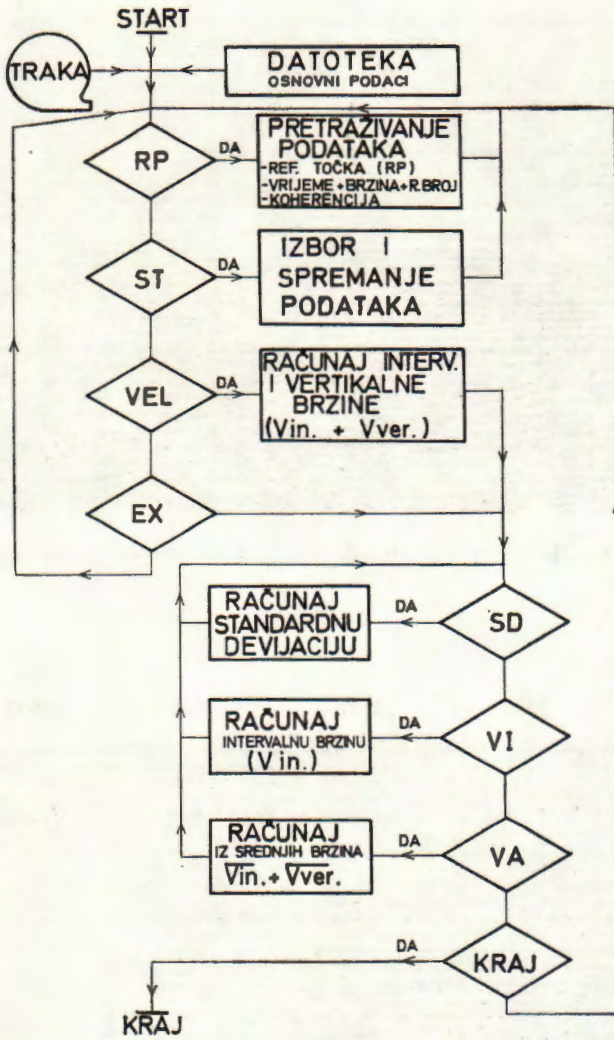


Sl. 2. — Skup tragova za zajedničku dubinsku točku (a) i shematski prikaz odsječka za računanje koherencije među tragovima (b).

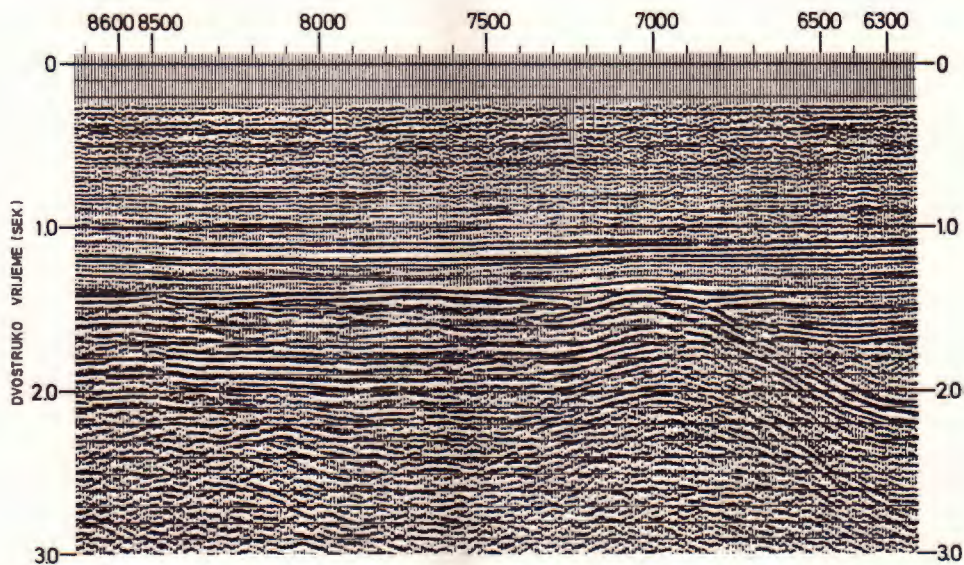
3. U oba opisana postupka možemo birati granice koherentnosti, i vremenski odsječak se može smanjivati do granica da u analizi obuhvatimo samo jedan horizont uzduž profila. To bi bio slučaj selekcije brzina samo za jedan određen horizont ili, kao drugi slučaj, izdvajanje samo onih podataka koji su u opsegu izabranog limita koherencije.

PRIMJERI KORIŠTENJA PROGRAMA

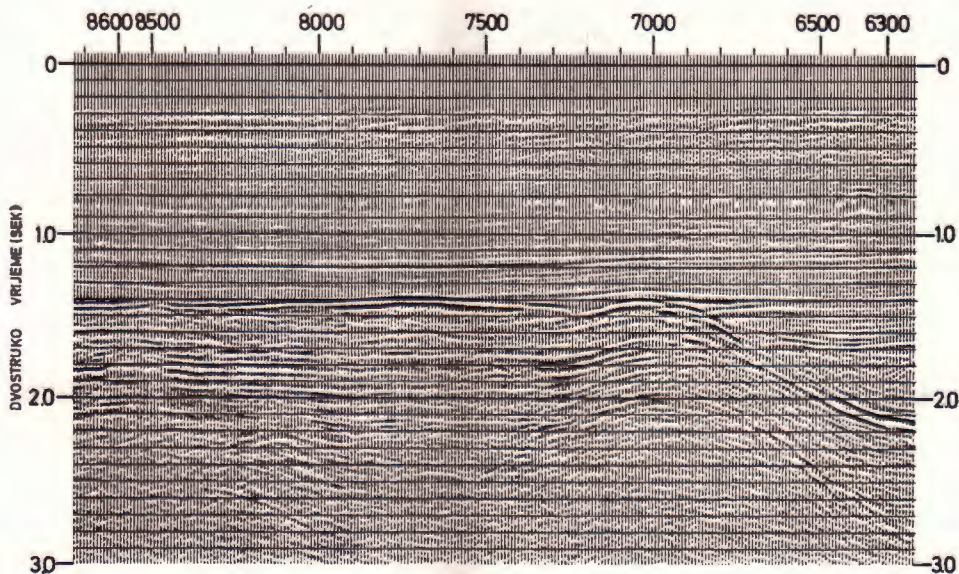
U centralnoj zoni Jadranskog bazena (rajonizacija prema Turku, 1971) analizirani su rezultati seizmičkih mjerenja u cilju genetskog proučavanja mlađih tercijarnih sedimenata (Tu fe k i ć, 1975). Na osnovi proučavanja paleomorfologije i rasprostranjenosti amplitudnih anomalija reflektiranih valova izdvojena su neka područja od posebnog interesa za istraživanje stratigrafskih ležišta. Podaci koje ćemo ovdje ko-



Sl. 3. — Osnovni tok programa za interaktivno komuniciranje s podacima analiza brzina.



Sl. 4. — Prikaz seizmičkog profila obrađenog bez kontrole odnosa amplituda signala.



Sl. 5. — Prikaz seizmičkog profila obrađenog s kontrolom odnosa amplituda signala.

ristiti pripadaju profilu koji se upravo uklapa u područje već spomenu tih anomalija. S obzirom da je težište ove metode komuniciranja s podacima na izdvajanju anomalija brzina, to i rezultati koje smo dobili, osim ilustracije, imaju karakter kvantitativnog dokaza o mogućnosti direktnog utvrđivanja ležišta plina u Jadranu.

Na sl. 4 i 5 prikazana je vremenska sekcija profila u dvije verzije. Presjek 4 je konvencionalan prikaz, a 5 je tzv. prikaz s kontroliranim pojačanjem. Od točke 7400 do 8200, a u vremenskom odsječku od 1400 do 1500 m/sek, imamo veoma jasnu indikaciju značajnog povećanja amplituda. U tome odsječku pretpostavljamo da je došlo do akumulacije plina u pijescima, s obzirom i na izrazite promjene intervalnih brzina.

Slijedi primjer selektiranih rezultata analiza brzina programom VELLIN na mjestima od interesa za studij ove pojave. Na točkama 7320 i 7325 rezultati su slijedeći:

ZAHTJEV — SELEKTIRANI PODACI PREKO TERMINALA

ST 11 7220 (točka)

ST 19

ST 23

ST 29

ST 36

VEL

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1184.	1853.	1853.	1853.
2	1440.	1934.	2269.	1927.
3	1584.	2139.	3596.	2079.
4	1696.	2298.	3905.	2199.
5	1792.	2531.	5131.	2356.

ZAHTJEV — SELEKTIRANI PODACI PREKO TREMINALA

ST 10 (7325 (točka)

ST 18

ST 23

ST 27

ST 35

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1184.	1842.	1842.	1842.
2	1440.	1922.	2258.	1916.
3	1584.	2134.	3629.	2071.
4	1696.	2273.	3712.	2180.
5	1792.	2541.	5413.	2353.

Automatski izračunate brzine pokazuju monoton rast i ne izazivaju posebnu pažnju za ove dvije analizirane dubinske točke (7320 i 7325).

Drugi niz podataka uzet je u području naše amplitudne anomalije, točke 7560 7655. Izvanredne anomalije intervalnih brzina utvrđene su između horizonta 2 i 3, tj. u vremenskom intervalu od 1408 do 1536 m/sek. Intervalne brzine su smanjene od cca 2400 na cca 2090 m/sek. Ovakvo smanjenje brzina može se tumačiti prisutnošću plina u promatranom sedimentnom odsječku.

ZAHTJEV — SELEKTIRANI PODACI PREKO TERMINALA

ST 3 7560 (točka)
 ST 4
 ST 5
 ST 11
 ST 13
 VEL

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1200.	1851.	1851.	1851.
2	1408.	1947.	2428.	1936.
3	1536.	1960.	2097.	1949.
4	1792.	2535.	4682.	2340.

ZAHTJEV — SELEKTIRANI PODACI PREKO TERMINALA

ST 4 7565 (točka)
 ST 5
 ST 8
 ST 14
 VEL

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1200.	1839.	1839.	1839.
2	1408.	1948.	2489.	1935.
3	1536.	1960.	2085.	1947.
4	1712.	2346.	4472.	2207.

Napomenuli smo da program VELIN daje i mogućnost korigiranja podataka za nagib slojeva. Za primjer je uzeta točka profila 6615, gdje imamo izuzetno jako nagnute slojeve. Rezultati selekcije podataka bez korekcije za nagib su slijedeći:

ZAHTJEV — SELEKTIRANI PODACI PREKO TERMINALA

ST 18 6615 0 (kut)
 ST 24
 ST 31
 ST 38
 ST 42
 VEL

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1392.	1926.	1926.	1926.
2	1472.	1953.	2373.	1950.
3	1648.	2021.	2520.	2011.
4	1872.	2336.	3945.	2242.
5	1968.	2471.	4325.	2344.

Uzmemo li u obzir da je horizont 4 i 5 nagnut pod kutem od 18°, rezultat za isti niz selektiranih podataka je slijedeći:

ZAHTJEV — ULAZNI PODACI

ST 18 6615 (točka)
 ST 24
 ST 31
 ST 38 18 (kut)
 ST 42 18 (kut)

— IZLAZNI PODACI

HORIZONT	VRIJEME	BRZINA (RMS)	INTERVALNA BRZINA	VERTIKALNA BRZINA
1	1392.	1926.	1926.	1926.
2	1472.	1953.	2373.	1950.
3	1648.	2021.	2520.	2011.
4	1872.	2336.	3347.	2171.
5	1968.	2471.	4113.	2266.

I ovaj primjer pokazuje sa kakvom jednostavnošću program VELIN daje informacije od bitnog značenja za pravilnu interpretaciju. Korekcije brzina za horizont 4 i 5 zbog nagiba su čak preko 50% i nužno ih je imati u vidu kod računanja konačnih dubina zalijeganja.

U opisu strukture programa napomenuto je da su mogućnosti komuniciranja s podacima programom VELIN i šire nego što ovi primjeri pokazuju. No mi smo ovom prilikom nastojali dati težište brzinama i njihovoj ulozi, te mogućnosti korištenja za direktno istraživanje ležišta plina. Program VELIN s mogućnošću jednostavnog selektiranja podataka po odabranim karakteristikama, automatskom korekcijom i računa-

njem intervalnih i vertikalnih brzina stvara vezu između interpretatora i masovnih podataka od izuzetne važnosti. S obzirom na jednostavnost komuniciranja, sigurni smo da će opisani postupak u budućnosti značajno utjecati na interpretacije podataka reflektivne seizmike, i to posebno kod direktnog otkrivanja ležišta plina.

LITERATURA

- Nowinsky, A. (1976): Primjena geofizičkih metoda za direktno utvrđivanje ležišta — *Nafta*, 26/5.
- Rašperić, Z. (1976); — *Program za interaktivno komuniciranje s podacima kontinuiranih analiza brzina*. — Fond dokumentacije INA-ERC, Zagreb.
- Tufekčić, D. (1975): A prediction of sedimentary environment from marine seismic data. Referat na 38. Kongresu evropskih geofizičara (EAEG) Bergen 1975.
- Turk, M. (1971): Građa tercijarnog bazena u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora. — *Nafta*, 22/4—5.

Interactive communication with seismic data

D. Tufekčić

The article deals with the principles of the program for interactive communication with seismic velocity data base. The computer system UNIVAC 1100 with its terminals fits this purpose perfectly. The examples of interactive communication analysis with the data from the Adriatic Tertiary basin, point out the possibility for usage of this technique in direct detection of gas accumulations.