

HRVATSKI OGRANAK
MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA VELIKE
ELEKTROENERGETSKE
SUSTAVE - CIGRE



Hrvatska Croatia

**12. simpozij: Povijest i filozofija
tehnike Zagreb, 24. - 25. lipnja
2025.**

Zlatko Đurić. mag.fizike¹
zlatko.djuric.zg@gmail.com

Božidar Jančiković mag. geologije
bozo.jancikovic@hi.t-com.hr

00-00

POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA INFORMATIKE U OBRADI BUŠOTINSKIH PODATAKA

Sažetak: Počeci organiziranog istraživanja nafte na našim hrvatskim prostorima sežu od polovine 19. stoljeća. Tada se nafta vadila ručno iz prirodnih naftnih izvora u Peklenici kod Murskog Središća, u Mikleuški nedaleko Kutine, te u Paklenici, Petrovu Selu i u Baćin Dolu i kod Nove Gradiške. **Naftaplin** - utemeljen je 1952.godine odlukom tadašnje Vlade Narodne Republike Hrvatske, tako da su se spojila poduzeća: Proizvodnja nafte Gojlo, Proizvodnja nafte Šumećani, Materijalnog servisa Glavne direkcije za naftu NR Hrvatske, Zagreb i Poduzeća za elektro-karotážna mjerenja, Zagreb. **INA – Industrija nafte d.d.** - hrvatsko naftno poduzeće sa sjedištem u Zagrebu. Osnovano 1963. pod nazivom Kombinat za naftu i plin, nastalo je spajanjem poduzeća za istraživanje i proizvodnju nafte i plina Naftaplin (osnovan 1952.), Rafinerije nafte u Rijeci (osnovana 1883.) i Rafinerije nafte u Sisku

¹ Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora.

(osnovana 1927.). Tvrtka je 1964. promijenila ime u INA – Industrija nafte.

Početak razvoja elektroničke obrade podataka u INI datira od 1967. godine kada je nabavom prvih elektroničkih računala osnovan ERC – Elektronički računski centar kao dio instituta INE. Računalna obrada seizmičkih podataka primjenjuje se od 1968. g. u INA ERC-u obavljala se na računalu TIAC/TIDAR. (Texas Instruments), kapaciteta memorije 4K. Koristio se računalni program GSI.

Karotaža je krajem 1968.g. počela koristiti na istom računalu program MONIT za obrađivanje numeričkih podataka mjerenih u kanalu bušotine.

Daljnijim radom namjera nam je detaljnije opisati povijesni razvoj i doprinos informatike u obradi geofizičkih podataka bušotina kao i dva primjera (prvi je analiza ležišta sa smanjenim obimom geofizičkih mjerenja u bušotinama, a drugi je višedimenzionalna analiza facijesa stijena) samostalnog razvoja sa ciljem unapređenja finalnih analiza i boljeg razumijevanja geološkog podzemlja.

Ključne riječi: karotaža, geofizička mjerenja, računalna obrada podataka, računalni program.

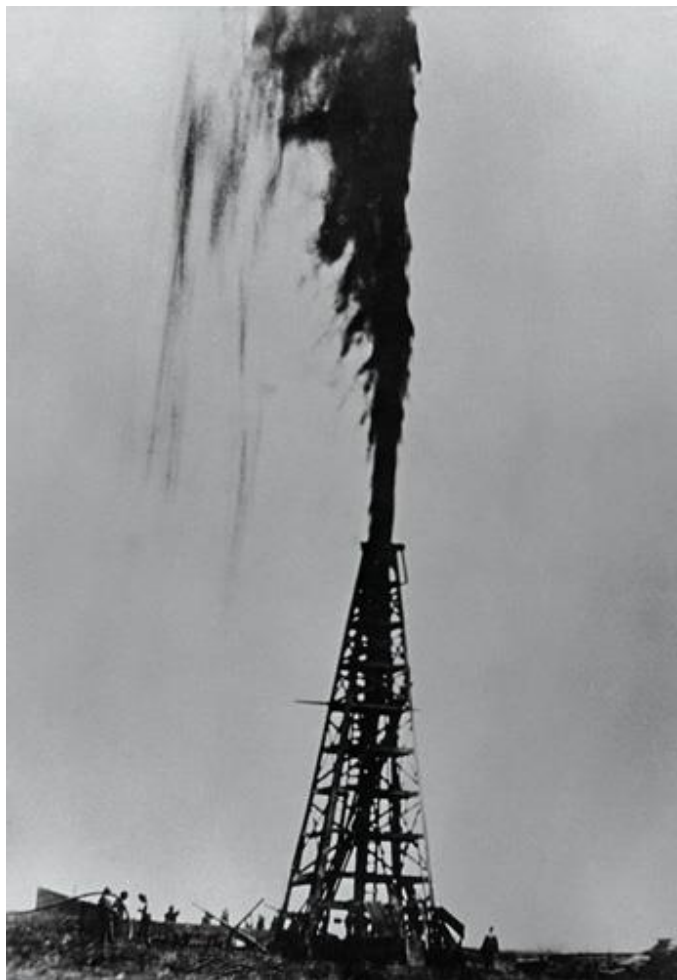
Uvod

Postoje povijesni podaci o postojanju i uporabi nafte stari približno 4000 godina, koji govore o njenom korištenju na područjima oko Kaspijskog jezera, Kavkaza, rijeke Eufrat, Perzijskog zaljeva i Iranske visoravni. Nafta se vadila i u drevnoj Kini, gdje su se bušotine izrađivale od bambusovih cijevi još 347. pr. Kr., a korištena je za grijanje i osvjetljenje.

1. Povijest proizvodnje nafte u svijetu

Prva naftna kompanija u svijetu, *Pennsylvania Rock Oil Company*, kasnije je postala poznata kao *Seneca Oil Company*. Njezin dioničar Edwin Laurentine Drake, poznat i kao "pukovnik Drake", 1859. godine postavlja željezne cijevi u zemlju do dubine od 21,2 m u gradiću Titusvilleu u Pennsylvaniji, čime je ostvario prvo kontrolirano proizvodnja

nafte. Taj događaj označava početak energetske revolucije i sustavnog iskorištavanja naftnih ležišta. Transport nafte i naftnih derivata započeo je u bačvama zapremnine 158,98 l, koje su se zvale barelima – mjernom jedinicom koja se i danas koristi u svjetskoj trgovini naftom.



Slika 1. Prva eruptivna bušotina kraj Spindeltopa, 1901.g.

Važnu ulogu u povijesti naftne industrije imao je hrvatski iseljenik Anton Lučić (poznat i kao Anthony F. Lucas), rođen u Rijeci. On je 1901. godine otkrio naftno polje kraj Spindletopa u Teksasu, tada najproduktivnije na svijetu, čime je učinio Sjedinjene Američke Države

vodećim svjetskim proizvođačem nafte. Lučić je početkom 20. stoljeća revolucionirao naftno rudarstvo uvođenjem inovacija poput rotacijskog bušenja i korištenja glinene isplake (bušačkog radnog fluida), zbog čega ga mnogi smatraju osnivačem naftnog inženjerstva. Svake godine Međunarodna udruga naftnih inženjera (engl. Society of Petroleum Engineers – SPE) dodjeljuje *Zlatnu medalju Anthony F. Lucas* za doprinos u razvoju naftnog inženjerstva.

2.Povijest pridobivanja nafte u Hrvatskoj

Hrvatska je među rijetkim zemljama koje su sredinom 19. stoljeća započele istraživanje, pridobivanje i preradu nafte. O pojavama nafte u Hrvatskoj od davnina svjedoče podaci iz područja kao što su Paklenica kod Zadra i Novske, Peklenica u Međimurju, Pakleni (Pekleni) otoci pred jugozapadnom obalom Hvara, Smrdelje u zaleđu Šibenika i Uljanik istočno od Garešnice. Ti nazivi vjerojatno potječu od riječi 'paklina' (katran ili smola), što se odnosi na crnu, uljenu i zapaljivu tvar karakterističnog mirisa.

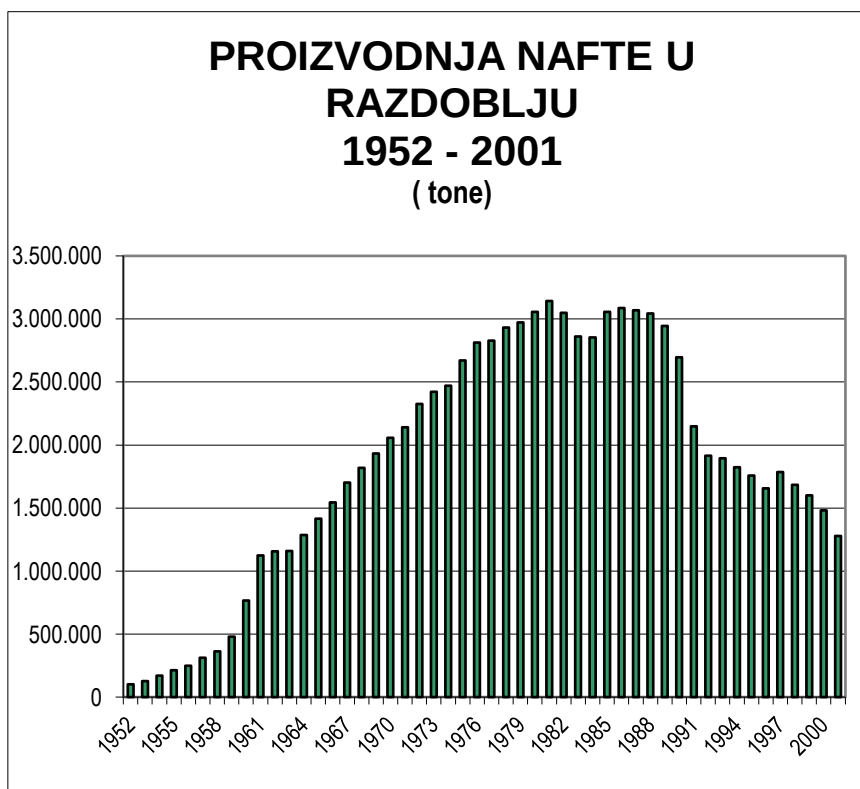
Godine 1854. donesen je Opći austrijski rudarski zakon na temelju kojega su dodijeljena prva rudna polja za istraživanje i eksploataciju nafte u Hrvatskoj. Prvu koncesiju za eksploataciju zemne smole, odnosno nafte, dobio je 1860. godine grof Juraj Festetić na svom posjedu u Peklenici kraj Murskog Središća, slika 2. Tamo se nafta vadila ručno iz plitkih okana i koristila kao kolomaz. Najveći naftni poduzetnik u Međimurju bio je Wilhelm Singer, koji je do 1905. godine izgradio tridesetak naftnih bušotina, naftovod od Selnice do Murskog Središća i osnovao poduzeće Međimursko petrolejsko d.d., koje je surađivalo sa stranim kompanijama.

gravimetrije, geoelektrike, magnetometrije, seizmike 2D, a kasnije i 3D, doprinio je otkrićima brojnih naftnih, plinskih i geotermalnih polja.

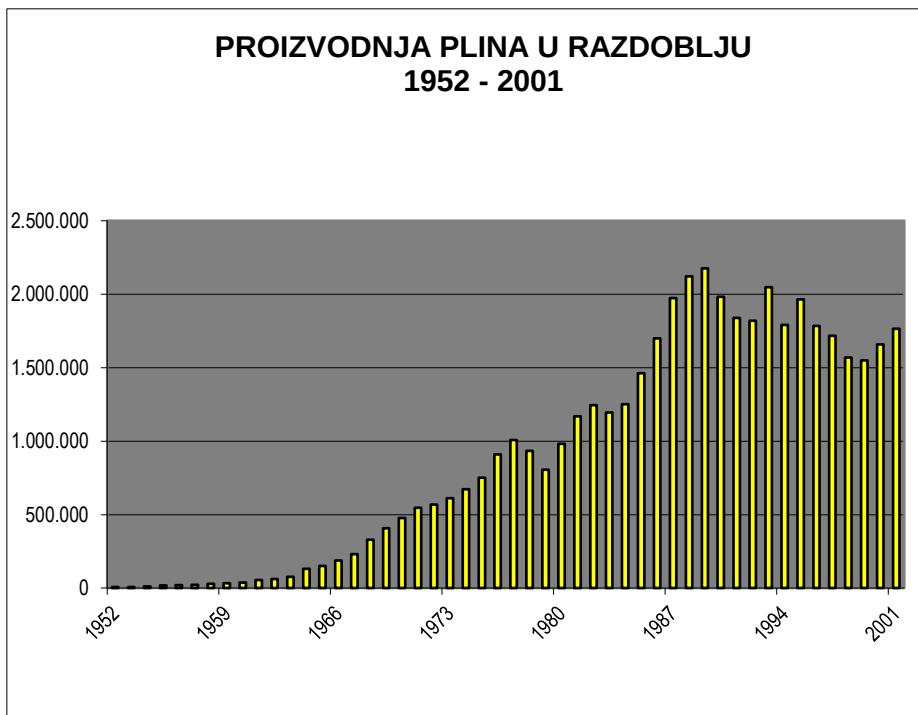
Sektor razrade obuhvaćao je sve aktivnosti od otkrića do prestanka eksploatacije ležišta, uključujući procjene otkrivenih zaliha i analize ponašanja ležišta na temelju interpretacije geofizičkih - karotažnih mjerenja, hidrodinamičkih mjerenja tlakova i drugih dostupnih podataka.

Sektor proizvodnje upravljao je procesom proizvodnje ugljikovodika (nafte, kondenzata, plina i vode) iz bušotina i njihovim transportom unutar sabirnog sustava sve do rafinerije. Za učinkovitije i ekonomičnije iskorištavanje ležišta, razvijene su različite metode proizvodnje i regulacije crpljenja ugljikovodika, koje su uključivale primjenu tehnoloških i znanstvenih metoda.

Razvoju svih sektora Naftaplina od osnutka do kraja 20. stoljeća značajno je doprinijela primjena svjetskih tehnologija.



Sl. 3. a) Proizvodnja nafte po godinama (tone)



Sl. 3. b) Proizvodnja plina po godinama (m³)

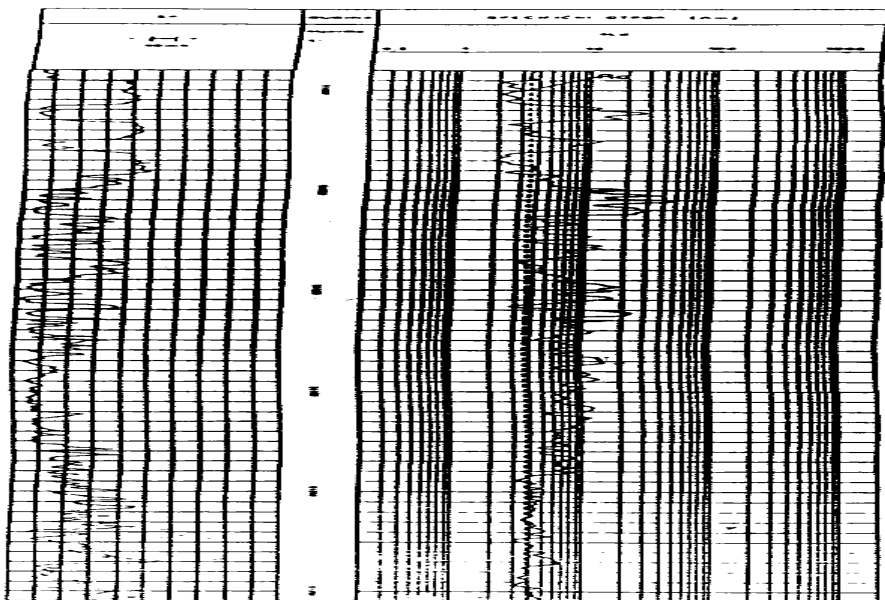
U razdoblju od 50 godina na području Hrvatske otkriveno je i privedeno proizvodnji 45 naftnih i 30 plinskih odnosno plinsko-kondenzatnih polja. Domaća proizvodnja nafte i prirodnog plina, kao i izgradnja plinskog sustava, omogućili su Naftaplinu da zadovolji gotovo sve potrebe Hrvatske za naftom i plinom tijekom druge polovine 20-tog stoljeća, počevši od 60-ih godina. Najveća godišnja proizvodnja nafte iznosila je 3,7 milijuna m³ (ili 3,1 milijun tona) 1981. godine, a prirodnog plina 2 milijarde m³ 1989. godine. Zlatno doba razvoja bilo je od 1970. do 2000. godine, što se vidi po proizvodnji ugljikovodika - nafte i plina, slike 3.a i 3.b).

4. Geofizička - karotažna mjerenja

Karotaža – kod autora a i u Naftaplinu - je kolokvijalni naziv za geofizička mjerenja u kanalu bušotine. Mjerenja se vrše u otvorenom i zatvorenom kanalu bušotine.

Poduzeće za elektro-karotažna mjerenja kao jedan od osnivačkih dijelova unutar Naftaplina, tijekom godina razvijao se kao i svi drugi servisi. Nabavkom jedinice za mjerenje geofizičkih podataka u bušotini, tzv. EK (elektrokarotažna) jedinica tvrtke Schlumberger GMC-1 i GMC-2, napravljen je iskorak u obavljanju kvalitetnijih radova kao što su mjerenja u kanalu bušotine ali isto tako i ostalih poslova (perforiranja, postavljanja čepova, pakera i dr.). Jedan od većih napredaka dogodio se 1977. god., kada je nabavljena nova generacija EK jedinice koja je imala mogućnost da podatke mjerenja bilježi na magnetnu traku.





Sl. 4. Pomoć pri dolasku EK jedinice na bušotinu 1952. godine i prikaz EK mjerenja

U Naftaplínu u početku imali smo dva odjela koji smo nazivali istim imenom - „Karotaža“. Jedno su bili **Karotaža mjeraci**, većinom elektro i/ili naftni inženjeri koji su sa specijalnim kamionima izvodili geofizička mjerenja u bušotinama. Dijelili su se na dio koji su mjerili u otvorenom kanalu bušotine i dio koji su mjerili u zatvorenom kanalu bušotine. Mjerenja su se obavljala specijalnim kamionima koji su na sebi imali bubanj sa namotanim čeličnim kablom kroz koji su prolazile i do deset žica i na koje su bile spojene sonde koje su se spuštale, uz pomoć kolotura, u kanal bušotine. Organizacijski su pripadali dijelu Rudarskih Servisa.

Karotaža interpretatori odnosno interpretatori karotažnih mjerenja (kasnije je Služba promijenila naziv u **Služba za procjenu formacije**) dio su Sektora razrade, uglavnom članovi su bili geološke i/ili naftne struke i imali su zadatak da obrade i analiziraju izmjerene bušotinske podatke i takve obrađene podatke predaju dalje na korištenje.

Svakoj naftnoj kompaniji je najvažnije imati pouzdana saznanja o karakteristikama ležišta prikupljena iz što više mogućih izvora. Tome jako puno doprinosi i kvalitetna snimanja i interpretacija odnosno analiza karotažnih-geofizičkih podataka snimljenih u otvorenom kanalu bušotine.

Rezultate analize koriste dalje relevantni stručnjaci u Sektoru Istraživanja, Razradi i Proizvodnji.

5.Kompjutorska obrada karotažnih mjerenja

Kompjutorska obrada karotažnih - geofizičkih podataka snimljenih u bušotinama započela je davne 1968., odnosno početkom 1969. koristeći računalo TIAC/TIDAR.(Texas Instruments), i program MONIT a obrađivani su numerički, ručnom diskriminacijom odabrani i uneseni podaci. Početkom sedamdesetih (1971.) počeo se koristiti napredniji program LOGINT, no ulazni podaci su se dobivali na isti način.

Dakle, to je bilo doba rada sa bušenim trakama odnosno karticama a podaci, izmjereni u kanalu bušotine, obrađivali su se numerički. Izmjereni podaci bili su analogni. bili su snimani na film i kopirali na papir. Tako snimljeni podaci očitavali su se sa filma ili papirne kopije a analizirali su se točkasto, odnosno usrednjavanjem podataka u ležištima. Cilj analize je dobivanja potrebnih izračuna vrijednosti (debljina ležišta, porozitet, zasićenje, propusnost...) koji se koriste za daljnju modeliranje karakteristika ležišta. Krajnji cilj analiza je evaluacije ležišta odnosno količinu zaliha ugljikovodika.

Ključna godina je 1978. kada se nabavom digitalnih mjernih jedinica mjerenje pohranjivalo na magnetske trake a time omogućilo kontinuirani prikaz i obradu geofizičkih podataka bušotine po vertikali (osam do deset podataka po metru za svaku izmjerenu krivulju). Prvo se počeo snimati mjerenje nagiba slojeva a obrađivao se programom Diplog. Vrlo brzo nabavlja se i Epilog kompjuterski program koji je obrađivao sva geofizička mjerenja. To je bio značajan skok u interpretaciji i analizi podataka jer je omogućena kontinuirana analiza po dubini kroz cijeli izmjereni kanal bušotine. Drugi važni događaj je da se početkom 80. godina dovršava se izgradnja nove zgrade u Šubićevoj 29, kupuje novi IBM 4143 i pušta u pogon ploterski centar, tj. centar za ispis dužih grafičkih krivulja i karata. Mana je bila što su veliki „jobovi“, a to su bili kompjuterska analiza većih intervala karotažnih – geofizičkih mjerenja u kanalu bušotina ili/i snimljenih seizmičkih profila, morali čekati i najčešće su puštani tijekom vikenda.

Godine 1989. Naftaplin kupuje za potrebe Organizacijske jedinice za Procjenu formacije - karotaža interpretatori pet Compaq računala, dva sa 286 procesorom i tri sa 386 procesorima, koji su imali novi DOS

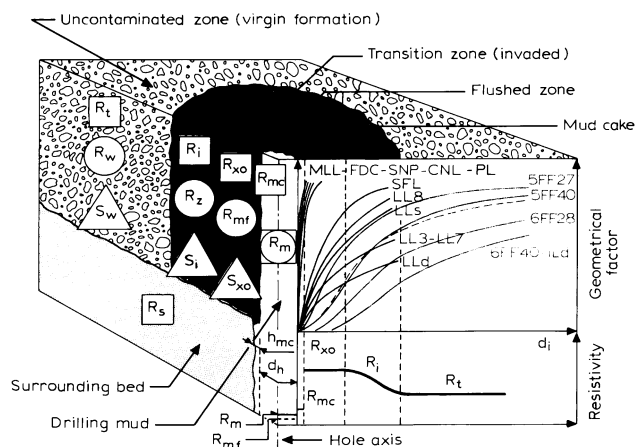
program WDS - *Well Data System*, računala su međusobno bila povezana sa mrežom Novel verzija 2.15 i serverom organiziranom na jednom računalu. Tada smo po prvi puta imali samostalnu kompletnu jedinicu koja je uključivala ulaze podataka sa magnetske trake tipa *Kennedy* ili digitalizatora kao i uređaje za ispis dugačkih dijagrama.

Sam program WDS – *Well Data System* je omogućavao jednostavnu nadogradnju ili bolje reći izradu novih programa koristeći modul „GEN“ koji je generirao program koristeći postojeće sučelje za ulazne i izlazne podatke. Koristio se programski jezik FORTRAN.

6.R – nula

Tijekom godina u RH izbušeno je oko 4.500 bušotina. Gotovo u svim bušotinama izmjereni su neki geofizički podaci. Izmjerene geofizičke podatke možemo podijeliti u nekoliko kategorija, slika 5.:

- Propusnost – SP (spontani potencijal, mV), GR (Gamma ray, API jedinica)
- Zasićenje – mjerenje specifičnog otpora (Ωm):
- Nefokusirajuća mjerenja (long spacing tools EL - elektrolog);
- Fokusirajuća mjerenja (long spacing tools IL, LL, DIFL, DLL...);
- Nefokusirajuća mjerenja (microtools ML);
- Fokusirajuća mjerenja (microtools MLL, PL, LL8, MSFL, HDT, FMS..)



The radial geometrical factors of the principal resistivity tools, shown with the fluid and resistivity distributions near the well-bore.

Sl. 5. Prikaz karakteristika mjerenja specifičnog otpora u kanalu bušotine

- Litološka mjerenja – DEN – *Density* (g/cm³), CNL – *Composated Neutron Log* (%), AC – *Acoustic* (μs/ft)

Naravno pored navedenih ima još niz mjerenja kao npr. promjer kanala bušotine, nagib slojeva itd, ali to nije predmet ovog rada. Osim toga navedena su mjerenja u 'Open holu' – otvorenom kanalu bušotine a postoje i mjerenja u 'Case holu' – zatvorenom kanalu bušotine.

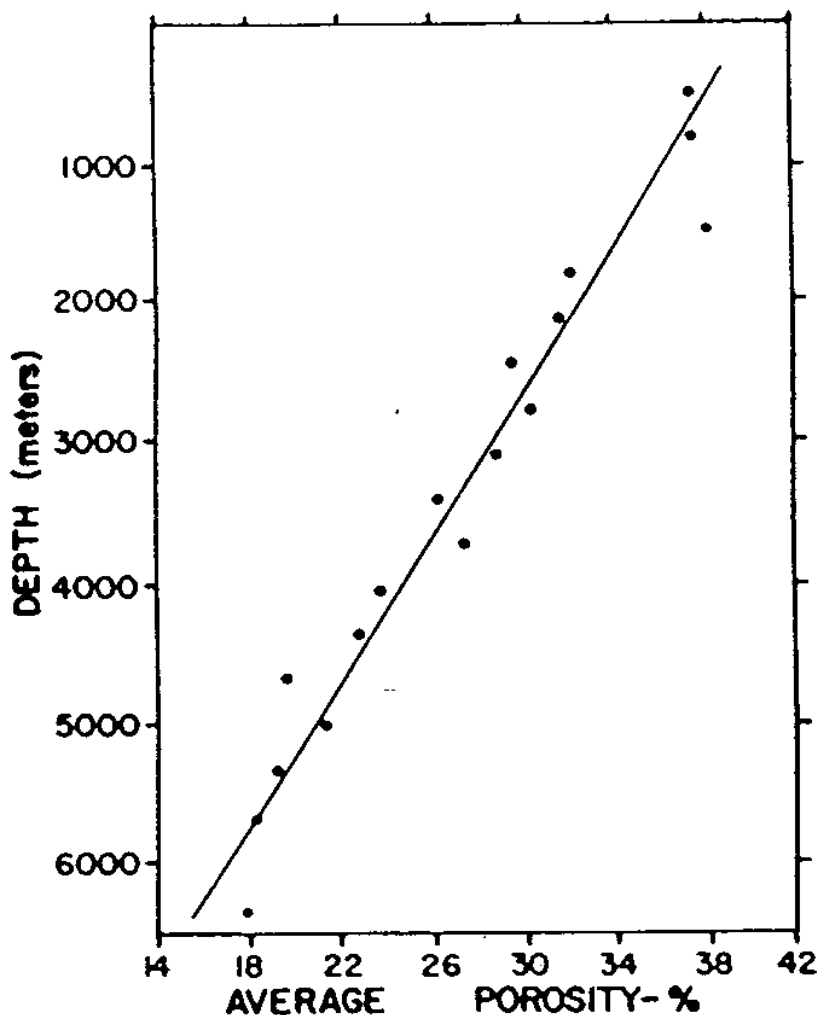
U starijim bušotinama u otvorenom kanalu bušotine, imali smo najčešće izmjereni specifični otpor (EL) i propusnost (SP ili GR). Da bi naftni inženjeri mogli analizirati karakteristike ležišta, sa ciljem kvalitetne razrade ležišta, praćenje proizvodnje, izrade elaborata ležišta kao i ekonomske analize, karotaža im je morala dati što korektnije i točnije podatke o dubini i debljini ležišta ali i propusnosti i porozitetu ležišta kao i zasićenju. Da bi se takvi proračuni omogućili potrebno je bilo kreirati vlastiti program kojeg smo nazvali R-nula.

Program je imao svoja ograničenja a to su:

- Upotrebljivo samo na lapor – pješčenjak formaciji;
- Moguće samo za jedno mineralnu analizu formacije.

Osnovna teoretska pretpostavka metode R-nula je uočena i dokazana funkcionalna zavisnost promjene – smanjenja poroziteta s dubinom, a shodno tome i pravilnog povećanja vrijednosti specifičnog otpora naslaga zasićenih slojem vodom (R-nula).

Na bazi mjerenja poroziteta 17.367 uzoraka jezgara, Atwater i Miller su dokazali linearnu funkcionalnu zavisnost promjene poroziteta s dubinom, slika 6.



Sl. 6. Linearna zavisnost promjene poroziteta s dubinom

Dakle, u klastičnim plio-kvartarnim naslagama Panonskog bazena i Jadranskog podmorja, brojnim karotažnim mjerenjima ustanovljena je linearna funkcionalna zavisnost vrijednosti specifičnog otpora čistih pješčenjaka zasićenih slojnom vodom (R-nula) i dubine.

S obzirom da možemo pretpostaviti da se vrijednost otpora slojne

vode R_w neće bitno mijenjati, postojat će i funkcionalna veza između povećanja vrijednosti specifičnog otpora naslaga zasićenih slojnom vodom – R_0 i dubine zalijeganja,. Matematički jednadžbe možemo izraziti:

$$S_w^n = \frac{1}{\phi^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \quad (1)$$

S_w = zasićenje vodom

n = koeficijent zasićenja (korištena vrijednost je 2)

ϕ = porozitet

m = faktor cementacije (korištena vrijednost je 2)

R_w = specifični otpor slojne vode

R_t = specifični otpor probušenih naslaga

U vodom zasićenim slojevima vrijednost S_w je 1 a otpor R_t prelazi u R_0 pa izraz se pretvara u:

$$1 = \left(\frac{1}{\phi^m} \right) \cdot \left(\frac{R_w}{R_0} \right) \quad (2)$$

što rezultira

$$\phi = \sqrt[m]{\frac{R_w}{R_0}} \quad (3)$$

Odnosno

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{R_0}{R_t}} \quad (4)$$

Liniju R_0 izračuna se iz definiranih minimalnih i maksimalnih vrijednosti

$$R_0 = R_{0min} + \left[\left(\frac{D-SD}{ED-SD} \right) \cdot R_{0max} - R_{0min} \right] \quad (5)$$

gdje su D -trenutačna dubina, SD -početna dubina, ED -krajnja dubina ili kraj definiranog intervala.

$$V_{sh} = \frac{(SP - SP_{min})}{(SP_{max} - SP_{min})} \quad (6)$$

V_{sh} – Volumen lapora (shale), SP - vrijednost krivulje Spontanog potencijala na specifičnoj dubini, SP_{min} -minimalna vrijednost krivulje SP , SP_{max} -maksimalna vrijednost krivulje SP za definirani interval.

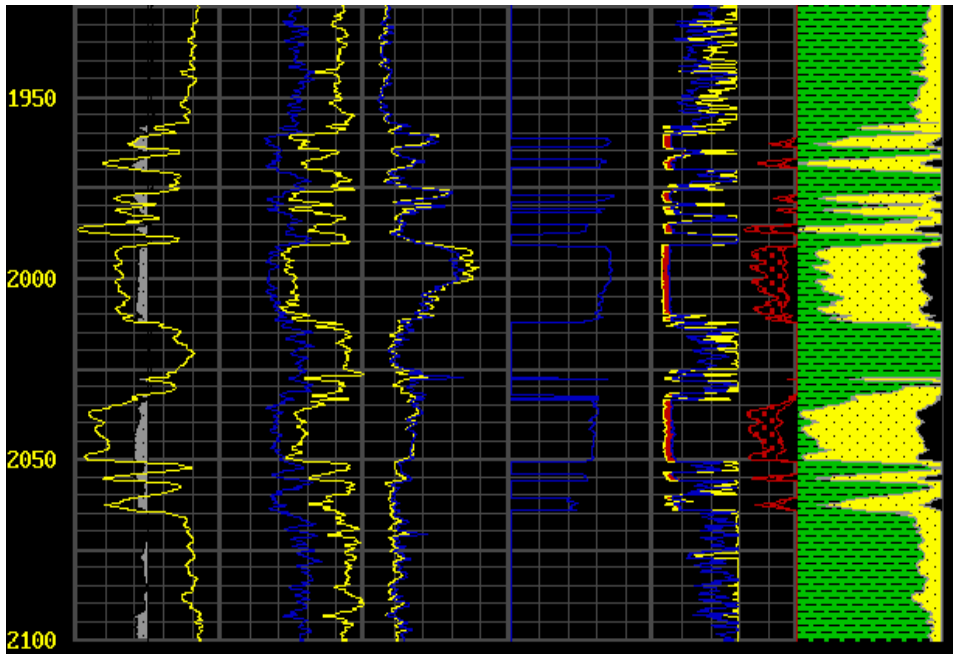
$$\phi_e = \phi - (\phi_{sh} \cdot V_{sh}) \quad (7)$$

ϕ_e =efektivni porozitet, ϕ_{sh} = Porozitet lapora koja se vrijednost određuje iz laboratorijskih mjerenja na jezgrama ili iz kombinacije karotažnih mjerenja na poznatim poljima

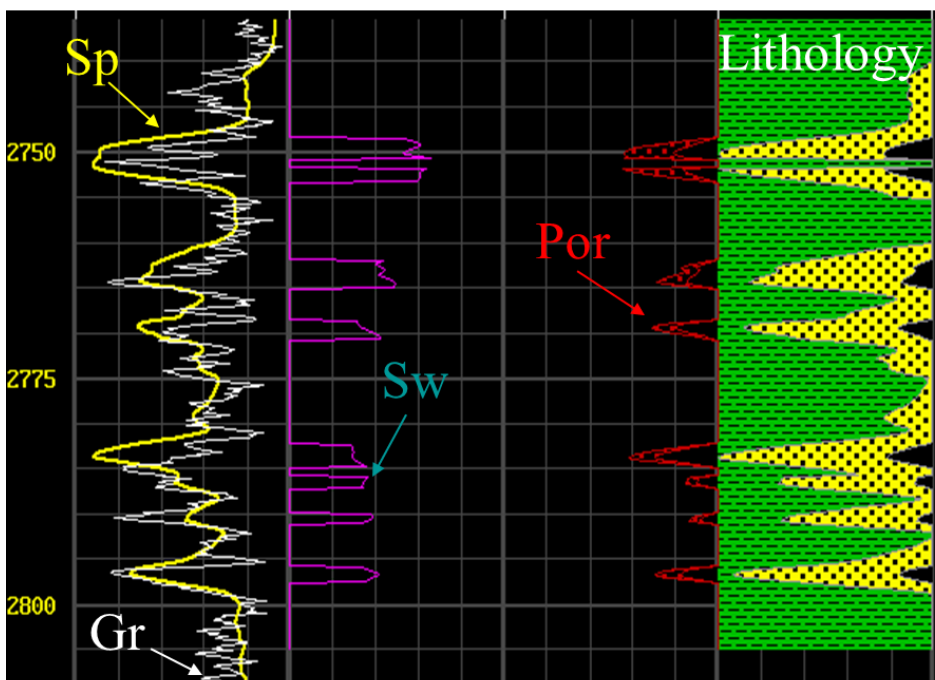
$$\phi_w = S_w \cdot \phi_e \quad (8)$$

ϕ_w = porozitet ležišta zasićen vodom.

Potrebna mjerenja su SP i R_t , a korisnik je definirao R_0 i linije zalaporenja odnosno čiste formacije.



Sl. 7. R nula analiza



Sl. 8. R nula analiza rađena na inozemnoj bušotini

Metodom R-nula i njenom dobivenom analizom primijenili smo na veliki broj bušotina a koristila se i u nekim inozemnim bušotinama na kojima smo imali ugovorene poslove povećanja proizvodnje nafte. Tu metodu prezentirali smo na konferenciji SPWLA (Society of Petrophysicists and Well Log Analysts) u Budimpešti 1990. godine, slika 7.

7. Analiza facijesa stijena

U dubokim naslagama Dravske depresije, na jugozapadnom rubu Panonskog bazena, otkrivena su plinska i plinsko kondenzatna ležišta. Prema procjeni rezervi i dosadašnjoj proizvodnji ova ležišta sadržavala su tada najveće količine ugljikovodika u ovom području. Strukturna, litološka i stratigrafska složenost ovih naslaga Dravske depresije, zajedno s njihovom velikom dubinom zalijeganja, visokom temperaturom i pritiskom te prisutnošću sumporovodika, rezultirale su krajnje teškim uvjetima za jezgrovanje (proces uzimanja valjkastog uzorka nabušene

stijene), karotažna mjerenja i testiranja. Ležišne stijene izgrađene su od klastita, evaporita i metamorfita u rasponu starosti od Devona do Miocena, dubinom zalijeganja proizvodnih ležišta od 4000 m, temperaturom od 200°C i pritiskom koji je prelazio 50MP-a (500 bar)

Sveobuhvatna integracija podataka iz različitih izvora bila je neophodna za postizanje zadovoljavajuće razine kvalitete geološke razrade ovih ležišta. Rezultat objedinjavanja podataka karotažnih mjerenja i njihove interpretacije s geološkim i petrofizikalnim podacima iz jezgara bio je utvrđivanje kriterija za razlikovanje pet osnovnih litofacijesa i nekoliko podfacijesa,

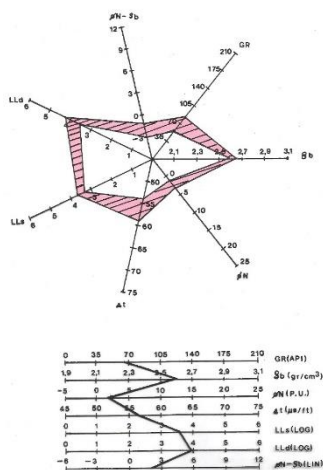
8. Određivanje facijesa

Osnova geološkog modela koji je razvijen na tom području je identifikacija različitih facijesa iz dijagrama karotaže bušotine i podataka analize jezgre te korelacija tih facijesa u cijeloj regiji. To uključuje najvažniju fazu regionalnih terenskih studija. Rad je posebno usmjeren na predviđanje opsega i pojavnosti facijesa na područjima koja se ispituju novim bušotinama, jer uspjeh ili neuspjeh definiranja položaja nove bušotine ne ovisi samo o razmatranjima struktura, već i o prisutnosti određenih litoloških facijesa.

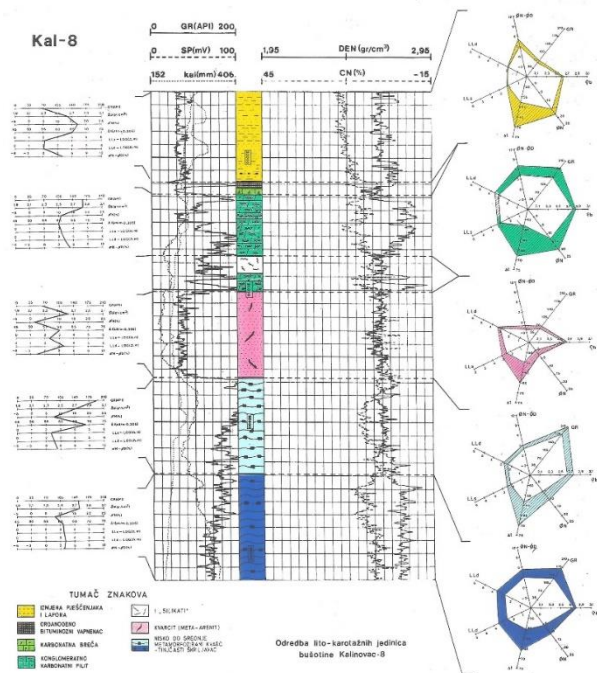
Osnovni paket dijagrama karotaže bušotine je sadržavao dijagrame karotaže gustoće, neutronske, zvučne, gama zračenja i dijagrame karotaže električne otpornosti (duboke i plitke). U ranim danima rada na Dravskoj depresiji, oni su se uglavnom koristili kod manualnog određivanja elektrofacijesa. Za razlikovanje osnovnih elektrofacijesa korišteno je nekoliko parametara dijagrama karotaže:

- prirodna radioaktivnost GR;
- separacija vrijednosti gustoće DEN i kompenziranog neutrona CNL
- raspon vrijednosti izmjerenih otpornosti

Za tu su svrhu korišteni su dijagrami "Spider-web" i "Ladder", a karakteristični primjeri su prikazani na slici 8 i 9.



Slika 9. Dijagrami "Spider-web" i "Ladder",



Sl. 10. Odredba lito-karotažnih jedinica (facijesa) na jednoj Podravskoj bušotini

U početku je provedeno pokusno istraživanje na devet bušotina koje su imale najkvalitetnije karotažne podatke i koje su obuhvaćale ukupni interval od 3 457 metara. Na temelju tih podataka, i u kombinaciji

s geološkim i petrofizičkim podacima iz dostupnih uzoraka jezgri, utvrđeno je pet glavnih litofacijesa. Tijekom procesa istraživanja u početku je utvrđeno više sporednih litofacijesa, ali su oni grupirani pod glavnim litofacijesima u nastojanju da se smanji složenost modela. Od tih pet glavnih litofacijesa, dva su kasnije razdijeljena kako bi se dobilo ukupno sedam litofacijesa koji će se koristiti u karakterizaciji dubokih formacija.

Najvažniji litofacijesi i njihove glavne karakteristike mogu se sažeti kako slijedi. Ilustrativni primjeri karakteristika karotažnih dijagrama prikazani su na slici 10. koje ujedno prikazuju korelaciju facijesa diljem regije.

8. a) Facijesi

Klastiti

Iako su oni prilično varijabilni u litološkom sastavu cijelog područja, općenito su grupirani u jednom litofacijesu. Međutim, u budućoj i detaljnijoj studiji postoji mogućnost podjele ove skupine na preciznije definirane jedinice. Sveukupno gledano, karakteristike dijagrama karotaže za te litofacijese pokazuju umjerene vrijednosti za gama zrake (ali s vrijednostima koje su u cijeloj regiji varijabilne i lateralno i vertikalno), male do negativne separacije neutrona i gustoće (tj. nešto slično rasponu od vapnenca do škriljavca), a tipično je da ovi slojevi imaju nisku otpornost.

Ispitivanje uzoraka jezgre upućuje na to da je to pretežno polimiktni konglomerat tj. onaj koji uključuje mnoge različite vrste stijena među sastavnim klastitima i obuhvaća zaobljene do polu uglaste fragmente stijena vrlo različitih dimenzija. Najčešći fragmenti su dolomiti, gnajsi, tinjčev škriljevac i kvarcni arenit. Vapnenci i vulkanske stijene rijetko se pojavljuju kao klast (sastavni dio). Općenito, klasti su u potpunosti okruženi materijalom matriksa, koji uglavnom sadrži kvarc i glinenac, ali uključuju i minerale tinjaca i gline. Zbog vrlo male poroznosti, ovaj litofacijes nije pogodan kao ležišna stijena.

Bioklastični vapnenac

Drugi glavni litofacijes identificiran u ovom području ima ograničeno prostorno rasprostiranje te se sastoji od bioklastičnih vapnenačkih facijesa. Karotažne karakteristike ove jedinice uključuju

Slika 11. Odredba facijesa u kanalu bušotina

Treći prepoznati litofacijes u ovom području je dolomitni litofacijes. Karotažni dijagrami za ovu stijenu karakterizirani su niskim i ujednačenim vrijednostima gama zračenja, uz tipičnu negativnu dolomitnu separaciju od nekoliko poroznih jedinica na neutron-gustoćnim krivuljama. Električna otpornost pokazuje varijabilnost, ovisno o stupnju

saturacije. Analiza jezgri pokazuje da se najčešće radi o kataklastičnoj dolomitnoj breči. Ovisno o poroznosti, ovaj litofacijes može sadržavati ugljikovodike. Općenito, dolomiti često sadrže gotovo vertikalne frakture, što ih potencijalno čini dobrim ležišnim stijenama za eksploataciju ugljikovodika.

Dolomitni škriljavac

Četvrti facijes je dolomitni škriljavac a na karotažnim dijagramima je obilježen s vrlo promjenljivim odzivom gama zraka i, općenito govoreći, normalnim razdvajanjem dolomita na krivuljama neutrona i gustoće. Visoke vrijednosti otpornosti povezane su s tim facijesima. Uzorci jezgara pokazuju da je ova stijena gotovo u cijelosti sastavljena od mikrokristalnog dolomita s malim količinama sericita (tinjci), kvarca i feldspata. Taj facijes predstavlja jako dolomitiziranu metamorfnu stijenu i može sadržavati mnogobrojne frakture.

Kvarcit

Kvarcitni litofacijes ima vrlo prepoznatljiv karotažni odziv i potvrđen je na širem području Dravske depresije. Može se pratiti i korelirati od područja Molvi i Kalinovca, preko polja Stari Gradac pa sve do lokaliteta Orešac, gdje su kvarcitni elektrofacijesi zabilježeni na dubinama većim od 5 000 m.

Na karotažnim dijagramima ovaj litofacijes karakterizira:

- niska vrijednost gama zračenja,
- karakteristično kvarcno pozitivno razdvajanje (2–3 jedinice poroznosti) između krivulja neutrona i gustoće,
- visoka električna otpornost,
- te poroznost koja varira s dubinom.

Litofacijes odgovara klastičnom sedimentu koji je podvrgnut jakom metamorfizmu, ali i dalje zadržava dovoljnu poroznost i propusnost da gotovo svugdje gdje se pojavljuje tvori kvalitetnu ležišnu stijenu. Očuvana poroznost pokazuje varijabilnu geometriju – djelomično je mikrofrakturirana, djelomično kavernozna, a djelomično intergranularna. Opisi jezgri ukazuju da se radi o porfiroklastičnom, sericitnom kvarcitu.

U pojedinim bušotinama kvarcit predstavlja jedini litofacijes s dobrim rezervoarskim svojstvima. Njegova sposobnost za akumulaciju

ugljikovodika ovisi o strukturnoj poziciji u odnosu na liniju zavodnjenosti – iznad nje može sadržavati proizvode količine plina i kondenzata, dok ispod nje obično ne sadrži ugljikovodike.

Zbog toga je ključno pravilno prepoznati ovaj facijes u fazi istraživanja i procjene plinskih i plinsko-kondenzatnih polja unutar Dravske depresije. Gotovo bez iznimke, kvarcitni litofacijesi iznad linije zavodnjenosti sadrže proizvode ugljikovodike. Primjer za to je bušotina Stari Gradac-2, koja je prvotno bila klasificirana kao negativna i neproduktivna. Međutim, ponovna analiza karotažnih zapisa ukazala je na prisutnost kvarcitnog intervala, koji je potom perforiran – rezultirajući dotokom plina i klasifikacijom bušotine kao produktivne. To je omogućilo i proširenje granica polja Stari Gradac prema zapadu.

Kvarcitni litofacijes ima vrlo karakterističan odziv dijagrama karotaže a utvrđen je na značajnom području Dravske depresije. Litofacijes se može utvrditi i korelirati od Molvi, preko Kalinovca, do polja Stari Gradac, a također i do lokaliteta Orešac. Na karotažnim dijagramima ovaj litofacijes je karakterističan po niskim vrijednostima gama zračenja, tipičnom kvarcno pozitivnom razdvajanju (plus 2-3 jedinice vapnenačke poroznosti) na krivuljama neutronske i karotaže gustoće, visoke otpornosti i rasponu poroznosti koji varira s dubinom. Ovaj litofacijes odgovara klastičnom sedimentu, koji je sada jako metamorfiziran, ali zadržava dovoljnu poroznost i propusnost da formira kvalitetnu ležišnu stijenu gotovo svugdje

Podina

Takozvane podinske stijene podijeljene su na dva litofacijesa. Podina je gotovo uvijek prekrivena kvarcnim elektrofacijesom. Njegovi karakteristični karotažni odzivi su relativno visoke vrijednosti gama zraka koje se mijenjaju s dubinom, stvarno nulto odvajanja krivulja neutrona i gustoće, ali i nešto promjenljivim s dubinom i iznimno visokim otpornostima. Ovaj litofacijes rijetko predstavlja ležišnu stijenu, ali povremeno je stijena dovoljno frakturirana da bi proizvela ugljikovodike. Uzorci jezgre ukazuju na to da su ti litofacijesi blasto-miloniti i da predstavljaju rekristalizirane porfiroklaste kvarca i glinenca unutar sitnozrnatog matriksa.

Podina II

Litofacijes poznat kao Podina II sastoji se od zelenog škriljevca i predstavlja najdublje do sada identificirane stratigrafske jedinice u

istraživanom području.

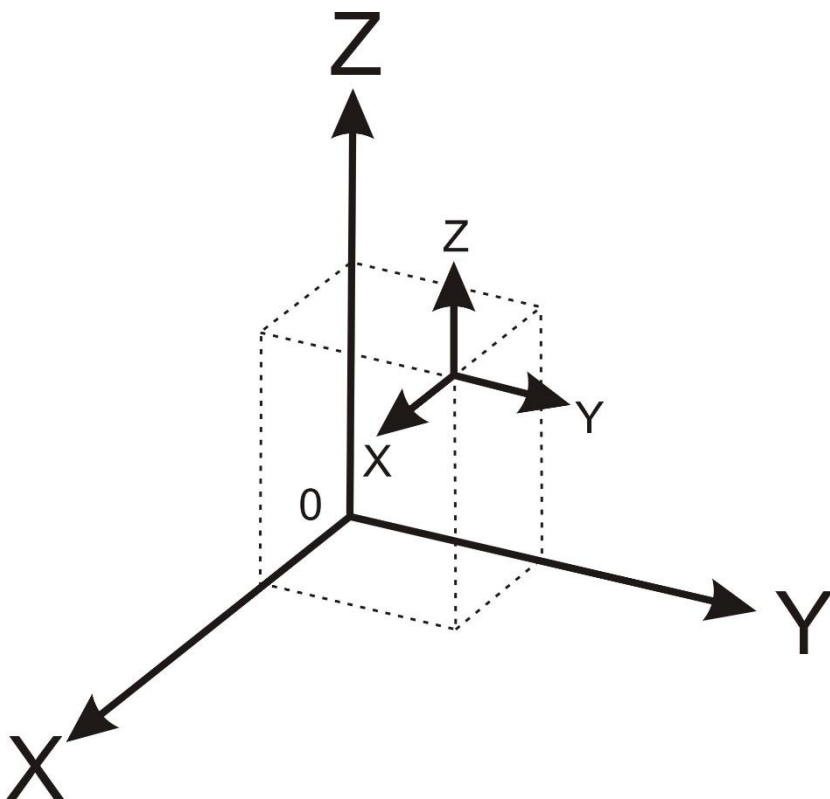
Karotažni podaci pokazuju umjerene vrijednosti gama zračenja, izraženo negativnu separaciju neutron-gustoća krivulja (separacija tinjca) te vrlo visoke vrijednosti električne otpornosti.

Ovaj facijes nema rezervoarska svojstva, odnosno ne predstavlja ležišnu stijenu. Litološki je vrlo složen i obuhvaća niz slabo metamorfoziranih stijena različitog mineralnog sastava, među kojima dominiraju klorit, albit, kvarc, tinjac, kalcit, sericit i epidot. U većini uzoraka prisutna je dobro razvijena škriljavost, koja je rezultat paralelne orijentacije lamelastih minerala pod djelovanjem dugotrajnih visokih tlakova i povišenih temperatura.

Facijes je litološki predstavljen tinjčevim, kloritnim i albit-sericitnim škriljavicima, kao i dinamički i retrogradno metamorfoziranim gnajsima.

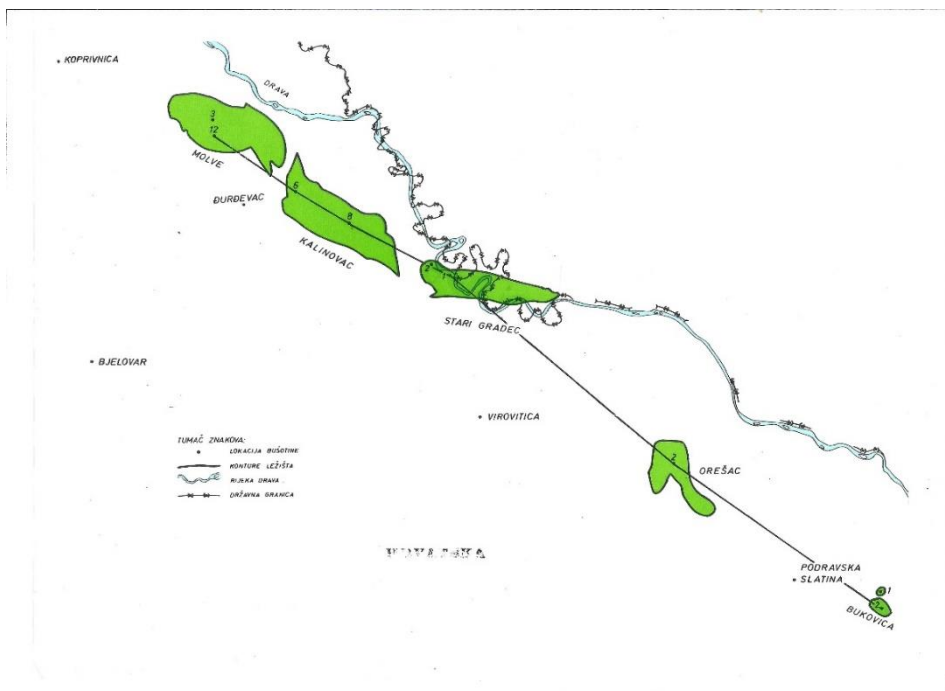
9. Informatičko rješenje

Detaljnije ispitivanje svojstava facijesa bilo je moguće primjenom paketa HORIZON informatičkog programa kompanije Western Atlasa (autora Oliveira i sur., 1989.). Glavna vrijednost ovog paketa je u integraciji kvantitativnih i kvalitativnih podataka kako bi se postigla kategorizacija podataka karotaže koji se mogu podesiti tako da predstavljaju različite facijese. 'Kalibracija' modela kategorizacije omogućena je usporedbom s intervalima jezgrovanja. Baza podataka je organizirana kao višedimenzionalni koordinatni sustavi, slika 12. Našu bazu koju smo koristili koristeći se paketom HORIZON, konstruirali smo iz većeg broja različitih karotažnih dijagrama: gama zraka, neutronske gustoće, električne otpornosti (duboke) i odvajanja krivulja neutronske, karotaže gustoće i pridruženih brojeva facijesa.

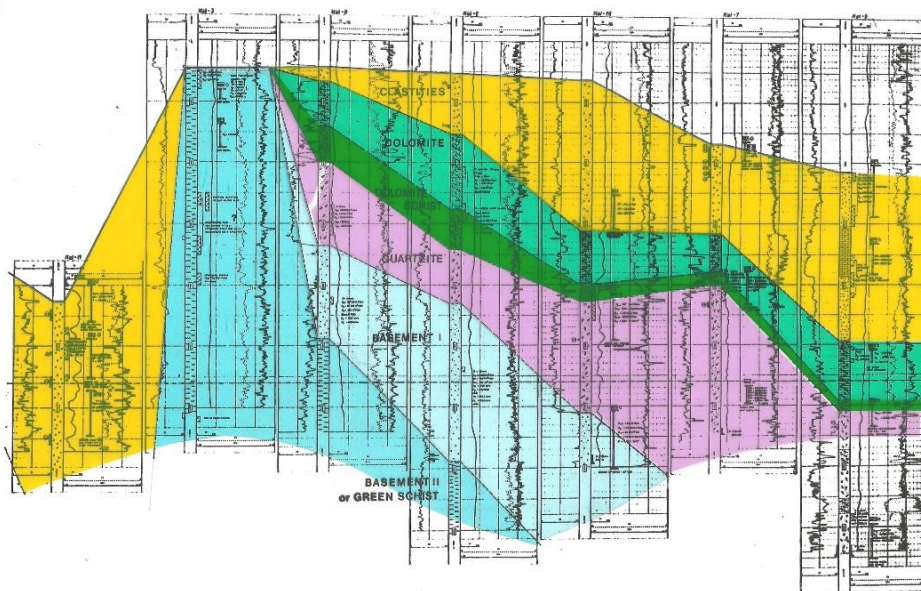


Sl. 12. Višedimenzionalni koordinatni sustav

Nalazeći 'čiste' facijese u snimljenim karotažnim dijagramima definirali smo ulazne podatke za bazu facijesa koristili smo u daljnjoj analizi svih Podravskih bušotina gdje je rezultat programa bio iskazan po svakom točki dubine kao vjerojatnost facijesa, slike 13. i 14.



Slika 13. Područje sjeverne Hrvatske na kojoj je primijenjena analiza



Slika 14. Finalni prikaz analize facijesa

Ova metoda i dobiveni rezultati prezentirani su na SPWLA - 32nd *Annual Logging Symposium*, June 16-19, 1991, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London

10. Zaključak

Ovim radom prikazan je razvoj informatike u kasnim godinama prošlog tisućljeća, s posebnim naglaskom na primjenu u Naftaplínu. Prednost Naftaplina bila je njegova orijentacija prema korištenju zapadnih tehnologija, i u opremi, a i u informatici. Rano prihvaćanje najnaprednijih tehnoloških rješenja omogućilo je Naftaplínu značajan napredak, ali i savladavanje brojnih prepreka koje su se pojavljivale na putu razvoja.

Učinkovitost primjene ovih metoda počivala je na velikom broju bušotina što je doprinijelo opsežnoj digitalnoj bazi podataka koja je sadržavala širok spektar podataka karotažnih dijagrama, kao i na snažnim radnim stanicama koje su omogućavale analizu tih podataka. Nadalje, ključan je bio i pristup rezultatima laboratorijskih analiza uzoraka jezgri koji su služili za usporedbu i kalibraciju podataka karotaže. Integrirani naponi geologa, naftnih inženjera i petrofizičara, stručnjaka za analizu karotažnih dijagrama, omogućili su dostizanje razine obrade i razumijevanja podzemlja koju je Naftaplin imao u to vrijeme, kao i danas.

Tih godina, Naftaplin je imao odlučujuću ulogu u energetici Hrvatske, osiguravajući gotovo potpunu opskrbu Hrvatske naftom i plinom, čime je znatno pridonio energetske neovisnosti zemlje.

Literatura (References)

Monografija INA Naftaplin 1952-2002

Monografija 25 GODINA INA INDUSTRIJA NAFTE ZAGREB
1964 - 1989

Atlas Wireline Services Documents: HORIZON.

Bigelow, E.L. 1988. *Reservoir Field Study: Purpose, Methodology and Results*. Transactions of the 11th European Formation Evaluation Symposium, Oslo.

Cizelj, I., Jančiković, B. 1985. i drugi: *Interpretacija rezultata karotažnih mjerenja u bušotinama istočne Slavonije*. DIT No. 15, 1985.

Jančiković, B., Vulama, I., Jungwirth, M. 1988. *New Concept of Deep Sediment of the Drava Depression on the Basis of Well Logging*. DIT No. 23 1988..

Oliveira, A. and J. Dufour. 1989. *Estimating Petrophysical Parameters from Probabalistic Database*. SAID Paris. 1989.

Serra, O. 1984. *Fundamentals of Well Log Interpretation 1: The acquisition of logging data*. Developments in Petroleum Science, 15A. Elsevier, Amsterdam.

Serra, O. 1986. *Fundamentals of Well Log Interpretation 2: The interpretation of logging data*. Developments in Petroleum Science, 15B. Elsevier, Amsterdam.

Serra, O. 1985. *Sedimentary Environments from Wireline Logs*. Schlumberger.

Stowe, I. and M. Hock. 1988. *Facies Analysis and Diagenesis from Well Logs in Zechstein Carbonates Of Northern Germany*. Transactions of the SPWLA 29th Annual Logging Symposium. Paper HH, 1988.

Schlumberger document: *Log Interpretation, Volume II - Applications*. 1974.

HISTORICAL DEVELOPMENT AND DEVELOPMENT OF COMPUTER SCIENCE IN WELL DATA PROCESSING

Abstract: The beginnings of organized oil exploration in Croatia date back to the mid-19th century. At that time, oil was extracted manually from natural oil sources in Peklenica near Mursko Središće, in Mikleuška near Kutina, and in Paklenica, Petrovo Selo and in Baćin Dol and near Nova Gradiška.

Naftaplin - was founded in 1952 by a decision of the then Government of the People's Republic of Croatia, by merging the following companies: Oil Production Gojlo, Oil Production Šumećani, Material Service of the Main Directorate for Oil of the People's Republic of Croatia, Zagreb and the Company for Logging, Zagreb.

INA - Oil Industry d.d. - a Croatian oil company headquartered in Zagreb was founded in 1963 under the name Oil and Gas Plant; it was created by merging the oil and gas exploration and production company Naftaplin (founded in 1952), the Rijeka Oil Refinery (founded in 1883) and the Sisak Oil Refinery (founded in 1927). In 1964, the company changed its name to INA – Oil Industry.

The beginning of the development of electronic data processing at INA dates back to 1967, when the first electronic computers were purchased and the ERC – Electronic Computing Center was established as part of the INA Institute. Computer processing of seismic data has been applied since 1968. At INA ERC, it was performed on a TIAC/TIDAR computer (Texas Instruments), with a memory capacity of 4K. The GSI computer software was used.

At the end of 1968, Logging interpretation began using the MONIT program on the same computer, to process numerical data measured in the well channel.

In further work, we intend to describe in more detail the historical development and contribution of informatics in the processing of geophysical well data, as well as two examples: the first is reservoir analysis with a reduced scope of geophysical measurements in wells, and the second is multidimensional analysis of rock facies, as independent development with the aim of improving final analyses and better understanding of the geological subsurface.

Keywords: logging, geophysical measurements, computer data

processing, software.

Zlatko Đurić, Božidar Jančiković

