

Usporedba analize jezgre i karotažnih dijagrama uporabom primjera s odabranoga mađarskoga plinskoga polja

K. Sári

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Svrha ove studije bila je izradba genetskih modela ležišta "sitnijega" mjerila usporedbom informacija na manjoj i srednjoj skali, a dobivenih analizama jezgara i dijagrama karotaže. Ispitano plinsko polje nalazi se u istočnom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava. Za numeričko rješenje korištene su statističke metode s jednom i više varijabli (univarijantne i multivarijantne) kako bi se opisale jedno- i višedimenzionalne sličnosti. Na kraju, multivarijantni identifikacijski model sažeo je informacije dobivene u različitim mjerilima. Uočena je korelacija između fizičkih svojstava stijene i oblika karotažnih dijagrama. Šupljikavost i propusnost ne ovise o obliku pojedinačnih karotažnih dijagrama već o najkarakterističnijim oblicima karotažnih dijagrama stijene koja je promatrana kroz odnosne elektro-facijese. Također, oscilacije dimenzija "ulaza šupljina" (tj. prostora na dodiru dvaju zrna, a koja povezuju veće susjedne šupljine) uzrokuju male promjene na karotažnom dijagramu. Predstavljeni model može se smatrati alatom za klasifikaciju novih informacija u skladu s utvrđenom "genetičkom" hijerarhijom (stijena).

Ključne riječi: geometematika, analize jezgre, karotažni dijagram

1. Uvod

Usporedba analizi jezgre i karotažnih dijagrama nije jednostavan problem. Za njegovo rješavanje je na ovdje odabranom mađarskom plinskom polju korištena neizravna metoda uz koje je napravljen detaljni genetski model uspoređivanjem analiza jezgara i dijagrama karotaže. Istraženo polje pripada društvu MOL Hungarian Oil and Gas Public Limited Company. Stoga je u ovom članku, kod iznošenja metoda i rezultata poštovano načelo povjerljivosti.

Polje se nalazi i istočnom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava tj. Makó-Hódmezővásárhely depresije (Slika 1.1). Polje se sastoji od nekoliko pojedinačnih dubokovodnih lepezastih taložnih tijela koje pripadaju formaciji Szolnok. Njezin razvoj vezan je za razdoblje postojanja Panonskog jezera.

Panonsko jezero je ostatak marinskog prostora Paratethysa koje se od oligocena postupno odvajalo od Tethysa. Panonski bazen sustav oblikovan je tektonskim sustavima koji su posljedica subdukcije. U ranom i srednjem miocenu bazen je bio povezan s paleo Mediteranom te tadašnjim Indopacifikom.⁵ U sarmatu te veze su prekinute te je Paratethys dezintegriran u nekoliko većih boćatih jezera. Jedno od njih bilo je Panonsko jezero. U takvom okolišu salinitet je bivao ekstremno mijenjan³, da bi na kraju regionalno opao do granica boćatog okoliša s vrijednostima 8-15%.⁷

U isto vrijeme izdizanje Alpi i Karpata stvorilo je veliku količinu sedimenata.⁵ Prema mineralogiji pješčenjaka u Panonskom bazenskom sustavu, kao izvorišno područje sedimenata dokazani su uglavnom metamorfiti Zapadnih Karpata i djelomično vulkanske stijene Unutarnjih Karpata.⁶

Taložni okoliš može se razvrstati prema morfologiji jezera.⁴ Prema seizmičkim sekcijama u Panonskom jezeru su postojala tri aktivna taložna paleookoliša na koja je veliki utjecaj imala i paleomorfologija. To su bili prostori: a) bazena, b) padine i c) šelfa. Bazen je obuhvaćao unutarnji dio jezera, gdje je spora jezerska pelagička sedimentacija samo povremeno bila "narušena" turbiditima. Na padini je krupnozrnati detritus mogao biti prenašani na veliku udaljenost i pri tomu čak erodirati podinu, ostavljajući tako samo sekvencije gline i silta, naknadno litificirane. Šelf i obalni dijelovi ispunjeni su lagunskim, močvarnim, plitko-morskim i riječnim sedimentima.⁴

Analizirani sedimenti litostratigrafski pripadaju gornjomiocenskoj formaciji Szolnok, taloženoj prije 8-12 milijuna godina. Ona sadrži sedimente taložene u turbiditnim sustavima te pelite mirnih razdoblja, koji su zajednički zapunjavali najdublje dijelove bazena. Distalni dio formacije bio je ispunjen uglavnom siltovima i glinama, a njezin proksimalni sitnozrnatim pijesokom koji je mogao biti odvojen kanalom ili režnjem. Najveća debljina formacije je 1 000 m, a omeđena je formacijama Endrőd i Algyő. Formacijama Endrőd je u podini, a sastoji se od hemipelagičkih marlita (lapornjaka). Formacija Algyő je uglavnom mlađa i taložena je na padini, ponekad i turbiditima (kao gravitacijskim tokovima). Danas ju čine glinoviti marliti i siltiti, a rjeđe pješčenjaci.²

2. Uporabljena mjerenja i metode

Uporabljeno je 37 bušotina s karotažnim dijagramima. Nadalje, analize jezgara su bile dostupne u 20 bušotina. Podatci (slika 2.1) uključuju šupljikavost, vodoravnu i

Tablica 3.1 Spearmanova korelacija dubine, šupljikavosti, prirodnog logaritma vodoravne i okomite propusnosti, intervala veličine "spojnih" šupljina, te njihove srednje vrijednosti, standardne devijacije i moda za pijeske. Osjenčane su značajne korelacije.

	dubina	šupljikavost	In vod. propusnosti	In okomite propusnosti	"spojne" šupljine 0-0,01 μm	"spojne" šupljine 0,01-0,025 μm	"spojne" šupljine 0,025-0,1 μm	"spojne" šupljine 0,1-0,25 μm	"spojne" šupljine 0,25-0,5 μm	"spojne" šupljine 0,5-1 μm	"spojne" šupljine 1-2,5 μm	"spojne" šupljine 2,5-5 μm	"spojne" šupljine 5-10 μm	sr.vrij. "spojne" šupljine	st.dev. "spojne" šupljine	mod st.dev. "spojne" šupljine
dubina	1	-0,25	-0,21	-0,16	0,15	0,19	0,24	0,11	0,1	0,03	-0,07	-0,13	0,08	-0,11	0,02	-0,16
šupljikavost		1	0,81	0,79	-0,71	-0,82	-0,8	-0,25	0	0,36	0,68	0,8	0,71	0,81	0,76	0,77
In vod. propusnosti			1	0,93	-0,7	-0,71	-0,71	-0,42	-0,14	0,21	0,6	0,8	0,73	0,8	0,78	0,75
In okomite prop.				1	-0,62	-0,65	-0,66	-0,32	-0,08	0,24	0,61	0,73	0,69	0,72	0,73	0,69
"spojne" šupljine 0-0,01 μm					1	0,74	0,65	0,2	0	-0,4	-0,7	-0,75	-0,58	-0,71	-0,64	-0,68
"spojne" šupljine 0,01-0,025 μm						1	0,83	0,28	0,05	-0,36	-0,69	-0,84	-0,7	-0,85	-0,75	-0,79
"spojne" šupljine 0,025-0,1 μm							1	0,37	0,02	-0,39	-0,67	-0,85	-0,76	-0,88	-0,8	-0,87
"spojne" šupljine 0,1-0,25 μm								1	0,34	0,21	-0,29	-0,46	-0,4	-0,42	-0,38	-0,37
"spojne" šupljine 0,25-0,5 μm									1	0,61	0,04	-0,19	-0,12	-0,16	-0,11	-0,12
"spojne" šupljine 0,5-1 μm										1	0,38	0,18	0,22	0,26	0,24	0,3
"spojne" šupljine 1-2,5 μm											1	0,64	0,66	0,65	0,65	0,64
"spojne" šupljine 2,5-5 μm												1	0,82	0,95	0,89	0,89
"spojne" šupljine 5-10 μm													1	0,9	0,97	0,84
st.dev. ulaza šupljina														1	0,95	0,95
st.dev. ulaza šupljina															1	0,89
st.dev. ulaza šupljina																1

okomitu propusnost te strukturu šupljina određenu živinim porozimetrom.

U skupu podataka uključena su mjerenja iz tri glavne vrste stijena: pješčenjaka, siltita i glinjaka. Ležišna "serija" se sastoji od 17 ležišta (ovdje područja uzorkovanja u pojedinačnom taložnom, tj. stijenskom tijelu) koje su neformalno nazvane, od vrha do dna, kao: 2/1, 2/2, 2/3, 3/1, 3/2, 3/3, 3/4, 4/1, 4/2, 5/1, 5/2, 5/3, 5/4, 5/5, 5/6t i 5/6a (slika 2.2). Glavna litologija je sitnozrnati pješčenjak, a takvi uzorci su međusobno razdvojeni glinovitim lapornjacima.

Na početku je analizirana šupljikavost i propusnost za svaku vrstu i uzorak stijene i to na način da su izračunati srednja vrijednost, interval pođanosti procjene srednje vrijednosti, medijan, standardna devijacija, razdioba, netipične i ekstremne vrijednosti te međusobno uspoređeni. Zbog asimetrične distribucije propusnosti ispitan je mogućnost transformacije uporabom prirodnog logaritma.

Analizom raspodjele veličine šupljina, korištenjem živinog porozimetra, utvrđeno je devet intervala veličine šupljina s približno jednakom frekvencijom na logaritamskoj skali. Analize su načinjene isključivo na pješčenjacima zbog malog broja uzoraka uzetih iz drugih litologija. Korelirana su te ispitana faktorskom i klusterskom analizom sljedeća svojstva za svaki pojedinačni uzorak: šupljikavost, vodoravna i okomita propusnost, srednja vrijednost, standardna devijacija i

mod raspodjele dimenzija šupljina. Također je izračunata frekvencija svih devet intervala različitih dimenzija šupljina. Dobiveni klasteri uspoređeni su sa stvarnim litološkim stupom i interpretirani.

Tako je uporabom oblika karotažnih dijagrama napravljen genetski model i istražene povezanosti između elektrofacijesa i analiza jezgara.

3. Rezultati

Šupljikavost, propusnost i raspodjela dimenzija "spojnih" šupljina analizirani su statističkim metodama za svaku vrstu i uzorak stijena. Obje varijable imaju asimetričnu razdiobu (slike 3.1 i 3.2).

Razdioba propusnosti siltova je asimetrična (slika 3.3.), kao i šupljikavost koja ima dva moda (slika 3.4.), što je rezultat toga što mjerenja dolaze iz dviju različitih skupina uzoraka stijena.

Razdioba raspodjele dimenzija "spojnih" šupljina siltova je također bimodalna (Slika 3.6.), ali se ne može objasniti uzorcima iz dvije različite mjerne skupine stijena.

Pijesci isto imaju bimodalnu šupljikavost i propusnost (slike 3.7 i 3.9). Mod također ocrta uzorke iz različitih stijenskih skupina, koje uglavnom imaju slične vrijednosti šupljikavosti i propusnosti (skupine stijenskih uzoraka oznaka 3/2, 5/2 i 5/3). Druge skupine imaju značajno širi interval pouzdanosti koji obuhvaća sve

vrijednosti u rasponu 25-75 % medijana (slike 3.8. i 3.10.).

Razdioba raspodjele veličine "spojnih" šupljina pješčenjaka ima dva moda (slika 3.11). Takva razdioba uspoređena u četiri skupine uzoraka izgleda slično u dvije od njih. Međutim, druge dvije obilježene su isključivo jednim modom (slika 3.12).

Spearmanova korelacija ranga izvedena je uporabom sljedećih varijabli: dubine, šupljikavosti, propusnosti, frekvencije intervala "spojnih" pora, srednje vrijednosti, standardne devijacije i moda "spojnih" pora. Opažene su sljedeće veze (tablica 3.1):

- Pozitivna povezanost između šupljikavosti, propusnosti, srednje veličine "spojnih" šupljina, standardne devijacije i moda;
- Pozitivna povezanost između tih veličina i velikih dimenzija "spojnih" šupljina;
- Negativna povezanost između tih veličina i malih dimenzija "spojnih" šupljina;
- Negativna povezanost između velikih i malih dimenzija "spojnih" šupljina;
- Pozitivna povezanost između dimenzija susjednih "spojnih" šupljina.

Dubina i srednja veličina "spojnih" šupljina nemaju značajnu povezanost.

Iste povezanosti su uočene kod faktorske analize (Tablica 3.2). Prvi faktor čine šupljikavost, propusnost, srednja veličina "spojnih" šupljina, standardna devijacija, mod, te male i velike "spojne" šupljine. Drugi faktor čine srednje i male "spojne" šupljina.

Tablica 3.2. Faktorska analiza pijesaka. Osjenčane su varijable koje određuju odabrani faktor. Legenda: skr. expl. var. znači iznos objašnjene varijance, a prp. totl. postotak ukupno objašnjene varijance.

	faktor 1	faktor 2
dubina	0,146	-0,033
šupljikavost	-0,885	0,073
ln vod. prop.	-0,818	-0,248
ln okom. prop.	-0,778	-0,161
"spojna" šupljina 0-0,01 μm	0,668	-0,567
"spojna" šupljina 0,01-0,025 μm	0,796	-0,56
"spojna" šupljina 0,025-0,1 μm	0,758	-0,129
"spojna" šupljina 0,1-0,25 μm	0,385	0,424
"spojna" šupljina 0,25-0,5 μm	0,216	0,558
"spojna" šupljina 0,5-1 μm	-0,01	0,595
"spojna" šupljina 1-2,5 μm	-0,69	-0,017
"spojna" šupljina 2,5-5 μm	-0,861	-0,289
"spojna" šupljina 5-10 μm	-0,73	-0,286
sr. vrij."spojne" šupljine	-0,949	-0,222
st. dev."spojnih" šupljina	-0,93	-0,179
mod "spojnih" šupljina	-0,876	-0,237
expl. var.	8,218	1,893
prp. totl.	0,514	0,118

Klastera analiza rezultirala je s četiri klastera i dva odvojena uzorka (slika 3.13). Elementi klastera A i B se mogu zajednički prepoznati u uzrocima stijena iz nekoliko bušotina. Oba su obilježena velikom šupljikavošću i propusnošću. Klasteri C i D su prepoznati u po samo jednom stijenskom uzorku. Klaster C ima "srednju", a onaj D najmanju šupljikavost i propusnost. (slike 3.14 i 3.15)

"Genetski model" je napravljen na osnovu oblika karotažnog dijagrama tipičnoga za svako izdvojeno stijensko (taložno) tijelo, tj. ležište, te svaku bušotinu. Najčešći su uočeni oblici zvona, cilindra, lijevka i nazubljeni. Budući da je analizirano polje obilježeno dubokovodnih taložinama lepeznog tipa, oblik zvona je protumačen kao onaj koji ukazuje na taložine iz glavnog turbiditnog kanala. Nadalje, cilindričan oblik ukazao je na anastomozni kanal, tj. okoliš prepletenih rijeka, a oblik lijevka na lobove. Nazubljeni karotažni dijagram interpretiran je kao izmjena sitnozrnatih turbiditnih i pelagičkih taložina.

Oblici karotažnog dijagrama analizirani su za svaki stijenski interval. Npr. na slici 3.16 prikazan je postojeći sustav prepletenih kanala i lobova. U Tablici 3.3 dan je sažetak pregled najkarakterističnijih taložnih okoliša, odnosno mehanizama za svaki analizirani stijenski interval, tj. taložno tijelo. Pri tomu se najintenzivnije taloženje događalo u vrijeme nastanka takvih tijela u sredini cijele ležišne "serije".

4. Rasprava

Uspoređujući različite analize spoznato je sljedeće. U slučaju siltita bimodalna raspodjela veličine "spojnih" šupljina može se objasniti iz karotažnih dijagrama, posebno onih snimljenih u debljim intervalima, jer je tamo ostvarena fizička nužnost za "razvoj" jasne krivulje

Tablica 3.3. Dominirajući taložni okoliši i mehanizmi interpretirani iz elektrofacijesa analiziranih stijenskih intervala

Stijena	Interpretirani taložni okoliši i mehanizmi na temelju elektrofacijesa
2/1	distalni turbiditi
2/2	distalni turbiditi
2/3	distalni turbiditi
3/1	kanalni i distalni turbiditi
3/2	anastomozni kanali
3/3	režanj
3/4	kanali
4/1	anastomozni kanali
4/2	distalni turbiditi i lobovi
5/1	anastomozni kanali
5/2	anastomozni kanali
5/3	priključak
5/4	kanali i lobovi
5/5	kanali
5/6t	distalni turbiditi
5/6a	distalni turbiditi

karotažnog dijagrama. Naravno, manji promjeri "spojnih" šupljina označuju sitno zrnatiye, a veći krupno zrnatiye taložine (slika 4.1).

Kod pješčenjaka, pojedinačni uzorci iskazali su bimodalnost što je posljedica njihove građe iz detritusa različite veličine zrna te sitnozrnatih proslojaka (Foto 4.1).

Klasteri A i B su vrlo slični s obzirom na njihovu šupljikavost, propusnost i položaj koji obuhvaćaju u litološkom stupu. Jedina razlika je u dimenzijama "spojnih" šupljina, tj. u klasteru A veći promjeri su češći negoli u B (slika 4.2). Prema karotažnim dijagramima, A ima veći sadržaj zrna veličine pijeska (psamita) nego B, tj. to su krpuno zrnatiyi pješčenjaci (slika 4.3).

Usporedba klastera i oblika karotažnih dijagrama bila je teška s obzirom na činjenicu da nisu postojale analize jezgara iz stijenskih intervala koji su na karotaži bili obilježeni ljevkastih ili nazupčanim krivuljama, odnosno bili su dostupni samo dijagrami iz okoliša taložnih kanala.

U prvom faktoru postoji negativna veza između najvećih i najmanjih promjera "spojnih" šupljina (vidi tablicu 3.1). Takva se veza može uočiti u klasterima A, B i C (slika 4.4). Drugi faktor također sadržava najmanje i srednje veličine promjera "spojnih" šupljina, a negativna veza između te dvije skupine uočena je u klasteru D (slika 4.4), gdje su "srednji" promjeri "spojnih" šupljina najveći.

Analizirajući šupljikavost i propusnost pješčenjaka u 3 stijenska intervala (3/2, 5/2 i 5/3) uočeno je kako su oni vrlo slični (vidi slike 3.8 i 3.10). S obzirom na njihove karotažne oblike, oni su uglavnom cilindrični i ljevkasti (vidi slike 4.5 i 4.6) te kontinuirano ukazuju na veliki sadržaj pijeska, visoku šupljikavost i propusnost s malom standardnom devijacijom.

Druge dva promatrana stijenska intervala također iskazuju sličnost. Tu su najčešći oblici karotažnih dijagrama zvonasti i cilindrični (slika 4.7 i 4.8). Oblik zvona na karotažnom dijagramu ukazuje na smanjenje veličine zrna što uzrokuje vrlo "široke" intervale oko medijana (vidi slike 3.8 i 3.10).

5. Zaključci

1. Postoji samo nekoliko uzoraka glinjaka i silita, jer se stijenski intervali (ležišta) sastoje dominantno od pješčenjaka. Za interpretaciju tih vrsta stijena potrebno je stoga više podataka.
2. Šupljikavost i propusnost analiziranih pješčenjaka imaju bimodalne osobine. Bimodalnost je uzrokovana grupiranjem stijenskih intervala sa sličnim elektrofacijesima, tj. stijena taloženih turbiditnim strujama u raznim paleookolišima na dnu bazena.
3. Fizička svojstva stijena ne ovise o pojedinačnim karotažnim oblicima, no mogu se interpretirati iz njihovih tipskih oblika, tj. dominantnih elektrofacijesa za određeni stijenski interval.
4. Stijenski interval u kojima je dominantan zvonasti i nazubljeni oblik imaju manju šupljikavost i propusnost nego stijenski intervali gdje prevladavaju oblici cilindra i ljevka. To je rezultat niže energije

transporta a time taloženja sitnijega detritusa taloženog uglavnom u distalnim lobovima ili prepletenim kanalima.

5. Male promjene na karotažnim dijagramima obično znače promjene u rasporedu veličine "spojnih" šupljina, ali ne i litologije općenito.
6. Postoje 4 klastera izdvojena u pješčenjacima, ali oni su opisani samo u prostoru kanala, jer za ostala taložna područja nije postojala dovoljno uzoraka te nije bilo moguće izdvojiti tipične elektrofacijese kao osnovu za statističke i taložne analize.

Zahvala

Željela bih zahvaliti mojem mentoru prof. dr. sc. János Geigeru sa Sveučilišta u Segedu, kao i tvrtki MOL iz koje sam dobila dopuštenje uporabe podataka za prikazano istraživanje.



Katalin Sári, University of Szeged, Department of Geology and Palaeontology, 6722 Szeged, Egyetem utca 2-6., MSc student, email: sarakatalin87@gmail.com

UDK : 550.8 : 553.982 : 551.4 : 519.2 (439)

550.8	geološka istraživanja
553.982	ležišta nafte i plina, plinsko polje
551.4	karotaže, dijagrami
519.2	statističke metode
(439)	R. Mađarska