

| | | | |
|---------------|------|---------|--------------|
| Geol. vjesnik | 30/2 | 677—683 | Zagreb, 1978 |
|---------------|------|---------|--------------|

550.83(091)(497.1)

Razvoj primijenjene geofizike u SR Hrvatskoj od 1951—1976. god.

Zvonimir KRULC¹ i Željko ZAGORAC²

¹ »Geofizika«, Znanstveno-istraživački sektor, Savska 64, YU—41000 Zagreb

² Zavod za rudarska mjerenja i primijenjenu geofiziku,
Rud.-geol.-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb

Proslavljajući 25. obljetnicu Hrvatskog geološkog društva možemo utvrditi i činjenicu, da proteklih 25 godina predstavlja i razdoblje sistematskog razvoja, usavršavanja i normalnog rada na primjeni svih metoda primijenjene ili praktične geofizike na različitim zadacima u SR Hrvatskoj.

Primijenjenu ili praktičnu geofiziku možemo smatrati još uvijek jednom od najmlađih prirodnih nauka. Ne samo kod nas, već i širom svijeta, koristi se naime geofizika u većoj mjeri za rješavanje brojnih zadataka — općenito govoreći geološke prirode, premda je njezina prva praktična primjena započela još u 16. stoljeću u Švedskoj. Tamo je tada rudarski kompas postao prvi mjerni instrument praktične geofizike i njime su vršena geomagnetska kartiranja švedskih rudišta magnetita.

Kod nas je bilo prije II Svjetskog rata izvedeno vrlo malo geofizičkih istražnih radova. To su bila istraživanja inozemnih poduzeća za potrebe nekih rudnika. Postoji i nekoliko radova Prof. B a t u r i ć a, kojeg možemo smatrati našim prvim stručnjakom za primijenjenu geofiziku.

Od 1939. do u prve godine rata izveli su Nijemci geofizička istraživanja u cilju otkrivanja nafte. Samo su gravimetrijska ispitivanja bila nešto većeg opsega; izvršen je regionalni premjer prilično velikog dijela Panonskog bazena. Seizmička ispitivanja bila su izvedena na nekoliko desetaka kilometara profila. U području Savske potoline izvršena su i neka geoelektrična ispitivanja.

Tek nakon oslobođenja zemlje stvoreni su svi uvjeti za normalan i sistematski razvoj i rad na proučavanju i usvajanju različitih geofizičkih metoda — prvenstveno u svrhu istraživanja mineralnih sirovina, ali i na rješavanju praktičnih zadataka inženjerske geologije, hidrogeologije i hidrotehnike.

Podlogu proučavanju geofizičkih metoda istraživanja i njihovoj primjeni na praktičnim zadacima predstavljao je studij metoda geofizičkih ispitivanja na Rudarskom odjelu tadašnjeg Tehničkog fakulteta. Taj je

rad zapravo započeo već 1939, ali je dobio pravi i sistematski zamah tek poslije oslobođenja, kada je započeo normalan rad sveučilišnih ustanova te interes privrede za istraživanja mineralnih sirovina.

U okviru studentske prakse započinju po opsegu manje primjene geofizičkih metoda istraživanja na praktičnim zadacima.

Na inicijativu Prof. Baturića već se 1946. skuplja prva skupina suručnjaka i osniva se Odio za primijenjenu geofiziku u »Geozavodu« u Zagrebu. Skupina, odnosno odio, nije imao instrumenata za istraživanja ležišta nafte, pa su geofizička istraživanja započela za potrebe rudarstva i građevinarstva: istraživanja željeznih ruda (izvan SR Hrvatske), geomagnetska ispitivanja eruptivnih stijena (izvan SR Hrvatske) i geoelektrična ispitivanja na područjima predviđenih hidroenergetskih objekata u Gorskome kotaru, na Buškom blatu, Jablanici i Rami. Taj geofizički odjel »Geozavoda« premješten je 1949. u »Geološki zavod NR Hrvatske«, a krajem iste godine u »Centralni geofizički zavod« u Pančevu.

Nakon rasformiranja »Centralnog geofizičkog zavoda« u Pančevu, 1951. u Zagrebu je osnovan »Zavod za geofizička ispitivanja«, koji uskoro mijenja naziv u »Geofizika«, Poduzeće za primijenjenu geofiziku. Time dobiva razvoj primijenjene geofizike u SR Hrvatskoj gospodarsku osnovu u okviru privredne organizacije, koja radi prvenstveno na rješavanjima zadataka geofizičkih istraživanja za potrebe rudarstva, industrije i građevinarstva na području SR Hrvatske.

Vremenski paralelno vrši se razvoj i praćenje geofizike na Rudarskom odjelu Tehničkog fakulteta, koji u posljednjoj reorganizaciji postaje današnji Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Kako je poznato, osnovu geofizike u praktičnoj kao i u znanstvenoj svrsi predstavljaju podaci mjerenja s odgovarajućim instrumentima i aparaturama. S obzirom na stalan razvoj tehnike mjerenja, bilježi se također stalan razvoj i usavršavanje instrumenata i aparatura za geofizička mjerenja (ispitivanja). Prvih godina te faze razvoja instrumentalne tehnike geofizičkih ispitivanja osnovna je tendencija usmjerena na povećavanje točnosti samih mjerenja, što je u prvom redu uvjetovano povećavanjem točnosti instrumenata i aparatura.

Posljednjih godina bilježi se širom svijeta sve veći i brži napredak i usavršavanje mjerne tehnike, a posebno elektronike. Sve se više na različitim područjima znanosti i tehnike koriste i sve šire primjenjuju elektronski računski strojevi (kompjutori). Digitalne mjerne aparature i automatska obrada podataka mjerenja (također u digitalnoj formi) predstavljaju danas posljednju, najvišu, fazu tog razvoja.

Odgovarajući razvoj i usavršavanje veoma brzo zahvaća i sve vrste geofizičkih instrumenata i aparatura. Nakon dugog perioda optičke obrade i interpretacije, uz široko korištenje postupaka matematike za različita računanja, krajem 50-ih godina ovog stoljeća već se širom svijeta primjenjuje analogna faza registracije podataka geofizičkih mjerenja, kao i analogna faza obrade i interpretacije. Ova analogna faza obrade i interpretacije podataka geofizičkih mjerenja predstavlja već početak razvoja kompjutorske analize, koja sa brzim razvojem daljnje, zasad najviše, faze digitalizacije dobiva neslućeno visok stupanj objektivnosti i točnosti. Kod nas je nastup analogne obrade također analognom tehnikom snim-

ljenih geofizičkih podataka zabilježen sredinom 60-ih godina, i to kod seizmičke reflektivne metode. Kod iste geofizičke metode možemo zabilježiti krajem 60-ih godina i posljednju, digitalnu, fazu kompjuterske analize nabavom kompjutora TIAC 827. Početkom 70-ih godina uvodi se kod seizmičkih istraživanja također i digitalna faza registracije podataka mjerenja.

S obzirom na situaciju u pogledu potreba i usmjerenja geofizičkih istraživanja u Jugoslaviji 50-ih godina, primijenjenoj geofizici u SR Hrvatskoj namijenjena je uglavnom djelatnost na istraživanju ležišta nafte i plina. Usporedo s time ne zapostavljaju se ni druge potrebe i svrhe, pa se sistematski pristupa i geofizičkim istraživanjima rudnih ležišta, podzemne vode kao i rješavanju zadataka u oblasti građevinarstva (inženjerska geologija).

Razvoj geofizike treba radi boljeg razumijevanja njegovog toka promatrati odvojeno za pojedine osnovne metode. Time ćemo dobiti bolji pregled u razvoj geofizike kroz proteklih 25 godina.

U ciklusu istraživanja ležišta nafte i plina su gravimetrijska i magnetometrijska metoda primarne geofizičke metode otkrivanja geoloških struktura, interesantnih za daljnja i detaljnija istraživanja.

Gravimetrijska ispitivanja vršena su uglavnom za potrebe istraživanja nafte. Osnovna izvedbena faza rada ovom metodom, tj. regionalna ispitivanja, izvršena je i na području Panonskog bazena i Dinarida; izvršena su i ispitivanja dijela Jadrana (priobalno i međuotočno područje). Do sada je u Panonskom bazenu SR Hrvatske otkriveno preko 150 jače izraženih gravimetrijskih anomalija, od kojih velik dio još nije potpuno istražen drugim metodama. Od anomalija na kojima su izvršena seizmička istraživanja i istražna bušenja, mnoge su već utvrđene kao geološke anti-forme (strukture), a oko 20 i kao naftna ili plinska polja.

Magnetometrijska ispitivanja izvođena su također uglavnom za potrebe istraživanja nafte. Na nekim dijelovima područja Panonskog bazena i Dinarida izvedena su ova geofizička ispitivanja usporedo sa gravimetrijskima, ali za oba područja nisu još završena »pokrivanja« cijele površine teritorija i akvatorija. Godine 1975. počinje i simultano magnetometrijsko ispitivanje našeg dijela Jadrana duž seizmičkih profila. Kod istraživanja nafte pomogla je ova metoda primijenjene geofizike kod određivanja debljine sedimenata u Panonskom bazenu; indiciran je veći broj geoloških antiformala, koje se dalje istražuju drugim metodama. Za područje Dinarida zaključeno je iz rezultata geomagnetskih mjerenja na veliku debljinu sedimenata, posebno u području Jadrana i priobalja, što odgovara i rezultatima drugih istraživanja.

Osim na istraživanju ležišta nafte i plina, primjenjuju se gravimetrija i magnetometrija i za potrebe ostalih grana rudarstva: istraživanja željeznih ruda, boksita i drugih mineralnih sirovina. Uz radove u zemlji izvode se i opsežna istraživanja u inozemstvu (Burma, Etiopija, Venezuela, Egipat). Razvoj i usavršavanje rada u ovim metodama posljednjih godina usmjeren je pretežno na poboljšanje metodike i tehnike obrade, te interpretacije. Primjenjuju se i za naše uvjete prilagođavaju najsuvremeniji postupci tzv. »automatske«, tj. kompjuterske obrade i interpretacije. Sada se vrši ta vrsta obrade i interpretacije i na malim »stolnim« elektronskim

računskim strojevima; najviše se radi na računanju i crtanju teoretskih dijagrama za različite geološke oblike: antiklinale, rasjede, horstove, »uajke«, valjke i kose kontakte. Ovo »modeliranje« uz pomoć matematike i kompjutora smatra se vrlo važnim pomoćnim oruđem suvremene analize geofizičkih podataka mjerenja.

U posljednje vrijeme izvode se također i veoma detaljna gravimetrijska i magnetometrijska ispitivanja, koja imaju karakter »mikrogravimetrijskih« i »mikromagnetometrijskih« istraživanja — kao najsuvremenije metodike geofizičkih ispitivanja. Njihova je primjena od velike praktične vrijednosti i koristi kod otkrivanja manjih rudnih ležišta, npr. boksita, ili pak rudnih ležišta u kompliciranim geološkim uvjetima, kao i otkrivanja šupljina (posebno špilja) u područjima krša.

Seizmičku metodu treba smatrati najvažnijom metodom primijenjene geotizike u SR Hrvatskoj. Primjena seizmičkih ispitivanja donijela je već niz praktičnih uspjeha u otkrivanju ležišta nafte i plina, te predstavlja i temelj za daljnje povećanje sirovinске baze naftne industrije. Skoro neslućene mogućnosti skrivene su sada u najnovijoj fazi razvoja širom svijeta, tj. u usavršavanju metoda direktnog otkrivanja ležišta nafte i plina, što se kod nas već intenzivno proučava.

Refleksivna seizmička metoda, koja se najviše koristi pri istraživanju područja perspektivnih za nalaz ležišta nafte i plina, u početku u SR Hrvatskoj skromno sebi utire put s obzirom na sredstva s kojima se raspolagalo. U početku nije dakako bilo ni iskustva — što se moralo crpiti samo iz vrlo oskudnih literaturnih podataka i početničkog elana i ambicija mladih geofizičara. Prva faza razvoja seizmike karakterizirana je optičkom registracijom, automatskim pojačanjem signala, podzemnim prekrivanjem 100%, eksplozijama u bušotinama kao izvorom seizmičke energije i ručnom obradom podataka mjerenja.

Druga faza počinje 1967, kada se uvode aparature s magnetskom registracijom u analognom obliku, što omogućuje i automatsku analognu obradu. To omogućuje i uvođenje nove, možda i najznačajnije seizmičke metode današnjice — metode zajedničke dubinske točke. Seizmička energija generira se još uvijek eksplozivom u bušotinama, primjenjuju se međutim sve više različiti postupci optimalizacije ispitivanja i obrade podataka mjerenja.

Treća i najvažnija faza razvoja seizmike počinje 1970, kada se prilazi uvođenju najsuvremenije tehnike izvođenja i obrade seizmičkih podataka — digitalne seizmike. Digitalna registracija seizmičkog signala i novi sistem pojačanja korisnog signala, koje se također zapisuje digitalno, omogućuje neslućenu dinamiku amplitude reflektiranih seizmičkih valova. Ova nova, tzv. »amplitudna« interpretacija seizmike pruža sve mogućnosti za ostvarenje davne želje i napora naftnih geologa i geofizičara za direktnim otkrivanjem ležišta nafte i plina iz seizmičkih mjerenja. Ta nova tehnologija traži i drukčiji oblik generiranja seizmičke energije, što je u SR Hrvatskoj realizirano primjenom tzv. »linijskog naboja«. Taj novi izvor seizmičkih valova u obliku detonirajućeg štapina ima svojstva i površinskog i eksplozivnog izvora.

Veći dio dosad izvedenih seizmičkih ispitivanja u SR Hrvatskoj koncentriran je na Panonski bazen. Danas nema više istražnog bušenja na

naftu bez prethodnog detaljnog seizmičkog ispitivanja. Otkrivanje mnogih naftnih i plinskih polja u našoj republici treba pripisati seizmici: među ovima treba nabrojiti Stružec, Ferdinandovac, Lipovljani, Jagnjedovac, Sandrovac. Kod detaljnijih istraživanja i ispitivanja drugih naftnih i plinskih polja također treba zabilježiti značajnu ulogu seizmike: to su među ostalima polja Žutica, Beničanci, Bunjani, Jermenovci, Dugo Selo, Kloštar, Bokšić, Kozarice.

Metoda refrakcijske seizmike, i to njezina varijanta »duboko seizmičko sondiranje«, korištena je u manjem opsegu za utvrđivanje dubljih dijelova tercijarnih bazena i za određivanje debljine flišnih naslaga, kao i za praćenje dubine Mohorovičićevog diskontinuiteta, što zapravo već prelazi okvire praktičnih geofizičkih istraživanja, ali pruža obilje podataka za znanstvena razmatranja dubinske geološke građe.

U 1968. dolazi do izvođenja prvih *marinskih seizmičkih ispitivanja* na Jadranu postupkom profiliranja i izmjereno je prvih 1700 km profila. Te godine zaplovio je prvi naš seizmički brod — »VEZ«, rekonstruiran za istraživačku marinsko-geofizičku djelatnost. Oprema se sastojala od aparature s analognom registracijom. Već 1969. zamijenjena je analogna seizmička aparatura digitalnom; nabavljen je i novi specijalni seizmički kabel za marinska ispitivanja, koji je omogućio snimanje višeg stupnja prekrivanja. U 1971. adaptiran je za seizmička marinska ispitivanja noviji brod, »JUNAK«, suvremenije uređen.

U posljednjoj fazi razvoja marinske seizmike ugrađena je 1974. na brod nova digitalna aparatura. Te godine počinju simultano sa seizmičkim i marinska magnetometrijska ispitivanja Jadrana. U 1976. na brod je montiran suvremeni integrirani satelitski navigacioni sistem »Magnavox 200« u kombinaciji sa sistemom »LORAN C«. Na taj način brod za marinska geofizička ispitivanja dobiva dosad nezamislivu autonomiju kretanja.

Geoelektrična istraživanja

Ta metoda geofizičkog istraživanja bila je prva, koja je u potpunosti savladana i počela se koristiti osim za izobrazbu geofizičkih kadrova i za praktične radove. Prva praktična primjena bila je u okviru kompleksnih istraživanja na područjima planiranih hidroenergetskih objekata u Dinarskom kršu. Postepeno se povećava i opseg istražnih radova na otkrivanju nalazišta podzemne vode i to prvo u području Dinarskog krša, a zatim i na ostalim područjima.

U 1957. proširuje se djelatnost geoelektrične metode na područje naftne geologije uvođenjem postupka dubokog geoelektričnog sondiranja. Radovi se izvođe u Panonskom bazenu i u Dinaridima.

Stalno se prati razvoj i usavršavanje tih metoda širom svijeta i vrši se njihovo adaptiranje i usvajanje za naše uvjete. Nabavljaju se i odgovarajuće suvremene aparature, uglavnom američke (kanadske) proizvodnje; među ovima treba posebno spomenuti metodu i aparaturu za metodu pobuđene (inducirane) polarizacije, za koju se može utvrditi da je širom svijeta prouzročila dosad neslućeni porast istražnih radova i uspjeha u otkrivanju sulfidnih rudišta — naročito bakarnih. Velik i uspješan je

udio ove nove geoelektrične metode i kod istraživanja boksita, a i kod hidrogeoloških istraživanja — napose za selektiranje glinovitih partija u vodonosnim šljunkovito-pjeskovitim bazenima.

Za istraživanje podzemne vode treba naglasiti i to, da je uloga geofizike (kod čega otpada glavni dio na geolektiku) sve veća; prema podacima časopisa »Geophysics« upotreba geofizike u istraživanju podzemne vode porasla je od 1974. na 1975, dakle samo u jednoj godini, u zapadnom dijelu svijeta 8 puta. Slični podaci vrijede i za SSSR (A. A. Ogilvi, 1976 — usmena informacija).

Za primjenu geoelektričnih metoda u otkrivanju podzemne vode posebno je zanimljiv primjer područja Petrinje. Za daljnji razvoj vodoopskrbe trebalo je brzo znatno povećati količine vode. Prva geofizička istraživanja u užem području grada pokazala su da u odgovarajućem dijelu područja nema izgleda za nalaz veće količine, pa je predloženo da se geoelektrična istraživanja nastave u sasvim drugom dijelu područja — gdje se ranije nije ni pomišljalo na nalaz podzemne vode. Već prva istražna bušotina bila je skoro senzacionalno otkriće: na najpovoljnijoj geofizičkoj indikaciji dobivena je tada neočekivano velika količina čak i arteške podzemne vode.

Na mnogim drugim područjima utvrđeno je već sa prvim geoelektričnim istraživanjima da su mlađi vodonosni slojevi male debljine, pa istraživanja veće vodonosnosti treba usmjeriti na starije i dublje naslage; takva je situacija utvrđena npr. u područjima Dervente, Bos. Dubice, Dvora na Uni, Podravske Slatine.

Stečena velika iskustva u istraživanju podzemne vode omogućila su našim geofizičarima i rad u mnogim zemljama izvan domovine, većinom u teškim i hidrogeološkim i klimatskim uvjetima, kao npr. u Egiptu, Libiji, Iranu, Libanonu.

Zbog sve većeg broja praktičnih zadataka inženjerskogeološke prirode formira se već krajem 50-ih godina širom svijeta, a početkom 60-ih godina i u nas, *inženjerska geofizika* kao zasebna geofizička disciplina. Glavna područja rada, razvoja i usavršavanja ove geofizičke metode — zapravo bolje reći specijalizacije — predstavljaju utvrđivanja deformabilnosti stijenskih masa na pregradama hidroenergetskih objekata, seizmička mikrorajonizacija urbanističkih i industrijskih područja i vibrotehnička ispitivanja.

Zasebnom kompleksnom skupinom geofizičkih postupaka i metoda možemo danas smatrati i tzv. »*bušotinsku*« *geofiziku*, ranije nazivanu »žargonskim« nazivom karotažna geofizika. Bušotinska geofizika postigla je zbog brzog razvoja i brzog uključivanja suvremene mjerne tehnike u svoju opremu vrlo visok stupanj. Danas već kod svih postupaka prevladava digitalizacija mjerenja te automatizacija obrade i interpretacije. Velika usavršavanja bilježe postupci indukcionih ispitivanja, kao i seizmoakustička te radioaktivna mjerenja, koja se sve više koriste i izvan ispitivanja rudišta metala te kolektora nafte i plina, posebno u inženjerskoj geologiji. Kod nas se postupci bušotinske geofizike sve više koriste za određivanje točnog mjesta zacjevljenja sa filtrima kod dubljih istraživanja podzemne vode, gdje postupci samog bušenja nisu dovoljno precizni.

Od ostalih geofizičkih metoda, što nalaze sve veću i širu primjenu i kod nas, treba spomenuti i *geotermičku metodu*. Posebnu važnost treba ovoj metodi dati u budućim istraživanjima novih energetske izvora, i to u okviru njezinog osnovnog zadatka, tj. otkrivanja geotermalnih polja u podzemlju, od kojih većina ukazuje na prisutnost termalnih voda. Poznata je već uspješna primjena geotermičke metode kod istraživanja naših poznatih izvora termalne vode, gdje je u većini praktičnih slučajeva uspjele — uz pomoć i drugih geofizičkih metoda — utvrditi nove količine termalne vode.

U posljednje vrijeme kod nas se praktično koristi, zasad uglavnom kod kompleksnih istražnih radova na naftu i plin, i *radiometrijska metoda*. Instrumenti i oprema su skoro isključivo inozemne proizvodnje (pretežno kanadske). Nedavno je bilo referirano u časopisu »Nafta« o rezultatima primjene površinskih radiometrijskih ispitivanja na nekim našim naftnim poljima.

Zaključno možemo naglasiti, da su geofizičari u SR Hrvatskoj u toku proteklih 25 godina sistematskog rada na praktičnoj primjeni, a posebno na usvajanju novih suvremenih metoda i postupaka geofizičkih mjerenja, kao i njihove obrade te interpretacije, razvili svoja znanja i iskustva u svim geofizičkim metodama do svjetskog nivoa. Kod mnogih geofizičkih metoda već je savladana i redovito se koristi i suvremena digitalna tehnologija. Budno se prate i dostignuća na praktičnom kao i znanstvenom polju geofizičara izvan naše zemlje. Možemo biti uvjereni da će primijenjena geofizika i u budućnosti bilježiti vrijedne uspjehe na svim područjima njezinog gospodarski sve važnijeg korištenja.