

**ZASTOSOWANIE
WIELOWYMIAROWYCH METOD STATYSTYCZNYCH
W GEOLOGICZNEJ INTERPRETACJI
PROFILOWAŃ GEOFIZYKI OTWOROWEJ
DLA MIOCENSKICH UTWORÓW Z REJONU ZŁOŻA KSIĘŻPOL**

**Application of statistical methods to geological interpretation
of well logs of the Miocene formation in the area of Książpol gas field**

Monika KAŻMIERCZUK & Jadwiga JARZYNA

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geofizyki;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: kazmierczuk@geol.agh.edu.pl, jarzyna@uci.agh.edu.pl*

Abstract: The Miocene formation in the area of Książpol gas field is built of very thin sandy-shaly layers. Log data from wells Książpol 11 and Książpol 17 were processed with statistical methods. Principal Component Analysis was used for grouping and specifying well log data. Clustering, discrimination and classification are statistical tools facilitating data arrangement and preliminary data grouping according to natural petrophysical features of analysed rocks.

Key words: Carpathian Foredeep, gas deposits, statistical methods

Słowa kluczowe: zapadlisko przedkarpackie, złoża gazu ziemnego, metody statystyczne

CHARAKTERYSTYKA DANYCH GEOFIZYKI OTWOROWEJ

Przedmiotem analizy były profilowania geofizyki otworowej wykonane w dwóch otworach odwierconych na złożu gazu ziemnego Książpol z rejonu zapadliska przedkarpackiego. Zbiór danych zawierał profilowania radiometryczne, akustyczne, średnicy otworu i elektryczne (Dokumentacja otworów Książpol 11 i Książpol 17) (Fig. 1). Profilowania radiometryczne objęły: naturalną promieniotwórczość (skorygowaną na wpływ otworu wiertniczego) – GRC (API), porowatość neutronową – NPHI (%), gęstość objętościową – RHOB (g/cm^3). Do analiz statystycznych włączono profilowanie czasu interwałowego DT ($\mu\text{s}/\text{m}$) oraz zmienną DCAL, która stanowi różnicę pomiędzy pomierzoną średnicą otworu wiertniczego (CALI) a średnicą nominalną (BSM). Zbiór danych obejmował również profilowania: potencjałów polaryzacji naturalnej – SP (mv) oraz elektrycznej oporności właściwej wykonane sondami LL3, EL28,

EL14, E64N, E16N. W otworze K17 dodatkowo dostępne były profilowania oporności wykonane sondą HRAI o podwyższonej pionowej rozdzielczości i radialnym zasięgu badania (Fig. 1).

Wyniki analiz statystycznych, przeprowadzonych dla wymienionych profilowań, porównano z wynikami kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej, czyli ze współczynnikiem porowatości ogólnej – PHI, objętością substancji piaszczystej – VSA i ilastej – VSH, współczynnikiem nasycenia wodą – SW oraz współczynnikiem przepuszczalności – K (mD). Ze względu na duży przedział zmienności parametru K posłużono się dziesiętnym logarytmem współczynnika przepuszczalności – Log K. Analizy statystyczne przeprowadzono dla interwałów głębokościowych (210.0÷891.0 m w otworze K11 i 215.0÷909.0 m w otworze K17) obejmujących cienko warstwowane utwory sarmatu.

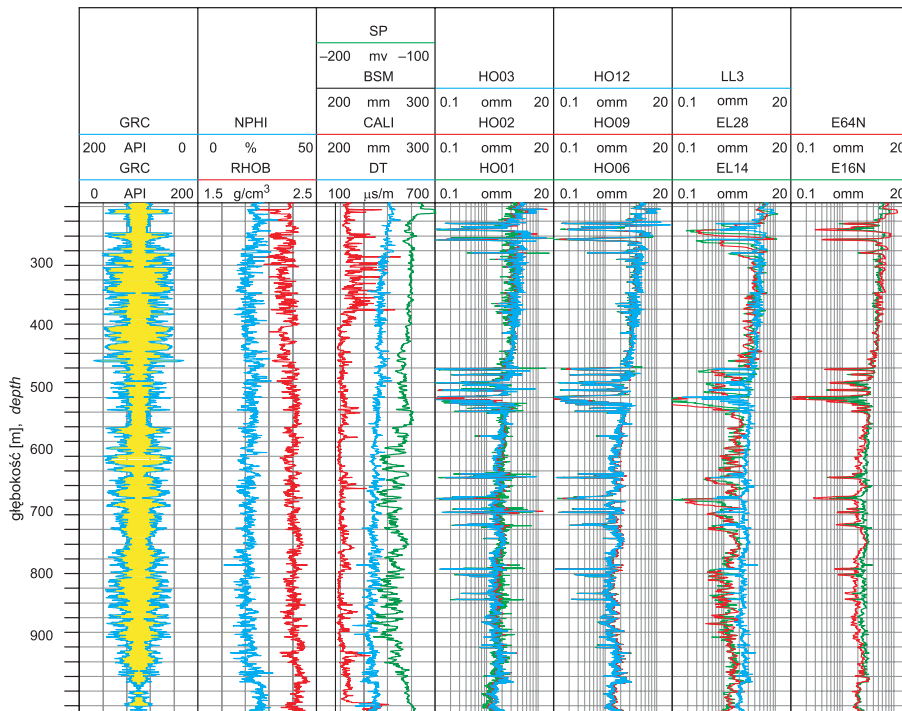


Fig. 1. Profilowania geofizyki otworowej wykonane w utworach sarmatu w otworze K17 w interwale 215.0÷909.0 m

Fig. 1. Well logs for Sarmitian rocks from K 17 well for 215.0÷909.0 m depth interval

Podstawowe statystyki opisowe (średnia, mediana, wartości minimalne i maksymalne oraz odchylenie standardowe) obliczone dla wyników kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej wskazują, że oba analizowane utwory przewiercają ośrodek ilowcowo-piaszkowcowy (Tab. 1), przy czym w skałach dominuje składnik ilasty. Średnie i mediany, a także zakres wartości minimalnych i maksymalnych dla zmiennej VSA przyjmują mniejsze wartości niż dla zmiennej VSH.

Tabela (Table) 1

Podstawowe statystyki dla wyników interpretacji w otworach K11 i K17

The basic statistics for porosity-lithology solution for K11 and K17 wells

Liczba danych <i>Number of observations</i>		Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>	Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>
Książpol-11						
VSA	6811	0.34	0.34	0.08	0.61	0.063
VSH		0.58	0.58	0.23	0.92	0.101
PHI		0.08	0.05	0.00	0.33	0.077
SW		0.97	1.00	0.52	1.00	0.063
K		1.59*	1.08	0.01	1 460.81	141.761
Książpol-17						
VSA	6941	0.39	0.37	0.00	0.72	0.126
VSH		0.49	0.51	0.00	1.00	0.194
PHI		0.12	0.12	0.00	0.34	0.073
SW	6776	0.92	0.94	0.61	1.00	0.079
K	6941	4.04*	8.02	0.00	1 550.38	121.044

* średnia geometryczna, wartości VSA, VSH, PHI oraz SW wyrażono w ułamkach dziesiętnych, K [mD]

* *geometric mean, values of VSA, VSH, PHI and SW are in decimals, K [mD]*

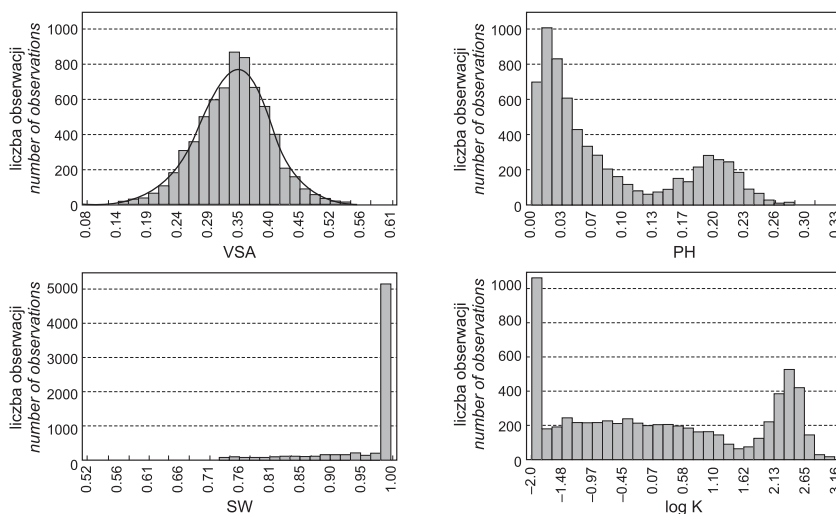


Fig. 2. Histogramy wyników kompleksowej interpretacji profiliowań geofizyki otworowej w otworze K11

Fig. 2. The histograms of the results of lithology-porosity solution for K11 well

Wykonano histogramy dla wybranych zmiennych w otworze K11 (Fig. 2) i K17 (Fig. 3).

W otworze K11 objętość substancji piaszczystej ma rozkład normalny. Pod względem wartości współczynnika porowatości ogólnej ośrodek skalny jest dwudzielny, o czym świadczą bimodalny histogram dla zmiennej PHI. Dominują skały o współczynniku porowatości

ogólnej mniejszym od 0.13. Obserwuje się również zróżnicowanie ośrodka skalnego pod względem współczynnika przepuszczalności. Na figurze 2 przedstawiono histogram dla logarytmu dziesiętnego ze współczynnika przepuszczalności (Log K). W lewej części histogramu widoczny jest „pik” liczący ponad 1000 obserwacji z 6811 danych. Mieszczą się tam dane pochodzące z poziomów nieprzepuszczalnych. Zwiększona liczba obserwacji lokuje się wokół mody Log K o wartości 2.3. Histogram dla współczynnika nasycenia wodą pokazuje, że utwory w otworze K11 są głównie nasycone wodą. Świadczą o tym statystyki opisowe z tabeli 1, jak i wyraźny pik na histogramie SW. Ponad 5000 obserwacji znalazło się w przedziale 0.98÷1.

Dla utworów z otworu K17 zawartość substancji piaszczystej, VSA, oraz porowatość ogólna, PHI, odbiegają od rozkładu normalnego (Fig. 3). Obserwuje się większy odsetek obserwacji o wyższej przepuszczalności niż w otworze K11. W tym otworze także dominującym medium nasycającym skały jest woda. Na histogramie SW zaznacza się wyraźny „pik” dla wartości SW z przedziału 0.99÷1. Przedział ten zawiera ponad 2000 obserwacji.

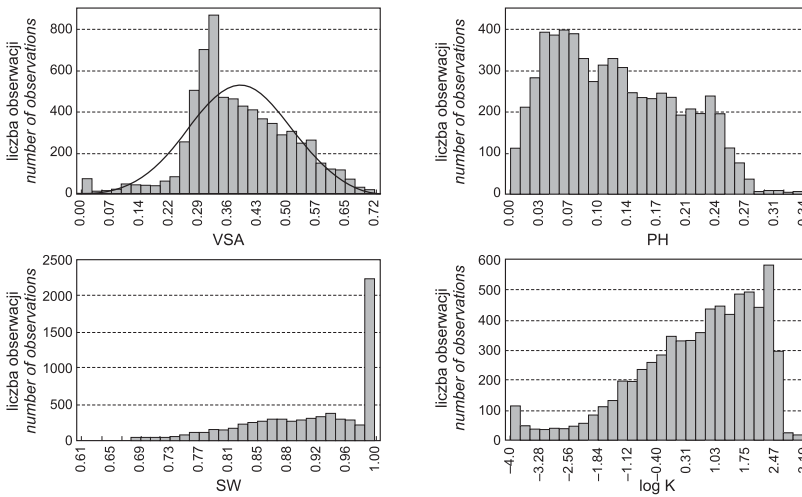


Fig. 3. Histogramy wyników kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej w otworze K17

Fig. 3. The histograms of results of lithology-porosity solution for K17 well

WYNIKI ANALIZ STATYSTYCZNYCH

Analiza głównych składowych

Profilowania geofizyki otworowej dostarczają wielowymiarowego obrazu ośrodka skalnego. Informacja geologiczna, jaką niosą różne profilowania, może się w nich powtarzać. Dlatego, aby uporządkować tę informację i zredukować wymiar zagadnienia stosuje się analizę głównych składowych (Moss & Seheult 1987, Kaźmierczuk & Jarzyna 2006). Zmniejszenie wymiaru polega na zastąpieniu kilkunastu profilowań geofizyki otworowej kilkoma składowymi głównymi (Principal Components – PC), które stanowią kombinacje liniowe wejściowych profilowań. Aby wyniki różnych profilowań mogły być ze sobą porównywane, przed przystą-

pieniem do analiz profilowania geofizyki otworowej zostały poddane standaryzacji, tak by ich wartości średnie były równe zeru, a wariancja równa jedności. Redukcja wymiaru odbywa się w sposób kontrolowany przy zastosowaniu odpowiednich kryteriów (Dobosz 2004). Miara zmienności wyjaśnianej przez poszczególne składowe są odpowiednie wariancje. O budowie składowych głównych świadczą ładunki czynnikowe, czyli współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi składowymi a profilowaniami.

Początkowa liczba zmiennych – profilowań w obu otworach wynosiła po kilkanaście. W otworze Księżpol-11 do analiz włączono 11 profilowań, a w otworze Księżpol-17 – 17. Na podstawie tych profilowań wymiar zredukowano do trzech głównych składowych. Zmienność wyjaśniana przez trzy składowe główne w obu otworach jest podobna. W otworze K11 sięga około 75%, a w otworze K17 około 72%.

W tabeli 2 przedstawiono budowę głównych składowych wyróżnionych dla dwóch analizowanych otworów. Pierwsza główna składowa (PC1) w otworze K11 zbudowana jest z gradientowych i potencjałowych profilowań oporności pozornej. Dla tych profilowań ładunki czynnikowe przyjmują największe wartości. Drugą składową (PC2) tworzą profilowania naturalnej promieniotwórczości, porowatości neutronowej oraz DCAL. Z trzecią składową najsilniej skorelowane jest profilowanie potencjałów polaryzacji naturalnej. Profilowania gęstości objętościowej i czasu interwałowego nie odgrywają decydującej roli w budowie żadnej z głównych składowych. Niemniej jednak udział profilowania RHOB jest podwyższony w pierwszej i drugiej głównej składowej. Dla RHOB ładunek czynnikowy w PC1 wynosi -0.52 , a dla PC2 przyjmuje wartość 0.56 . Z kolei profilowanie DT ma podwyższony ładunek czynnikowy dla PC3.

Tabela (Table) 2

Ładunki czynnikowe dla głównych składowych
Factor loadings for principal components

	K 11			K17		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
GR	-0.32	0.84	0.23	-0.28	0.83	-0.40
NPHI	0.06	0.74	0.33	-0.15	0.89	0.08
RHOB	-0.52	0.56	-0.10	-0.32	0.32	-0.79
SP	0.15	0.05	0.86	0.56	0.68	0.23
DT	0.35	0.20	0.60	0.37	0.47	0.64
EL14	0.83	0.14	0.23	0.56	0.31	0.60
EL28	0.74	0.20	0.28	0.49	0.34	0.60
E16N	0.93	-0.14	0.13	0.90	-0.00	0.38
E64N	0.94	-0.10	0.10	0.87	0.08	0.41
LL3	0.94	-0.11	0.13	0.91	0.01	0.35
HO01				0.69	-0.15	0.24
HO02				0.91	0.03	0.22
HO03				0.92	0.08	0.24
HO06				0.94	0.10	0.25
HO09				0.93	0.11	0.24
HO12				0.90	0.11	0.23
DCAL	0.27	0.78	-0.09	0.29	0.43	0.20

W otworze K17 składowe główne mają podobną budowę jak w otworze K11. Najbardziej istotne w pierwszej składowej okazały się profilowania elektrometrii wiertniczej, głównie potencjałowe profilowania oporności i profilowania wykonane sondą indukcyjną o podwyższonej pionowej rozdzielczości i radialnym zasięgu badania (Tab. 2). Jedynie pomiar HO01 charakteryzujący się najmniejszym radialnym zasięgiem badania (równym 10 cali) ma ładunek mniejszy od 0.7. Takie zachowanie się zmiennej HO01 tłumaczy się faktem, iż dostarcza ona informacji o ośrodku skalnym ze strefy przemycnej w przeciwieństwie do pozostałych profilowań wykonanych sondą HRAI sięgających znacznie dalej od osi otworu wiertniczego. Druga główna składowa (PC2) zbudowana jest głównie z profilowań porowatości neutronowej i naturalnej promieniotwórczości. Duży wpływ na budowę tej składowej ma również profilowanie SP. Trzecią główną składową tworzy głównie profilowanie RHOB (ładunek równy -0.79).

Analiza skupień

Celem przeprowadzonej analizy skupień jest podział zbioru danych na grupy różniące się litologią i nasyceniem. Podział danych odbywa się tak, aby obserwacje w obrębie grupy były do siebie jak najbardziej podobne i jednocześnie, aby jak najbardziej różniły się od pozostałych grup pod względem przyjętych kryteriów. Spośród różnych metod grupowania wybrano metodę Warda, która wykorzystuje wariancję w zbiorze danych, tzn. dąży do minimalizacji sumy kwadratów odchyłań dowolnych skupień, które mogą zostać uformowane na każdym etapie grupowania (Ward 1963). Kolejne kroki analizy skupień można przedstawić na wykresie drzewkowym (dendrogramie) (Fig. 4).

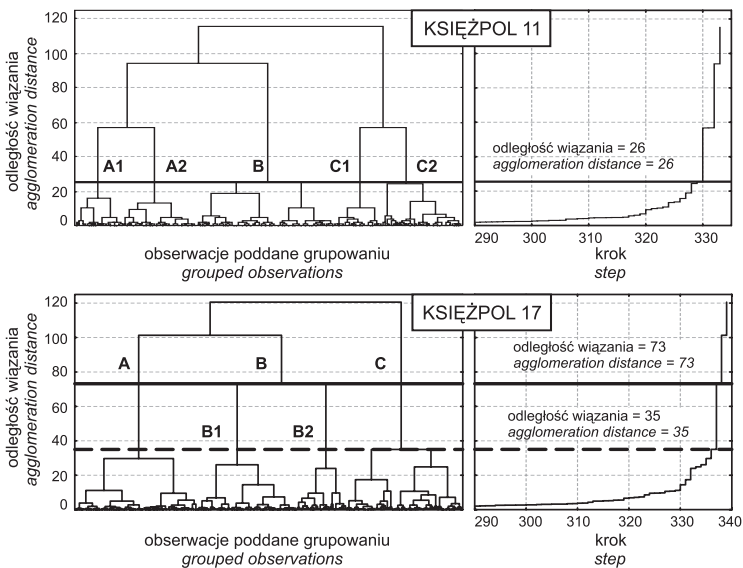


Fig. 4. Wykres drzewkowy wraz z wykresem przebiegu aglomeracji dla otworów dla głównych składowych dla otworów K11 i K17

Fig. 4. The dendrograms with the agglomeration distance plots for principal components in the K11 and K17 wells

Na jednej osi rozmieszczone są elementy poddane aglomeracji, na drugiej zaś podaje się odległość aglomeracyjną, w tym przypadku odległość euklidesową pomiędzy tworzonymi skupieniami. Na figurze 4, obok wykresu drzewkowego, przedstawiono również wykres przebiegu aglomeracji, pomocny przy ustalaniu optymalnego poziomu odcięcia wykresu drzewkowego. Oś pozioma opisuje kolejne etapy grupowania, a pionowa podaje odległość wiązania. W idealnej sytuacji optymalny poziom odcięcia wyznacza się w miejscu nagłego wzrostu odległości wiązania. Jako zmienne w analizie skupień wykorzystano główne składowe wyróżnione na podstawie profilowań geofizyki otworowej (Kaźmierczuk & Jarzyna 2006).

W otworach K11 i K17 analizę skupień przeprowadzono dla głównych składowych dla pełnego profilu utworów sarmatu. Ze względu na dużą ilość głębokościowych punktów pomiarowych (6811 w otworze K11 i 6941 w otworze K17) wylosowano odpowiednio po 334 i 340 dane, i dla nich przeprowadzono obliczenia. Wylosowane próby okazały się reprezentatywne. Optymalny poziom odcięcia dendrogramu wybrano w oparciu o wykresy przebiegu aglomeracji (Fig. 4). W otworze K11 wyłoniło się pięć grup, które oznaczono jako A1, A2, B, C1 i C2. Liczbę danych zakwalifikowanych do poszczególnych grup przedstawiono w tabeli 3.

Tabela (Table) 3

Statystyki opisowe dla wyników interpretacji w otworze K11

Basic statistics for lithology-porosity solution in K11 well

	Liczba danych <i>Number of data</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>	Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>
A1						
VSA	43	0.31	0.32	0.16	0.43	0.068
PHI		0.02	0.02	0.00	0.07	0.019
SW		0.97	1.00	0.84	1.00	0.050
K		0.04*	0.02	0.01	3.31	0.630
A2						
VSA	62	0.34	0.35	0.21	0.54	0.068
PHI		0.16	0.17	0.04	0.28	0.061
SW		0.92	0.94	0.69	1.00	0.086
K		67.59*	148.21	0.26	781.09	174.884
B						
VSA	119	0.34	0.35	0.20	0.44	0.049
PHI		0.06	0.04	0.00	0.21	0.053
SW		0.97	1.00	0.74	1.00	0.063
K		0.79*	0.87	0.01	330.11	58.165
C1						
VSA	42	0.37	0.37	0.24	0.56	0.079
PHI		0.20	0.20	0.14	0.28	0.030
SW		1.00	1.00	1.00	1.00	0.000
K		226.61*	235.98	59.09	990.54	179.540
C2						
VSA	68	0.32	0.32	0.22	0.44	0.048
PHI		0.05	0.03	0.01	0.26	0.060
SW		1.00	1.00	1.00	1.00	0.000
K		0.30*	0.21	0.01	659.82	113.977

* średnia geometryczna, *geometric mean*

Aby sprawdzić, czy wyłonione grupy różnicują ośrodek skalny pod względem litologii i nasycenia, porównano je z wynikami kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej. Dla zawartości składnika piaszczystego (VSA), współczynnika porowatości ogólnej (PHI), przepuszczalności (K) i nasycenia wodą (SW) obliczono podstawowe statystyki opisowe: średnią, medianę i odchylenie standardowe (Tab. 3). Podano również wartości minimalne i maksymalne analizowanych wielkości.

Aby sprawdzić, czy grupy istotnie różnią się wykształceniem litologicznym i nasyceniem, dla wyników kompleksowej interpretacji wykonano nieparametryczny test mediany (Fig. 5).

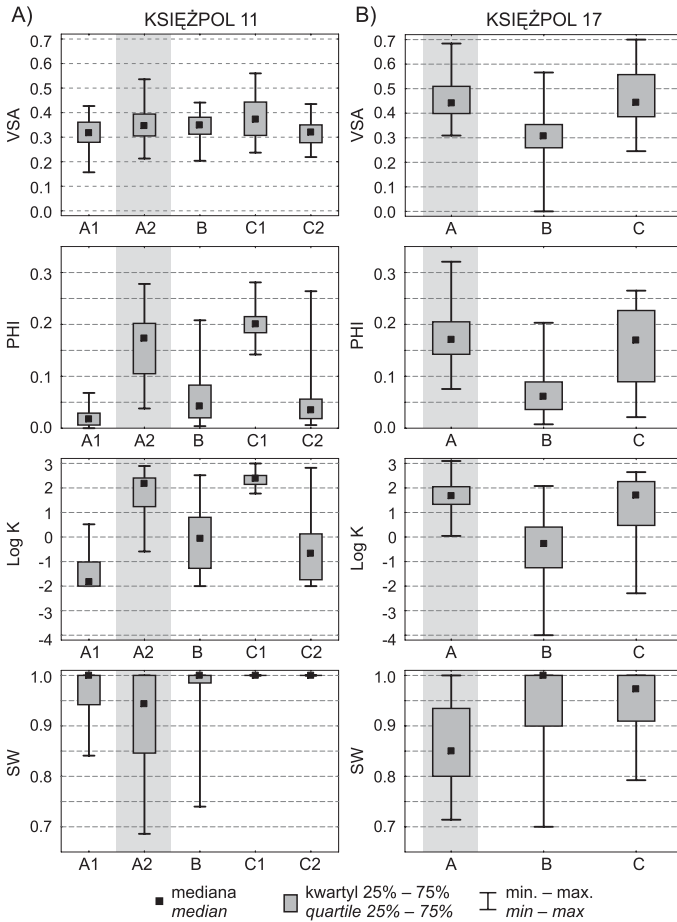


Fig. 5. Wykresy ramka-wąsy dla VSA, PHI, SW, Log K w otworach K11 i K17

Fig. 5. Box and whisker plots for VSA, PHI, SW, Log K for K11 and 17 wells

Wykresy typu ramka-wąsy ilustrują położenie mediany oraz wielkość przedziałów zmienności. Zaznaczono na nich medianę i kwartyle rzędu 25 i 75%. Wszystkie grupy charakteryzują się podobnym wykształceniem litologicznym, o czym świadczą podstawowe staty-

styki dla VSA. Również histogram dla zmiennej VSA sugerował, że grupy wyłonione w analizie skupień nie będą różnić się pod względem litologii. Na uwagę zasługują skupienia, które zostały oznaczone jako A2 i C1. Spośród pozostałych grup wyróżniają się podwyższoną porowatością i przepuszczalnością, z tym, że przedział kwartyli rzędu 25% i 75% dla PHI i Log K dla grupy C1 jest bardziej zawężony. Obserwacje w grupie A2 przyjmują mniejsze nasycenia wodą, niemniej jednak SW i tak jest wysokie.

Wszystkie grupy w otworze K11 mają charakter iłowcowo-piaskowcowy. Na podstawie parametrów tabeli 3 i figury 5a wyłonione grupy można nazwać:

A1, B, C2 – grupy iłowcowo-piaskowcowe o obniżonej porowatości i przepuszczalności nasycone wodą,

A2 – grupa iłowcowo-piaskowcowa o podwyższonej porowatości i przepuszczalności nasycona wodą i gazem,

C1 – grupa iłowcowo-piaskowcowa o podwyższonej porowatości i przepuszczalności nasycona wodą.

Z punktu widzenia geofizyki poszukiwawczej interesująca jest grupa A2.

W otworze K17 optymalny poziom odcięcia dendrogramu sugerował podział zbioru danych na cztery grupy (Fig. 4). Jednak wyniki rozwiązania porowatościowo-litologicznego w grupach B1 i B2 nie wykazały istotnych różnic pomiędzy tymi grupami. Z tego względu dla otworu K17 przecięcie dendrogramu w odległości wiązania równej 73 jest lepszym rozwiązaniem. Wyłonione grupy oznaczono literami A, B i C. Liczbę danych zakwalifikowanych do poszczególnych grup przedstawiono w tabeli 4. Umieszczono tam również podstawowe statystyki opisowe do wyników kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej.

Tabela (Table) 4

Statystyki opisowe dla wyników interpretacji w otworze K17

Basic statistics for lithology-porosity solution in K17 well

	Liczba danych <i>Number of data</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>	Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>
A						
VSA	107	0.45	0.44	0.31	0.68	0.079
PHI		0.18	0.17	0.08	0.32	0.052
SW	104	0.87	0.85	0.71	1.00	0.079
K	107	45.53*	47.40	1.11	1 252.85	190.728
B						
VSA	131	0.30	0.31	0.00	0.57	0.092
PHI		0.07	0.06	0.01	0.20	0.040
SW	127	0.95	1.00	0.70	1.00	0.067
K	131	0.25*	0.54	0.00	119.93	12.868
C						
VSA	102	0.47	0.44	0.25	0.70	0.124
PHI		0.16	0.17	0.02	0.27	0.072
SW		0.95	0.97	0.79	1.00	0.060
K		20.00*	50.69	0.01	441.52	116.429

* średnia geometryczna, *geometric mean*

Na podstawie wartości statystyk opisowych oraz wykresów ramka – wąsy dla wyników interpretacji (Tab. 4, Fig. 5B) można stwierdzić, że grupy A i C są podobne pod względem wykształcenia litologicznego. Wyróżniają się tą cechą od danych z grupy B, w której zawartość składnika piaszczystego jest mniejsza. Podobne zachowanie się danych w grupach obserwuje się dla współczynnika porowatości ogólnej i dziesiątego logarytmu przepuszczalności. Można zatem stwierdzić, że grupę A tworzą obserwacje pochodzące z poziomów piaskowcowo-iłowcowych, o podwyższonej porowatości i przepuszczalności oraz nasycone wodą i gazem. Dane z grupy B to twory iłowcowo-piaskowcowe o obniżonej porowatości i przepuszczalności nasycone wodą. Grupę C utworzyły obserwacje piaskowcowo-iłowcowe o podwyższonej porowatości i przepuszczalności nasycone wodą. Należy zaznaczyć, że dla geofizyki poszukiwawczej najbardziej istotne są dane z grupy A.

Analiza dyskryminacyjna

Analiza dyskryminacyjna spełnia dwa zadania. Po pierwsze służy do wyznaczenia zmiennych najlepiej różnicujących poszczególne typy litologiczne, czy zróżnicowane nasycenie w skałach zbiornikowych. Drugim jej zadaniem jest klasyfikacja wyników pomiarów geofizycznych, do grup określających poszczególne typy litologiczne. Klasyfikacja ta odbywa się dzięki wcześniej wyznaczonym funkcjom klasyfikacyjnym. Jej podstawę stanowi zróżnicowanie w wartościach średnich zmiennych dla każdego typu litologicznego.

W obu analizowanych otworach z rejonu złoża Książpol zmiennymi wykorzystanymi w analizie dyskryminacyjnej były składowe główne. Wykorzystano również grupy wyłonione metodą Warda. W obu otworach zbiory danych użytych w analizie skupień losowo podzielono na dwa podzbiory: zbiór treningowy oraz zbiór testowy. Liczność zbiorów danych treningowych i testowych ustalono w stosunku 3:1. Treningowy zbiór danych wykorzystano do wyznaczenia funkcji dyskryminacyjnych, a poprawność przeprowadzonej analizy sprawdzono na zbiorze testowym. Dla danych z otworu K11 otrzymano trzy istotne funkcje dyskryminacyjne. Na pierwszą funkcję dyskryminacyjną (Pierw1) przypada 55% całej mocy dyskryminacyjnej (Tab. 5). Najmocniej waży w niej pierwsza główna składowa. W drugiej funkcji dyskryminacyjnej o mocy 25% dużą wagę ma PC2.

Tabela (Table) 5

Standaryzowane współczynniki funkcji dyskryminacyjnych

Standardized coefficients of discriminant functions

	Książpol-11			Książpol-17	
	Pierw1	Pierw2	Pierw3	Pierw1	Pierw2
PC1	-0.94	0.23	-0.43	1.11	0.03
PC2	0.26	-0.82	-0.54	0.12	-1.00
PC3	-0.71	-0.52	0.56	0.74	0.31
Skumulowany % Cumulative %	0.55	0.80	1.00	0.70	1.00

Grupy iłowcowo-piaskowcowe o obniżonej porowatości i przepuszczalności nasycone wodą (A1, B i C2), różnią się między sobą wartościami pierwszej funkcji dyskryminacyjnej (Fig. 6A). Natomiast przyjmują podobne wartości dla drugiej funkcji (Pierw2). Grupy o lep-

szych własnościach zbiornikowych (A2 i C1), od pozostałych grup (A1, B i C2) wyróżniają się wartościami drugiej funkcji dyskryminacyjnej. Grupy o podwyższonej porowatości i przepuszczalności, ale odmiennym rodzaju nasycenia można odróżnić między sobą wartościami pierwszej funkcji dyskryminacyjnej.

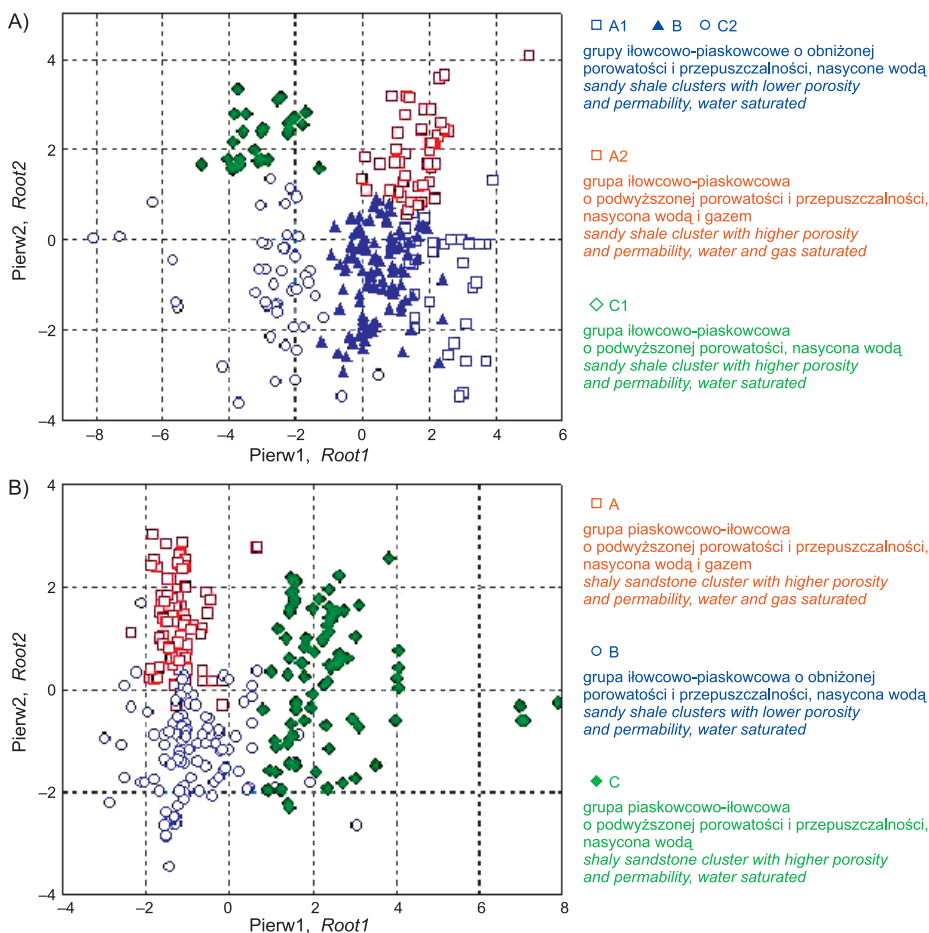


Fig. 6. Wykres rozrzutu wartości kanonicznych. Analiza dyskryminacyjna dla otworów K11 (A) i K17 (B)

Fig. 6. Scatter plot of values of discriminator functions for K11 (A) and K17 (B) wells

Do obliczenia funkcji klasyfikacyjnych przyjęto prawdopodobieństwo klasyfikacyjne *a priori* proporcjonalne do liczności w grupie. Dla tak wyznaczonych funkcji poprawność klasyfikacji jest rzędu 93% (Tab. 6). Największy odsetek (100%) poprawnie zakwalifikowanych obserwacji w grupie treningowej otrzymano dla grupy B i C1. W grupie A2, która jest najbardziej interesująca z punktu widzenia geofizyki poszukiwawczej poprawność klasyfikacji w treningowym zbiorze danych jest również bardzo wysoka (94%).

Sprawdzając skuteczność danej metody istotna jest poprawność klasyfikacji w testowym zbiorze danych (Tab. 6). Dla tego zbioru największą poprawność (100%) uzyskano w grupie A2 i B. Dla całego testowego zbioru ponad 92% danych poprawnie zostało zakwalifikowanych.

Dla danych z otworu K17 otrzymano dwie istotne funkcje dyskryminacyjne. Największy wkład do ogólnej dyskryminacji wnosi PC1. Na pierwszą funkcję dyskryminacyjną (Pierw1) przypada 70% całej mocy dyskryminacyjnej (Tab. 5). Najmocniej waży w niej pierwsza i trzecia główna składowa. W drugiej funkcji dyskryminacyjnej o mocy 30% dużą wagę ma PC2. Pierwsza funkcja dyskryminacyjna odróżnia grupę o słabszych własnościach zbiornikowych (grupę C) od grup o lepszych własnościach zbiornikowych (A i B). Ten fakt potwierdza wykres rozrzutu dla pierwszej i drugiej funkcji dyskryminacyjnej (Fig. 6B). Pierwsza funkcja dyskryminacyjna przyjmuje większe wartości dla grupy C i zbliżone wartości w obrębie grup A i B. Druga funkcja dyskryminacyjna spośród grup o dobrych własnościach zbiornikowych różnicuje grupy pod względem rodzaju nasylenia. Dla danych pochodzących z poziomów nasyconych wodą i gazem przyjmuje dodatnie wartości, zaś w grupie nasyconej tylko wodą – wartości ujemne.

Poprawność klasyfikacji w treningowym zbiorze danych w otworze K17 wynosi ponad 90% (Tab. 7). W grupie A zawierającej dane pochodzące z poziomów nasyconych wodą i gazem poprawność klasyfikacji w treningowym zbiorze danych jest również wysoka (93.18%). Dla testowego zbioru danych uzyskano podobną poprawność (89.55%) w klasyfikacji danych do poszczególnych grup (Tab. 7). Spośród wszystkich grup w testowym zbiorze danych najmniejsza poprawność klasyfikacji dotyczy grupy A, niemniej jednak jest ona również wysoka i wynosi 84.21%.

Tabela (Table) 6

Klasyfikacja w otworze K11
Classification in K 11 well

	%	A1	A2	B	C1	C2
Treningowy zbiór danych, <i>Training data set</i>						
A1	82.35	28	3	3	0	0
A2	94.00	0	47	3	0	0
B	100.00	0	0	100	0	0
C1	100.00	0	0	0	26	0
C2	82.98	0	0	3	5	39
Razem Total	93.39	28	50	109	31	39
Testowy zbiór danych, <i>Testing data set</i>						
A1	88.89	8	0	1	0	0
A2	100.00	0	12	0	0	0
B	100.00	0	0	19	0	0
C1	93.75	0	0	1	15	0
C2	80.95	0	0	2	2	17
Razem Total	92.21	8	12	23	17	17

Tabela (Table) 7

Klasyfikacja w otworze K17
Classification in K17 well

	%	A	B	C
Treningowy zbiór danych, <i>Training data set</i>				
A	93.18	82	6	0
B	89.42	6	93	5
C	92.59	0	6	75
Razem Total	91.58	88	105	80
Testowy zbiór danych, <i>Testing data set</i>				
A	84.21	16	3	0
B	88.89	1	24	2
C	95.24	0	1	20

Na figurze 7 zestawiono wyniki przeprowadzonych analiz statystycznych z wynikami kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej w otworach K11 i K17. W górnej części profilu w obu otworach dominują twory nasycone wodą, co widoczne jest dla

wyników kompleksowej interpretacji profilowań oraz w rozmieszczeniu poszczególnych grup wyłonionych w analizie skupień. W otworze K17 występuje więcej poziomów, wiązanych z nasyceniem gazem, niż w otworze K11.

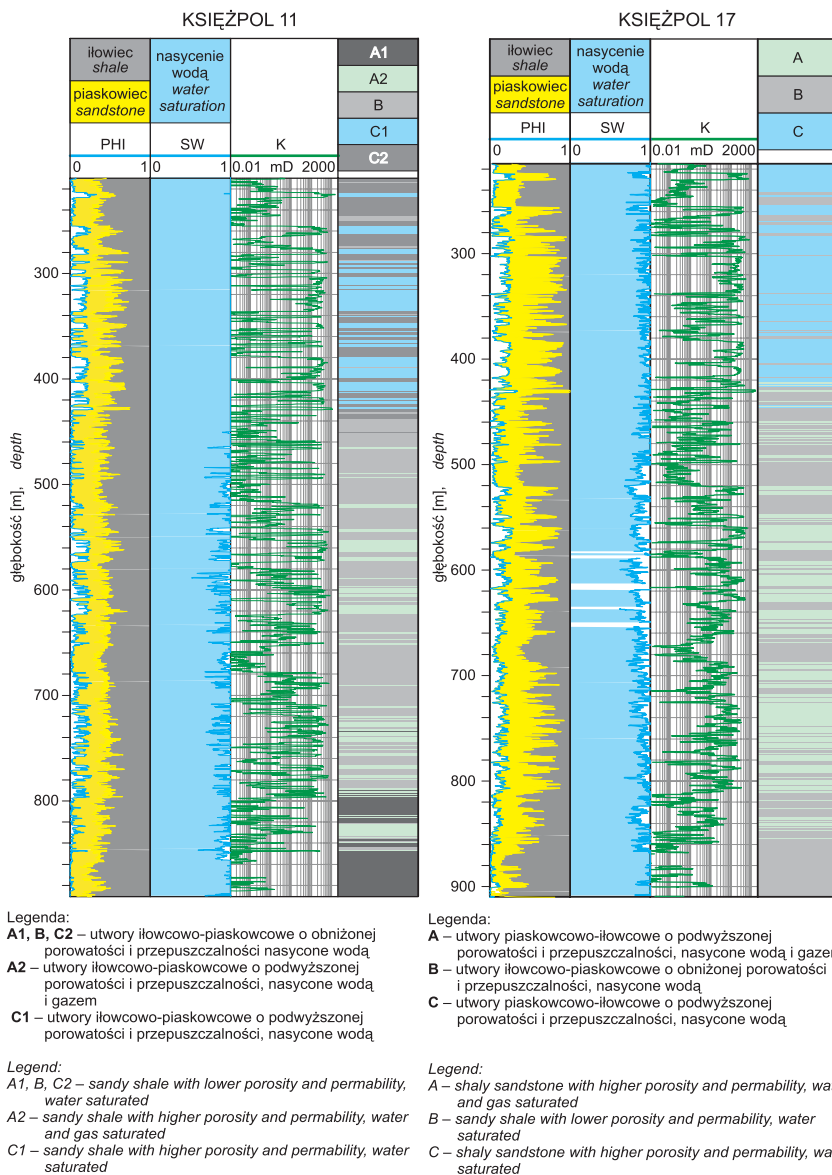


Fig. 7. Rozwiązanie porowatościowo-litologiczne wraz z wynikami analizy dyskryminacyjnej dla profilu sarmatu

Fig. 7. Porosity-lithology solution and results of discriminant analysis for Sarmatian rocks

PODSUMOWANIE

Proponowane metody statystyczne są pomocne przy wstępnej geologicznej interpretacji profilowań geofizyki otworowej. Są również skuteczne przy porządkowaniu profilowań geofizyki otworowej pod względem istotności wnoszonej przez nie informacji i redukcji wymiaru zagadnienia, przy wstępnej analizie w zakresie określania litologii i nasycenia w profilu geologicznym otworu. Wyniki przeprowadzonych analiz statystycznych dobrze korelują z wynikami kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej. Ze względu na szybkość uzyskiwania poprawnego wyniku, metody te mogą być wykorzystane do typowania poziomów nasyconych gazem do opróbowania.

Autorki dziękują PGNiG S.A. w Warszawie, Oddział Południe w Sanoku oraz Spółce Geofizyka Kraków za udostępnienie danych. Praca została wykonana w ramach projektu badawczego własnego KBN nr N525 023 32/2308 pt. „Geologiczne rozpoznanie ośrodka skalnego na podstawie profilowań geofizyki otworowej przy wykorzystaniu metod statystycznych”, realizowanego w latach 2007–2009.

Praca była prezentowana na VII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Geofizyka w geologii, górnictwie i ochronie środowiska” organizowanej z okazji jubileuszu 90-lecia AGH na WGGiOŚ.

LITERATURA

- Dobosz M., 2004. *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*. Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 277–353.
- Dokumentacja otworów Księżpol 11, Księżpol 17, archiwum Spółki Geofizyka Kraków.
- Kaźmierczuk M., 2008. Wykorzystanie metod statystycznych do identyfikacji piaskowców w mioceńskich utworach z rejonu złoża Dzików. W: *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna GEOPETROL 2008 nt. „Nauka, technika i technologia w rozwoju poszukiwań i wydobycia węglowodorów w warunkach lądowych i morskich”*, Instytut Nafty i Gazu, Kraków, 150, 177–182.
- Kaźmierczuk M. & Jarzyna J., 2006. Improvement of lithology and saturation determined from well logging using statistical methods. *Acta Geophysica*, 54, 4, 378–398.
- Moss B. & Seheult A., 1987. Does principal component analysis have a role in the interpretation of petrophysical data? W: *Paper TT, in 28th Annual Logging Symposium Transactions, Society Professional Well Log Analysts*, TT1-25.
- Ward J.H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.