

Irena Gąsior, Jolanta Klaja, Anna Półchłópek  
*Instytut Nafty i Gazu, Kraków*

## Modele matematyczne do określania parametrów zbiornikowych skał w rejonie Cierpisz-Rogoźnica-Nienadowa

### Wstęp

Parametrami niezbędnymi do pełnego opisu własności zbiornikowych skał i przepływu mediów przez ośrodki skalne są przepuszczalność oraz nasycenie wodą nieredukowalną. Wielkości te, wraz z porowatością, określają własności zbiornikowe formacji skalnej oraz pozwalają prognozować zarówno intensywność, jak i rodzaj przepływających mediów. Szczególnie wielkość nasycenia wodą nieredukowalną w znaczący sposób wpływa na właściwości zbiornikowe i filtracyjne skał, gdyż woda nieredukowalna zajmuje na stałe część przestrzeni porowej, uniemożliwiając akumulację węglowodorów. Prawdłowo wyznaczona wielkość nasycenia wodą nieredukowalną pozwala określić własności zbiornikowe skał i jest wykorzystywana do szacowania zasobów złóż gazu ziemnego i ropy. Znajomość tego parametru wpływa także na zwiększenie poprawności wyników interpretacji profilowań geofizycznych pod kątem wyznaczania poziomów perspektywicznych. Metodą, która pozwala wyznaczyć zawartość wody nieredukowalnej

w sposób najbardziej wiarygodny jest metoda magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). Rozdzielenie wody nieredukowalnej od wody wolnej umożliwia pomiar czasu relaksacji poprzecznej  $T_2$ . Kluczowym parametrem wykorzystywanym w interpretacji jest tzw. czas graniczny  $T_{2G2}$ . W opracowaniach z zakresu magnetycznego rezonansu jądrowego, dla piaskowców często przyjmowana jest średnia wartość  $T_{2G2}$  równa 33 ms [2, 6] i chociaż w wielu przypadkach wartość ta jest prawidłowa, to jednak często się zdarza, że znacznie odbiega ona od rzeczywistych wielkości  $T_{2G2}$ , które mogą zmieniać się w szerokich granicach. Potwierdza to konieczność wyznaczania rzeczywistych wartości tego parametru dla każdego zbiornika oddzielnie. Wyznaczenie średniej wartości czasu granicznego  $T_{2G2}$  dla badanych skał było zatem jednym z głównych zadań koniecznych do opracowania modeli matematycznych, umożliwiających określenie takich parametrów skał jak: nasycenia wodą nieredukowalną oraz przepuszczalności.

### Materiał badawczy

Wytypowane do badań próbki reprezentowały utwory miocenne z dwóch poziomów: piaszczysto-iłwcowego i mułowcowo-iłwcowego. Badania przeprowadzono na materiale rdzeniowym reprezentującym utwory miocenu pochodzącym z sześciu otworów wiertniczych, odwierconych w badanym rejonie przedgórza Karpat: C-5K, K-2, M-1, N-1, R-1K oraz S-33K. Badania obejmowały:

ilościową analizę rentgenowską składu mineralogicznego, analizę przestrzeni porowej metodą magnetycznego rezonansu jądrowego, pomiary gęstości, gęstości objętościowej oraz porowatości ogólnej i przepuszczalności absolutnej, pomiary elektrycznych parametrów skał, pomiary przepuszczalności absolutnej i fazowej oraz pomiary porozymetrii rてciowej.

Wyznaczenie średniej wielkości czasu granicznego  $T_{2G2}$  dla skał mioceniskich z badanego rejonu

Wyznaczenie parametru  $T_{2G2}$  dla danego zbiornika umożliwia odniesienie do rozkładów  $T_2$  wyników badań wykonanych metodą porozymetrii rtęciowej [8]. Badania wykonano dla 14 próbek skał, charakteryzujących się zróżnicowanymi własnościami zbiornikowymi ( $Kp_{NMR}$ : 11,36–32,03%;  $Kpr$ : 0,33–1449,46 mD). Wielkości ciśnienia kapilarnego wyznaczone dla układu powietrze-rtęć przeliczono na wielkości ciśnienia kapilarnego odpowiadające układowi powietrze-solanka według wzoru Leverett'a [3] (rysunek 1).

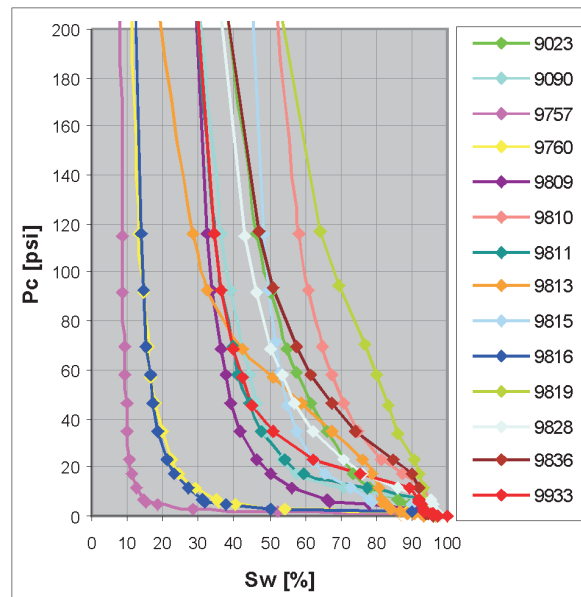
$$P_{c(pow.-sol.)} = P_{c(pow.-Hg)} \frac{(\tau \cdot \cos\theta)_{pow.-sol.}}{(\tau \cdot \cos\theta)_{pow.-Hg}} \quad (1)$$

gdzie:

$\tau$  – napięcie powierzchniowe,

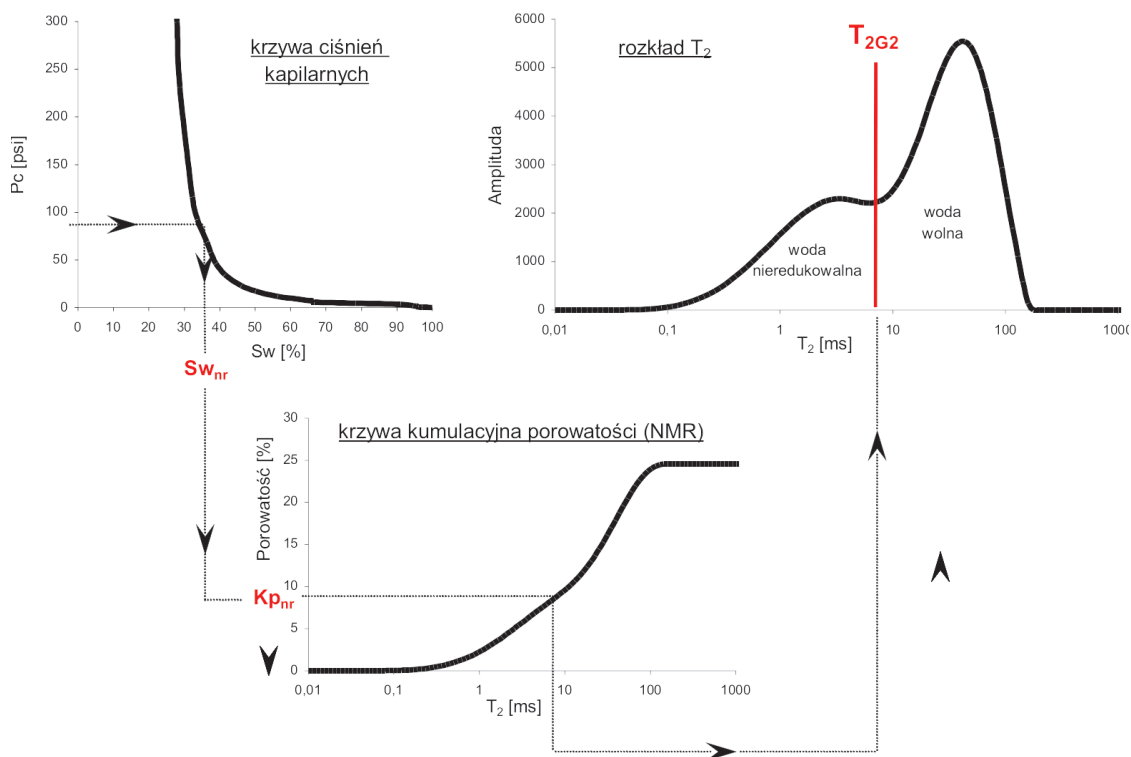
$\theta$  – kąt kontaktu.

Na podstawie uzyskanych krzywych, dla każdej próbki wyznaczono wielkość nasycenia wodą nieredukowalną ( $Sw_{nr}$ ). Przyjęto powszechnie stosowane kryterium, według którego próbka osiąga stan resztkowego nasycenia wówczas, gdy – pomimo wzrostu ciśnienia – nasycenie znacząco nie maleje. Znajomość parametru  $Sw_{nr}$  oraz porowatości całkowitej ( $Kp_{NMR}$ ) umożliwiła obliczenie wielkości przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną (parametr  $Kp_{nr}$ ), którą odniesiono do krzywych kumulacyjnych

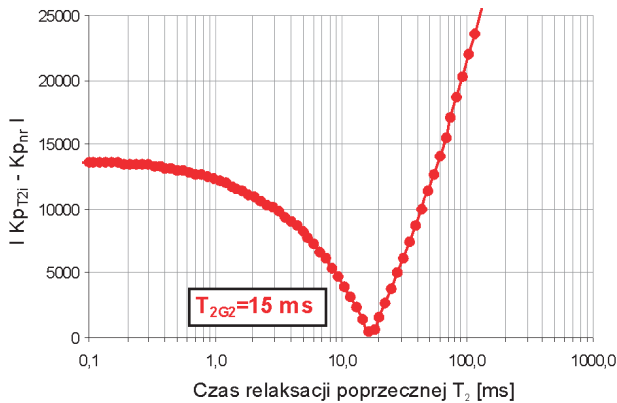


Rys. 1. Krzywe ciśnień kapilarnych badanych próbek przeliczone dla układu powietrze-solanka

porowatości NMR – celem wyznaczenia parametru  $T_{2G2}$  (rysunek 2, tablica 1). Czas relaksacji, dla którego różnica porównywanych porowatości osiąga najmniejszą wartość jest szukany parametrem  $T_{2G2}$  (rysunek 3). Wartość średnia  $T_{2G2}$  dla skał z badanego rejonu wynosi 6,83 ms i to ją właśnie zastosowano w interpretacji rozkładów  $T_2$ .



Rys. 2. Wyznaczenie parametru  $T_{2G2}$  na podstawie krzywych ciśnień kapilarnych

Rys. 3. Określenie wielkości parametru  $T_{2G2}$ 

$Sw_{nr}$  – nasycenie wodą nieredukowalną wyznaczone z krzywej  $P_c(S_w)$ ,  
 $Kp_{nr}$  – wielkość przestrzeni porowej zajęta wodą nieredukowalną  
 $(Kp_{nr} = Sw_{nr} \cdot Kp_{NMR})$ ,  $Kp_{T2i}$  – porowatość obliczona z krzywej  
kumulacyjnej porowatości NMR dla danego  $T_{2i}$ ,  $Kp_{nr}$  – wielkość  
przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną

Tablica 1. Wartości  $T_{2G2}$  wraz z parametrami wykorzystanymi w obliczeniach

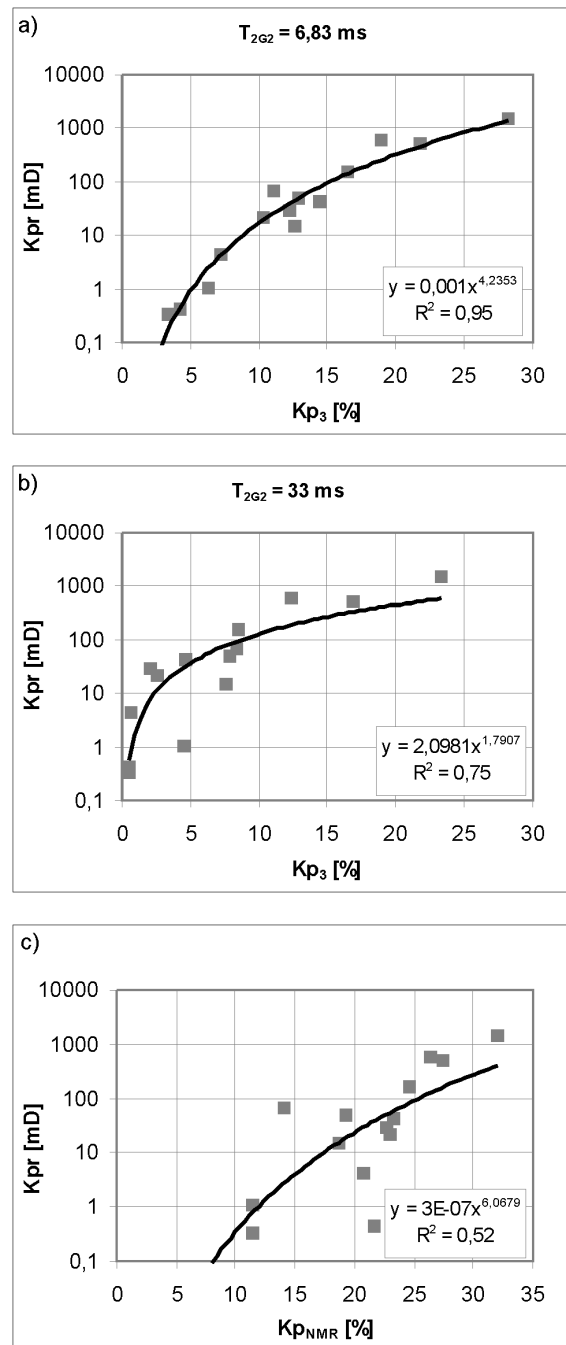
Lp.	Numer próbki	$Kp_{NMR}$ [%]	$Sw_{nr}$ [%]	$Kp_{nr}$ [%]	$T_{2G2}$ [ms]
1.	9023	19,21	46,2	8,88	18,19
2.	9090	18,73	37,2	6,97	9,47
3.	9757	32,03	10,6	3,40	5,50
4.	9760	26,39	19,5	5,15	2,86
5.	9809	24,58	35,0	8,60	7,62
6.	9810	20,83	58,5	12,19	4,90
7.	9811	22,69	35,5	8,05	4,42
8.	9813	14,02	29,0	4,07	14,60
9.	9815	23,28	50,7	11,80	11,77
10.	9816	27,39	17,0	4,66	4,42
11.	9819	21,70	62,5	13,56	3,19
12.	9828	23,02	43,5	10,01	3,56
13.	9836	11,36	46,5	5,78	2,30
14.	9933	11,48	34,6	3,97	2,86

Objaśnienia:  $Kp_{NMR}$  – porowatość całkowita,  $Sw_{nr}$  – nasycenie wodą nieredukowalną,  $Kp_{nr}$  – wielkość przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną,  $T_{2G2}$  – czas graniczny

#### Weryfikacja wyznaczonej średniej wartości czasu granicznego $T_{2G2}$

Właściwe oszacowanie czasu granicznego  $T_{2G2}$  pozwala na poprawne określenie zawartości wody nieredukowalnej, a co za tym idzie – wielkości porowatości dynamicznej  $Kp_3$ . Ponieważ porowatość dynamiczna reprezentuje przestrzeń porową, w której możliwy jest przepływ płynów złożowych – należy się spodziewać, że parametr  $Kp_3$  wyznaczony

na podstawie wiarygodnej wielkości  $T_{2G2}$  będzie dobrze korelował z przepuszczalnością. Wykonana korelacja potwierdza poprawność wyznaczenia czasu granicznego  $T_{2G2}$  dla badanego rejonu. Porowatość dynamiczna obliczona dla parametru  $T_{2G2}$  – wyznaczonego eksperymentalnie – koreluje z przepuszczalnością znacznie lepiej niż porowatość dynamiczna, określona dla  $T_{2G2}$  równego 33 ms, czy porowatość całkowita (rysunek 4).

Rys. 4. Korelacja przepuszczalności z: a) porowatością dynamiczną  $Kp_3$  oszacowaną dla  $T_{2G2} = 6,83$  ms, b)  $Kp_3$  oszacowaną dla  $T_{2G2} = 33$  ms, c) porowatością całkowitą  $Kp_{NMR}$

Opracowanie modeli geofizycznych do określenia wody nieredukowalnej ( $Sw_{nr}$ ) oraz przepuszczalności absolutnej ( $Kpr$ ) i względnej

W pracy przedstawiono modele matematyczne do określania takich parametrów zbiornikowych skał jak: nasycenie wodą nieredukowalną ( $Sw_{nr}$ ), przepuszczalność absolutna ( $Kpr$ ) oraz przepuszczalność względna dla wody i gazu ( $Kr_w, Kr_g$ ). Wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych parametry skał poddano analizie statystycznej, z uwzględnieniem podziału utworów mioceńskich na dwa poziomy: serię piaskowcową i piaskowcowo-mułowcową. Do opracowania modeli matematycznych wykorzystano metodę estymacji nieliniowej.

Nasycenie skał wodą nieredukowalną  $Sw_{nr}$

Do określania nasycenia skał wodą nieredukowalną  $Sw_{nr}$  wykorzystano zailenie i porowatość, wyznaczone laboratoryjnie. Skonstruowane modele teoretyczne mają postać:

$$Sw_{nr} = V_{it}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b \quad (2)$$

przy założeniu:  $Sw_{nr} \leq Sw$ , jeśli:  $Sw_{nr} > Sw$  to:  $Sw_{nr} = Sw$

gdzie:

$Sw_{nr}$  – nasycenie wodą nieredukowalną; w ułamku jedności,

$V_{it}$  – zailenie; w ułamku jedności,

$Kp$  – porowatość; w ułamku jedności,

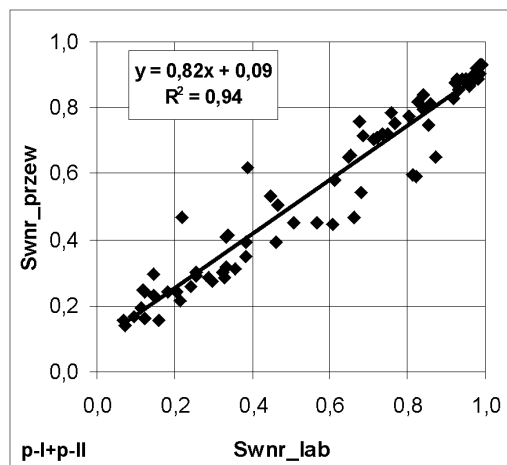
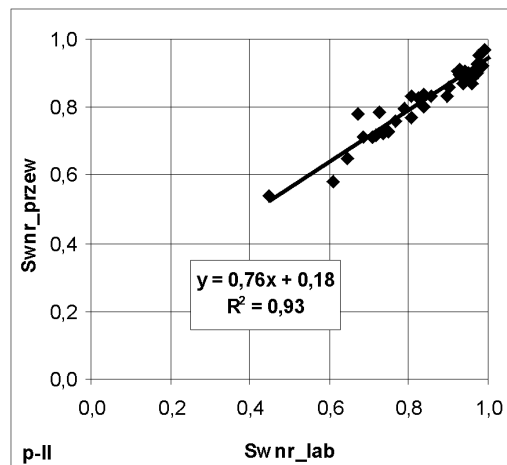
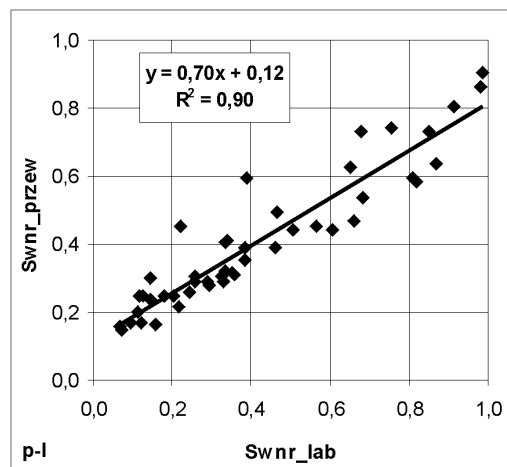
a, b – stałe, które należy wyznaczyć.

Do kalibracji powyższego równania wykorzystano dane laboratoryjne: zailenie z analizy rentgenowskiej, a porowatość oraz nasycenie wodą nieredukowalną z pomiarów NMR. Parametry powyższych modeli interpretacyjnych zestawiono w tablicy 2, a korelacje wartości nasycenia wodą nieredukowalną – określonych w oparciu o modele i laboratoryjnie dla całego zbioru próbek oraz oddzielnie dla poszczególnych poziomów – przedstawiono na rysunku 5.

Tablica 2. Parametry modeli matematycznych do określania nasycenia wodą nieredukowalną

$$Sw_{nr} (Sw_{nr} = V_{it}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b)$$

Poziom	Parametry modelu		Współczynnik korelacji
	a	b	R
I	0,11	4,35	0,95
II	0,05	5,95	0,96
I + II	0,08	4,65	0,97



Rys. 5. Wartości nasycień wodą nieredukowalną  $Sw_{nr}$  – przewidywanych, względem laboratoryjnych (model:  $Sw_{nr} = V_{it}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b$ )

Przepuszczalność absolutna  $Kpr$

Dla określenia przepuszczalności absolutnej  $Kpr$  opracowano następujące modele teoretyczne:

$$Kpr = C \cdot Kp_{ef}^{m+1} \cdot (1 - Sw_{nr})^2 \quad (3)$$

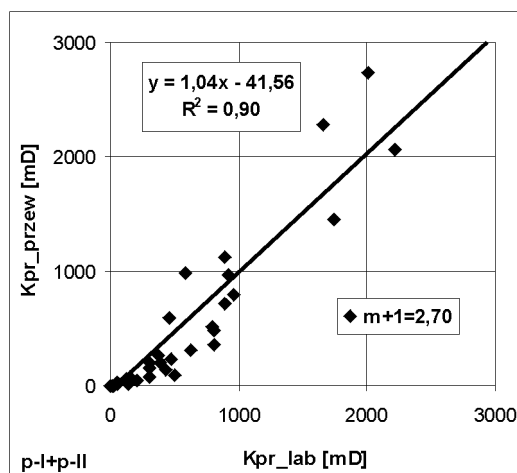
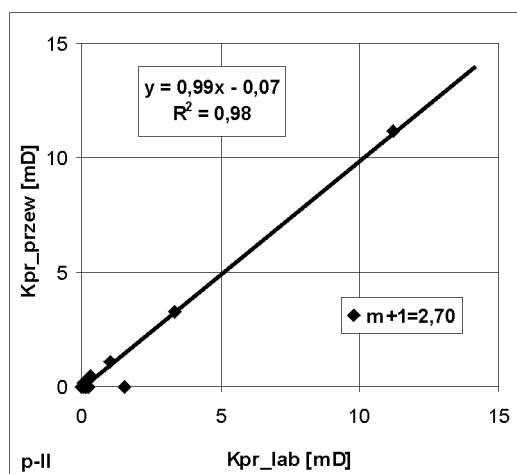
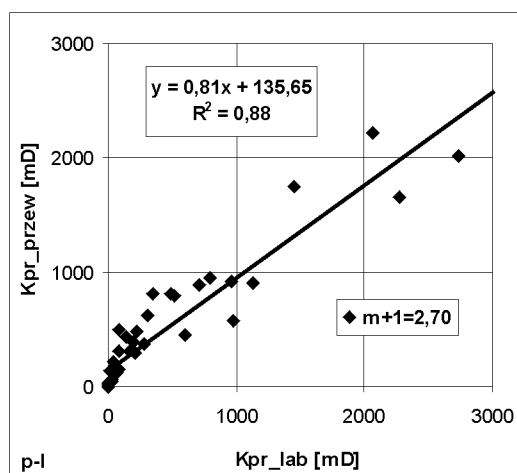
gdzie:

$Kpr$  – przepuszczalność absolutna [mD],

$Kp_{ef}$  – porowatość efektywna; w ułamku jedności,

$Sw_{nr}$  – nasycenie wodą nieredukowalną; w ułamku jedności,

$m$  – wskaźnik struktury porowej,



Rys. 6. Korelacje przepuszczalności: przewidywanych i laboratoryjnych

$C$  – stała, którą należy wyznaczyć poprzez kalibrację empiryczną równania (3).

W przypadku kalibracji modelu (3), za  $m$  przyjęto wartość = 1,70 (na podstawie badań elektrycznych parametrów skał, wykonanych na próbkach skał w badanym rejonie).

W tabelicy 3 zestawiono parametry opracowanych modeli matematycznych ( $C$ ). Przykłady korelacji przepuszczalności absolutnej  $Kpr$  – przewidywanych (na podstawie modeli) i obserwowanych (wyznaczonych laboratoryjnie) – zaprezentowano na rysunku 6.

Tabela 3. Parametry modelu matematycznego

$$Kpr = C \cdot Kp_{ef}^{2,70} \cdot (1 - Sw_{nr})^2$$

Poziom	$C$	$R^*$
I	60 609	0,93
II	19 158	0,95
I + II	60 606	0,94

\* $R$  – współczynnik korelacji

#### Przepuszczalność względna dla wody ( $Kr_w$ ) i gazu ( $Kr_g$ )

Przy opracowywaniu modeli umożliwiających wyznaczenie przepuszczalności względnych wykorzystano doświadczenia Brooks'a i Corey'a [1], którzy w swoich pracach zastosowali stałą kalibracyjną  $\lambda$ , określoną na podstawie pomiarów ciśnień kapilarnych ( $Pc$ ). Zaobserwowali oni, że na wykresie o skalach logarytmicznych zależność  $Pc = f(Sw^*)$  jest linią prostą. Zależność tę można przedstawić w następującej postaci:

$$Pc = a \cdot (Sw^*)^{-1/\lambda} \quad (4)$$

gdzie:

$$Sw^* = (Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr}),$$

$Sw$  – nasycenie skały wodą; w ułamku jedności,

$Sw_{nr}$  – nasycenie skały wodą nieredukowalną; w ułamku jedności,

$a$  – stała,

$\lambda$  – parametr zależny od litologii.

Znając wielkość parametru  $\lambda$  dla badanego rejonu, można określać przepuszczalności względne dla wody  $Kr_w$  i gazu  $Kr_g$  według następujących zależności:

$$Kr_w = (Sw^*)^{(2+3\lambda)/\lambda} \quad (5)$$

$$Kr_g = (1 - Sw^*)^2 \cdot [(1 - Sw^*)^{(2+\lambda)/\lambda}] \quad (6)$$

Do wyznaczenia parametru  $\lambda$  wykorzystano pomiary porozymetrii rtęciowej wykonane na czterestu próbkach

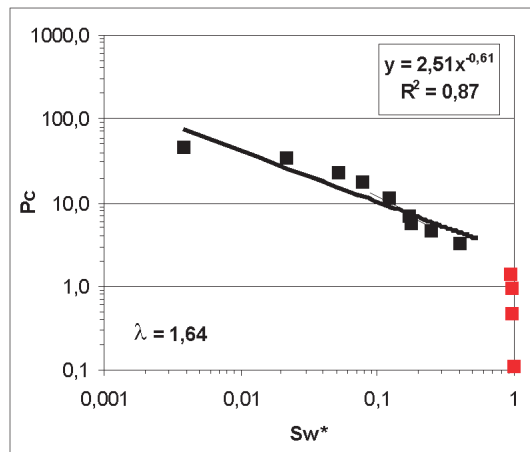
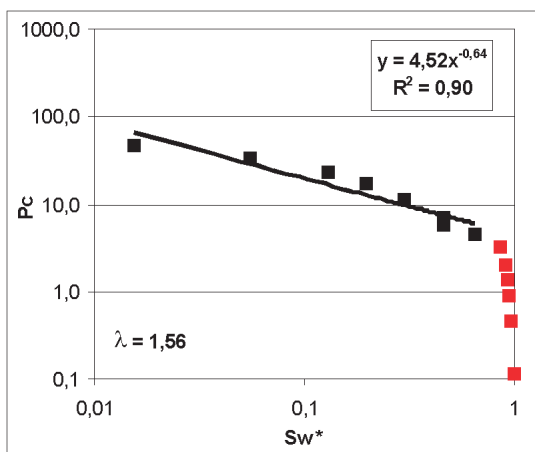
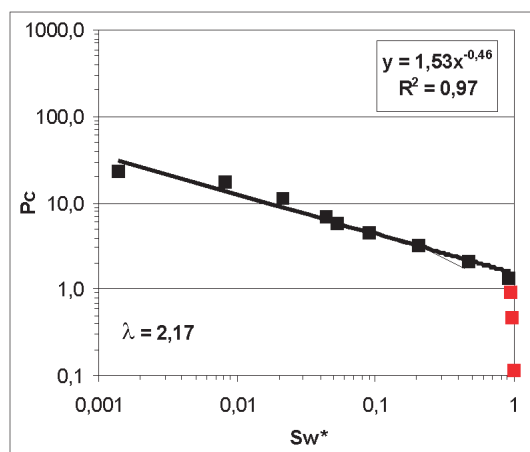
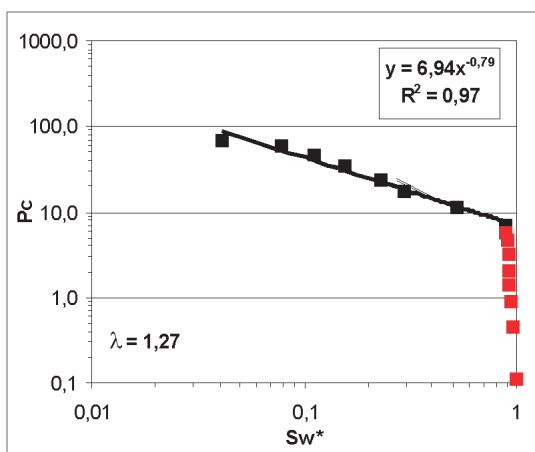
skał pochodzących z badanego rejonu. Przykłady uzyskanych wyników przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

Wartości parametru  $\lambda$  – uzyskane dla całego zbioru próbek skał oraz oddzielnie dla wyróżnionych poziomów – zamieszczono w tablicy 4.

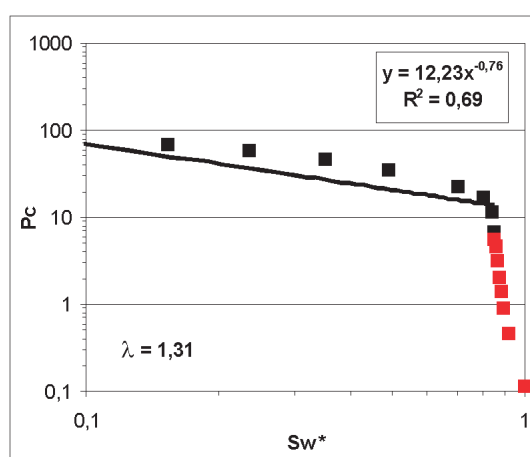
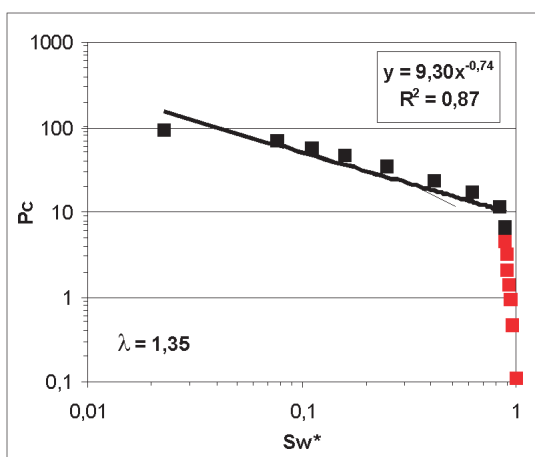
Zgodnie z teorią wspomnianych autorów, skały charakteryzujące się dobrymi właściwościami zbiornиковymi

Tablica 4. Zestawienie wartości parametru  $\lambda$  dla badanego rejonu

Poziom	Parametr $\lambda$
I	1,53
II	1,33
I + II	1,46



Rys. 7. Wyznaczanie parametru  $\lambda$  (poziom I)



Rys. 8. Wyznaczanie parametru  $\lambda$  (poziom II)



(dobrze wysortowane, o wysokiej przepuszczalności  $Kpr$  i niskich nasyceniach wodą nieredukowalną  $Sw_{nr}$ ) mają zwykle wyższe wartości  $\lambda$ , podczas gdy skały o gorszych właściwościach zbiornikowych charakteryzują się mniejszymi wartościami tego parametru.

Aby ocenić poprawność wyznaczonego współczynnika  $\lambda$  (w myśl autorów Brooks i Corey), przeprowadzono analizę korelacyjną pomiędzy parametrem  $\lambda$  a parametrami  $Kpr$  i  $Sw_{nr}$ . Wyniki tej analizy przedstawiono na rysunku 9.

Wysokie współczynniki determinacji badanych zależności potwierdzają poprawność wyznaczenia parametru  $\lambda$ , wobec czego modele do wyznaczania przepuszczalności względnych dla wody i gazu ( $Kr_w$ ,  $Kr_g$ ) przyjmują następującą postać:

**poziom I:**

$$Kr_w = [(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})]^{4,30} \quad (7)$$

$$Kr_g = [(1 - Sw) / (1 - Sw_{nr})]^2 [1 - \{(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})\}^{2,30}] \quad (8)$$

**poziom II:**

$$Kr_w = [(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})]^{4,50} \quad (9)$$

$$Kr_g = [(1 - Sw) / (1 - Sw_{nr})]^2 [1 - \{(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})\}^{2,50}] \quad (10)$$

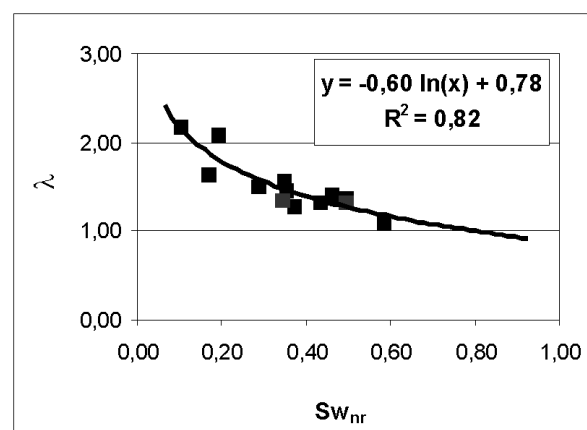
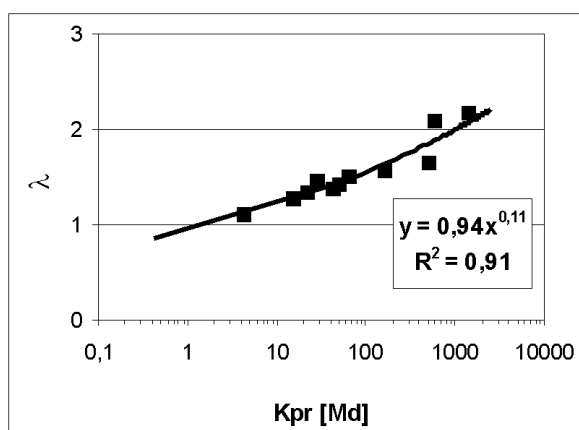
**ogólnie – dla utworów mioceńskich (poziom I + II):**

$$Kr_w = [(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})]^{4,37} \quad (11)$$

$$Kr_g = [(1 - Sw) / (1 - Sw_{nr})]^2 [1 - \{(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})\}^{2,37}] \quad (12)$$

Skonstruowane modele matematyczne zastosowano w procesie interpretacji profilowań geofizycznych z otworów wiertniczych: C-5K, K-2 oraz S-33K. Weryfikację uzyskanych rezultatów przeprowadzono w oparciu o badania laboratoryjne oraz wyniki prób złożowych, przy czym

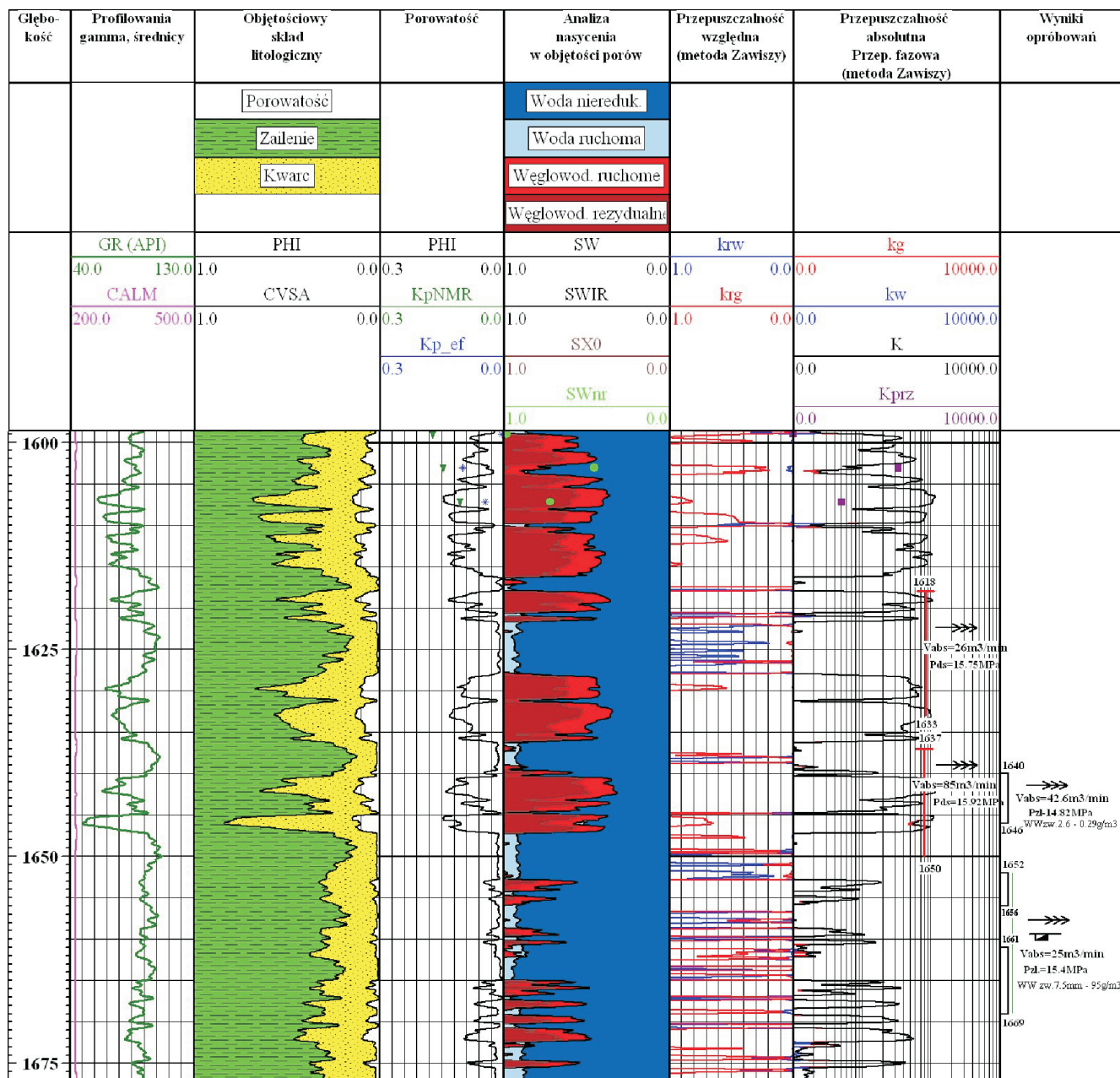
lepsze wyniki interpretacji uzyskano przy uwzględnieniu podziału profilu otworów na dwa poziomy: piaszczysto-iłowcowy i mułowcowo-iłowcowy. Wartości współczynników nasycenia skał wodą nieredukowalną  $Sw_{nr}$  oraz przepuszczalności  $Kprz$  – wyznaczonych laboratoryjnie i określonych na podstawie pomiarów geofizyki wiertniczej z wykorzystaniem wyżej omawianych modeli – wykazują z reguły dobrą zgodność. W niektórych interwałach głębokościowych wyniki badań laboratoryjnych odbiegają od wartości parametrów wyznaczonych na podstawie danych otworowych; przyczyną takiej rozbieżności może być fakt, że badania laboratoryjne prowadzone są na materiale rdzeniowym i stanowią pomiary punktowe, natomiast profilowania geofizyczne odzwierciedlają uśrednione wartości z określonej objętości ośrodka skalnego – co związane jest z zasięgiem radialnym i pionowym danego typu sondy. Takie efekty szczególnie zaznaczają się w ośrodkach cienkowarstwowych. Profilowania geofizyczne wykorzystane w procesie interpretacji charakteryzują się rozdzielczością pionową ok. 50 cm. Tymczasem – jak wykazało jednowymiarowe obrazowanie NMR wykonane dla mioceńskich rdzeni wiertniczych – poszczególne warstwy różniące się znacząco właściwościami zbiornikowymi mogą osiągać miąższości nawet poniżej jednego centymetra [7]. Analiza wyników prób złożowych również potwierdza poprawność zastosowanych modeli. Z uwagi na ilość wykonanych opróbowań i uzyskany różnorodny przyływ medium w otworze C-5K (1640–1646 m – suchy gaz; 1652–1669 m i 1737–1758 m – gaz z solanką; 1945–1962 m – ślady gazu), weryfikację skonstruowanych modeli wykonano na podstawie wyników interpretacji profilowań z tego otworu (rysunek 10). W obrębie strefy, która została rozpoznana jako w pełni gazonośna (przyływ suchego gazu w interwale 1640–1646 m), otrzymane



Rys. 9. Korelacja współczynnika  $\lambda$  z innymi parametrami geofizycznymi

zawartości wody nieredukowalnej  $Sw_{nr}$  uzupełniają do jedności nasycenie gazem. Ponadto, generalnie wielkość obliczonej przepuszczalności prawidłowo odzwierciedla wielkości przyływu różnorodnego medium do otworu.

Większa przepuszczalność ułatwia i pozwala na większy przyływ medium, zaś niska przepuszczalność wyraźnie go ogranicza. Dowodzi to wiarygodności uzyskanych rezultatów.



Rys. 10. Wyniki interpretacji danych otworowych przy wykorzystaniu opracowanych modeli matematycznych w otworze wiertniczym C-5K

### Podsumowanie

Celem przedstawionej pracy było opracowanie modeli matematycznych umożliwiających szacowanie parametrów zbiornikowych skał: nasycenia wodą nieredukowalną oraz przepuszczalności absolutnej, względnej i fazowej w badanym rejonie.

Dla prawidłowego określenia nasycenia wodą nieredukowalną konieczne było wyznaczenie średniej wielkości czasu granicznego  $T_{G2}$  dla skał z badanego rejonu. Średnia wartość wyznaczonego eksperymentalnie parametru  $T_{G2}$  dla badanego rejonu wynosi 6,83 ms, a więc znacząco



odbiega od średniej wartości podawanej w literaturze dla utworów klastycznych (33 ms). Wyznaczona eksperymentalnie wartość czasu granicznego jest z pewnością bardziej zbliżona do wartości rzeczywistej. Potwierdza to fakt, że porowatość dynamiczna obliczona dla  $T_{2G2} = 6,83$  ms koreluje z przepuszczalnością znacznie lepiej ( $R^2 = 0,95$ ) niż ta sama wielkość obliczona dla  $T_{2G2} = 33$  ms ( $R^2 = 0,75$ ).

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych opracowano modele interpretacyjne do wyznaczenia ww. parametrów zbiornikowych skał w profilu otworów wiertniczych. Modele te skonstruowano dla całego profilu miocenu oraz oddzielnie dla dwóch poziomów: piaskowcowego i piaskowcowo-mułowcowego. Kalibrację modeli matematycznych wykonano wykorzystując w tym celu estymację nieliniową. Weryfikację modeli przeprowadzono dla otworów wiertniczych: C-5K, K-2 oraz S-33K,

w wybranych interwałach głębokościowych. Uzyskano wyniki tworzące spójny zbiór danych, logicznie wpasowanych w strukturę złoża i pozostających w zadowalającej zgodności zarówno z danymi laboratoryjnymi, wynikami prób, jak i składem mediów przyływających do otworów. Lepsze wyniki interpretacji uzyskano przy uwzględnieniu podziału profilu otworów na poziomy: piaskowcowy i piaskowcowo-mułowcowy.

Wykonana kalibracja pozwala na poszerzenie i uaktualnienie istniejącej bazy parametrów, wykorzystywanej w systemie GeoWin do kompleksowej interpretacji profilowań geofizycznych.

Wyznaczenie zależności oddzielnie dla dwóch poziomów litologicznych umożliwi uzyskanie wiarygodnych wyników interpretacji – przy założeniu, że poziomy te zostały wydzielone prawidłowo.

Artykuł nadesłano do Redakcji 15.04.2010 r. Przyjęto do druku 23.06.2010 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

## Literatura

- [1] Brooks R.H., Corey A.T.: *Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow*. Journal Irrigation and Drainage Division, ASCE, vol. 92, 1966.
- [2] Coates G., Xiao L., Prammer, M.: *NMR Logging Principles & Applications*. Haliburton Energy Services, USA, 1999.
- [3] Dastidar R.: *Integrating NMR with other Petrophysical Parameters to Characterize a Turbidite Reservoir*, 2004.
- [4] Eberl D.D.: *User's Guide to Rockjock – a Program for Determining Quantitative Mineralogy from Powder X-ray Diffraction Data*. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-78, Boulder, Oklahoma, 2003.
- [5] Kenyon B., Kleinberg R., Straley C., Gubelin G., Morriss C.: *Nuclear magnetic Resonance Imaging Technology for the 21<sup>st</sup> Century*. Oilfield Review, 7, 3, 1995.
- [6] Kenyon W.E.: *Petrophysical Principles of Applications of NMR Logging*. The Log Analyst, 2, 1997.
- [7] Klaja J.: *Wykorzystanie gradientu pola magnetycznego w badaniach skał mioceńskich metodą magnetycznego rezonansu jądrowego*. Nafta-Gaz, nr 9, 2004.
- [8] Ostroff G.M., Shorey D.S., Georgi D.T.: *Integration of NMR and conventional LOG data for improved petrophysical evaluation of shaly sands*. SPWLA 40<sup>th</sup> Logging Symposium May 30-June 3, 1999.
- [9] Straley C., Morriss C.E., Kenyon W.E., Howard J.J.: *NMR in Partially Saturated Rocks: Laboratory Insights on Free Fluid Index and Comparison with Borehole Logs*. The Log Analyst, 1, 1995.



Mgr Irena GAŠIOR – absolwentka Wydziału Matematyki UJ. Zajmuje się opracowywaniem nowych metod pomiarowo-interpretacyjnych profilowań geofizyki wiertniczej. Jest autorką m.in. programów komputerowych do interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej oraz oprogramowania dla geofizycznego systemu GEOBAZA i GEOBANK. Współautorka systemu GeoWin.



Mgr inż. Jolanta KLAJA – ukończyła studia na wydziale Geologiczno-Poszukiwawczym Akademii Górniczo-Hutniczej w zakresie górnictwa i geologii, specjalność – geofizyka stosowana. W Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie zajmuje się badaniem własności petrofizycznych skał metodami laboratoryjnymi, w szczególności metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR).



Dr Anna Półchłopek – matematyk, absolwentka Uniwersytetu Jagiellońskiego, doktor nauk technicznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, adiunkt, kierownik Zakładu Sejsmiki Instytutu Nafty i Gazu. Specjalizuje się w rozwiązywaniu zagadnień z zakresu migracji i modelowania sejsmicznego.