

**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ**  
**im. Henryka Niewodniczańskiego**  
**Polskiej Akademii Nauk**  
**ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków**

www.ifj.edu.pl/publ/reports/2007/

Kraków, grudzień 2007

---

Raport Nr 2008/AP

**Budowa modeli geochemiczno – mineralogicznych**  
**na podstawie danych uzyskiwanych z zaawansowanych metod**  
**geofizyki jądrowej. Część 1**

*Urszula Woźnicka (koordynator)*

*Współautorzy: Teresa Cywicka-Jakiel, Andrzej Drabina, Dominik Dworak,*  
*Grzegorz Tracz, Krzysztof Drozdowicz z Zespołem, Tomasz Zorski<sup>1)</sup>,*  
*Andrzej Ossowski<sup>1)</sup>, Jan Środoń<sup>2)</sup>, Tadeusz Kawiak<sup>2)</sup>, Dorota Bakowska<sup>2)</sup>,*  
*Małgorzata Zielińska<sup>2)</sup>, Jadwiga Zalewska z Zespołem<sup>3)</sup>*

- <sup>1)</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,  
Zakład Geofizyki, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30  
<sup>2)</sup> Instytut Nauk Geologicznych PAN, 31-002 Kraków, ul. Senacka 1  
<sup>3)</sup> Instytut Nafty i Gazu, 31-503 Kraków, ul. Lubicz 25A

Praca zrealizowana w ramach badań wspólnych sieci naukowej „Metody jądrowe dla geofizyki”. Badania koordynowane przez IFJ PAN i finansowane przez MNiSW na podstawie Decyzji nr 620/E-77/SN-007/2006  
Obliczenia numeryczne wykonano na klastrze komputerów PC RackSaver – zeus w Akademickim Centrum Komputerowym CYFRONET AGH w Krakowie.

Załączniki do niniejszego Raportu można otrzymać za zgodą Autorów

## Abstract

An extensive set of conventional and special core analysis measurements, complemented by additional chemical and mineralogical analyses was performed, forming the basis for the evaluation of the complex thin bedded gas-bearing shaly-sand formations of Miocene age in the Carpathian Foredeep region of Southern Poland. Mineralogy was established by using full elemental composition, XRD method, total surface area and cation exchange capacity (CEC). The analysis showed that the most important clay component is illite – smectite mixed layer. Statistical multivariate analysis of all data helped to set up a comprehensive general petrophysical model. For the notoriously difficult CEC information for the rock matrix we could establish a reliable correlation (corr. coefficient  $r^2$  around 0.95) between thermal neutron absorption cross section SIGMA and total natural radioactivity GR with CEC, with boron and rare earth elements the two most important SIGMA contributors in the rock matrix. This good correlation permits a continuous on-line CEC determination and therefore a reliable application of the Waxman-Smiths water saturation model to properly take into account the clay mineral effects in evaluating water saturation.

## Spis treści

**Budowa modeli geochemiczno – mineralogicznych na podstawie danych uzyskiwanych z zaawansowanych metod geofizyki jądrowej. Część 1.***Urszula Woźnicka, Tomasz Zorski*

1. Wstęp .....	1
2. Zakres prac badawczych .....	1
3. Procedura obliczeń wynikowych do przetwarzania profilowań geofizycznych .....	3
4. Ocena dokładności obliczania składu mineralnego i CEC na podstawie obliczeń symulacyjnych Monte Carlo odpowiedzi sond jądrowych dla skał reprezentatywnych dla formacji mioceńskiej Przedgórze Karpat .....	9
4.1. Ocena dokładności interpretacji geofizycznej dla sondy NNTE .....	10
4.2. Ocena dokładności interpretacji geofizycznej dla sondy sPNG .....	12
Literatura .....	14

**Załącznik 1** ..... 1-1

Metodyka szacowania pojemności wymiany jonowej i składu mineralnego skał Zapadliska Przedkarpackiego na podstawie parametrów mierzalnych metodami geofizyki otworowej. Opracowanie wstępne.

*Jan Środoń, Tadeusz Kawiak, Dorota Bakowska i Małgorzata Zielińska*

1. Wstęp .....	1-1
2. Metody pomiarowe .....	1-1
3. Wyniki .....	1-3
Literatura .....	1-6

**Załącznik 2** ..... 2-1

Zastosowanie wielowymiarowej analizy regresyjnej do budowy modelu geochemiczno-mineralogicznego utworów mioceńskich Przedgórze Karpat

*Andrzej Ossowski*

1. Wstęp .....	2-1
2. Mineralogiczno-geochemiczna charakterystyka danych .....	2-2
3. Analiza składu ziarnowego próbek .....	2-6
4. Charakterystyka korelacyjna danych – analiza czynnikowa .....	2-7
5. Konstrukcja modeli interpretacyjnych dla otworów J-4 oraz ChD-3 .....	2-14
5.1. Model regresyjny dla wyznaczania zawartości sumy minerałów ilastych zmienna SUMIL dla otworów J-4 oraz ChD-3 .....	2-15
5.2. Model regresyjny dla wyznaczania zawartości kwarcu zmienna KWARC dla otworów J-4 oraz ChD-3 .....	2-16
5.3. Model regresyjny dla wyznaczania zawartości kacytu zmienna KALCYT dla otworów J-4 oraz ChD-3 .....	2-17
5.4. Model regresyjny dla wyznaczania wartości współczynnika wymiany kationowej CEC dla otworów J-4 oraz ChD-3 .....	2-18
Literatura .....	2-19

**Załącznik 3** ..... 3-1

Aktualizacja systemu obliczeniowego dla półempirycznej metody kalibracji sond neutronowych

*Andrzej Drabina, Dominik Dworak, Grzegorz Tracz*

1. Wstęp .....	3-1
2. Aktualizacja grupowych bibliotek neutronów prędkich .....	3-1
2.1. Założenia .....	3-2
2.2. Obliczenia .....	3-4
3. Aktualizacja programów komputerowych obsługujących półempiryczną metodę kalibracji Czubka .....	3-5
Literatura .....	3-7
<b>Załącznik 4</b> .....	4-1
Dobór ośrodków skalnych do testowania interpretacyjnych modeli regresyjnych i modelowania odpowiedzi sond neutronowych metodą Monte Carlo	
<i>Andrzej Ossowski</i>	
<b>Załącznik 5</b> .....	5-1
Modelowanie odpowiedzi sondy NNTE metodą Monte Carlo w blokach skalnych o parametrach odpowiadających rdzeniom wiertniczym z otworów Jasionka-4 oraz Chałupki Dębniańskie-3	
<i>Andrzej Drabina</i>	
1. Wstęp .....	5-1
2. Dane wejściowe do obliczeń MCNP .....	5-3
3. Wyniki obliczeń .....	5-3
Literatura .....	5-4
<b>Załącznik 6</b> .....	6-1
Modelowanie odpowiedzi sondy sPNG metodą Monte Carlo w blokach skalnych o parametrach odpowiadających rdzeniom wiertniczym z otworów Jasionka-4 oraz Chałupki Dębniańskie-3	
<i>Teresa Cywicka-Jakiel</i>	
<b>Załącznik 7</b> .....	7-1
Właściwości fizyczne i mineralogiczne rdzeni wiertniczych z otworów Dzików w aspekcie budowy modelu interpretacyjnego. Badania porównawcze dla pomiarów wykonanych techniką NMR.	
<i>Jadwiga Zalewska z Zespołem</i>	
1. Wstęp .....	7-1
2. Charakterystyka geologiczna złoża Dzików .....	7-1
3. Przygotowanie prób oraz ich podział pod kątem realizacji programu badań .....	7-2
<b>Załącznik 8</b> .....	8-1
Analiza zmienności $\Sigma_a$ formacji mioceńskich na podstawie pomiarów laboratoryjnych. Opracowanie metodyki pomiaru, realizacja i interpretacja wyników.	
<i>Krzysztof Drozdowicz z Zespołem</i>	
1. Metoda pomiarowa .....	8-1
2. Mierzone próbki .....	8-2
3. Pomiary stałej zaniku $\lambda$ dla suchych próbek skalnych .....	8-2
4. Pomiary stałej zaniku $\lambda$ dla próbek nasyconych wodnym roztworem kwasu $H_3BO_3$ .....	8-4
5. Wyznaczenie przekroju czynnego absorpcji .....	8-5
Literatura .....	8-7

## **1. Wstęp**

Podstawowym celem podjętych badań jest rozwój jądrowych metod geofizyki wiertniczej pod kątem precyzyjnego oznaczania składu mineralnego skał tworzących zbiorniki węglowodorów i ich otoczenia, a dalej, do określania na tej podstawie, wybranych parametrów petrofizycznych takich jak gęstość szkieletowa czy zdolność wymiany kationów (CEC). Wyznaczanie tego typu parametrów bezpośrednio z pomiarów geofizycznych dla skomplikowanych profili litostratygraficznych, szczególnie w piaszczysto – ilastych formacjach cienkowarstwowych, stanowi aktualnie najpoważniejsze wyzwanie w poszukiwaniach węglowodorów, wobec stwierdzanych często przypadków pomijania ich znaczących zasobów w takich formacjach.

Zagadnienie to ma charakter interdyscyplinarny.

Metody jądrowe, stosowane w pomiarach geofizyki otworowej, mogą dostarczać bezpośrednich danych o zawartości w skale szeregu pierwiastków: H, Si, Ca, Fe, Al, K, U, Th, oraz informacji o parametrach kompleksowych skały takich jak gęstość objętościowa, indeks absorpcji fotoelektrycznej  $P_e$  (zależny od liczb atomowych pierwiastków budujących skałę), przekrój czynny absorpcji neutronów  $\Sigma_a$  (czuły silnie na obecność takich pierwiastków jak bor i ziemie rzadkie, REE). Pomimo tych możliwości praktyczne wykorzystanie metod jądrowych jest obecnie stosunkowo niewielkie. Wynika to częściowo z koncentracji firm naftowych głównie na parametrach opisujących przestrzeń porową skały i jej wypełnienie, co w warunkach grubowarstwowych, czystych litologicznie (słabo zailonych) formacji zbiornikowych było dotychczas ekonomicznie uzasadnione. Z drugiej strony metody jądrowe muszą pokonywać trudności wynikające z trudności w efektywnym oddzieleniu sygnału użytecznego od zakłóceń pochodzących od czynników zaburzających, takich jak własności płynów złożowych i otworowych. Ograniczenia te, przy obecnym stanie rozwoju procedur kalibracyjnych, bazujących nie tylko na pomiarach doświadczalnych, ale coraz częściej na symulacyjnych obliczeniach komputerowych, mogą być w znaczącym stopniu eliminowane. Wymaga to zaangażowania fizyków specjalizujących się w zagadnieniach transportu promieniowania w ośrodkach skalnych.

Dostarczenie przez metody jądrowe wiarygodnych danych o wartościach koncentracji w/w pierwiastków jak i wartościach parametrów kompleksowych, potrzebnych dla wykrywania obecności węglowodorów, wymaga z kolei prac badawczych o charakterze chemiczno – mineralogicznym i petrofizycznym. Z jednej strony konieczne jest budowanie, dla określonych formacji geologicznych, modeli wiążących skład chemiczny ze składem mineralnym, z drugiej zaś badanie powiązań tego składu mineralnego z własnościami fizycznymi takimi jak oporność elektryczna szkieletu skalnego, obecność wody związanej i swobodnej, absorpcja neutronów, porowatość, przepuszczalność, które wskazują na obecność, ilość i dostępność węglowodorów w skałach.

## **2. Zakres prac badawczych**

Celem pracy jest opracowanie pełnej (kalibracja geofizyczna i geologiczna) procedury obliczeniowej (algorytmu i programu komputerowego) pozwalającej na identyfikację składu mineralnego i wyznaczenie wybranych parametrów petrofizycznych (CEC, gęstość szkieletowa, porowatość) skał na podstawie kompletu pomiarów neutronowych, gamma – gamma i naturalnej promieniotwórczości (H, Si, Ca, Fe, Al, K, U, Th,  $\Sigma_a$ (B, REE),  $P_e$ , gęstość objętościowa).

Zadanie jest realizowane w oparciu o wyniki laboratoryjnych badań własności fizycznych i mineralogicznych próbek skalnych dla wybranych interwałów z otworów Jasionka 4 i Chałupki Dębniańskie 3 w utworach mioceńskich Przedgórze Karpat oraz w oparciu o

profilowania geofizyczne wykonane w tych otworach. Do badań wykorzystano istniejące wyniki pomiarów właściwości fizycznych i mineralogicznych rdzeni wiertniczych z ww otworów. Dla tych samych próbek, z zachowaniem restrykcyjnych procedur wyboru prób, zostały wykonane analizy mineralogiczne (badania rentgenograficzne ilościowego składu mineralnego, pomiary pojemności wymiany jonowej i całkowitej powierzchni właściwej. Wyniki analiz przedstawiono w **Załączniku 1**. Interpretację geofizyczną przeprowadzono na podstawie pełnych zestawów pomiarów geofizycznych, w tym nowych pomiarów wykonanych sondami jądrowymi NNTE oraz sPNG. Do interpretacji wykorzystywany był system interpretacji kompleksowej ULTRA oraz GeoWin<sup>®</sup> wraz z aplikacją SATUN. Do analizy geochemiczno-mineralogicznej zastosowano wielowymiarową analizę regresyjną, której założenia i wyniki przedstawiono w **Załączniku 2**.

W zakresie rozwoju metod interpretacyjnych dla sondy NNTE, która dla celów kalibracji wykorzystuje metodę półempirycznej kalibracji Czubka, wykonano oprogramowanie komputerowe do obsługi systemu obliczeniowego LMBRIN i stowarzyszonych z nim programów SLOWN i NEROTH. Wprowadzono również, zaktualizowane według najnowszych wersji bibliotek parametrów prędkich neutronów, grupowe parametry neutronowe, z których korzysta program SLOWN. Aktualizacja została wykonana na podstawie pierwotnych bibliotek ewaluowanych danych jądrowych zapisywanych w formacie ENDF/B-VI. Zbiory tych bibliotek są ogólnie dostępne na serwerach wielu ośrodków, m.in. w Brookhaven National Laboratory, NEA Data Bank, IAEA w Wiedniu itp., co jest gwarancją możliwości wykonywania w przyszłości kolejnych aktualizacji. Szczegóły przedstawiono w **Załączniku 3**.

Stosując metodę numerycznych symulacji Monte-Carlo przy użyciu programu MCNP, obliczono odpowiedzi detektorów sondy NNTE w geometrii otworowej dla skał o składzie chemicznym odpowiadającym składowi chemicznemu próbek pobranych z rdzeni wiertniczych otworów Jasionka-4 oraz Chałupki Dębniańskie-3 (**Załącznik 4 i 5**). Obliczenia te zostały następnie wykorzystane dla celów analizy obliczeń wynikowych stosowanych do przetwarzania profili geofizycznych przedstawionych w niniejszym projekcie.

W zakresie rozwoju metod kalibracyjnych dla spektrometru SO-5-90SN (sonda typu sPNG), przeprowadzono również serię symulacji komputerowych programem MCNP w analogicznych układach geometryczno-materiałowych, jak dla sondy NNTE (**Załącznik 6**). W związku z obecnością silnych absorbentów neutronów w badanych ośrodkach skalnych, które znacząco wpływały na odpowiedź sondy, obliczenia te mają istotny wpływ na jakość kalibracji sondy.

Wnioski uzyskane na tym etapie badań pozwoliły na wybór nowego obszaru formacji mioceńskiej Przedgórze Karpat, pod kątem kontynuacji dotychczasowych badań. Przeprowadzono kompleksowe badania właściwości skał zbiornikowych, reprezentujących cienkowarstwowe utwory mioceńskie, na podstawie rdzeni pobranych z otworów Dzików-12, 13 i 15 (**Załącznik 7**). Dla wybranych próbek rdzeni wykonano pilotażową serię pomiarów przekroju czynnego absorpcji neutronów termicznych. Pomiary wykonano metodą Czubka na stanowisku pomiarowym przy generatorze neutronów IFJ PAN (**Załącznik 8**).

Włączenie do badań nowego rejonu geologicznego pozwoli, w kolejnym etapie prac, na uogólnienie opracowywanej procedury obliczeniowej służącej do identyfikacji składu mineralnego i wyznaczenia wybranych parametrów petrofizycznych na podstawie jądrowych pomiarów geofizyki otworowej.

### 3. Procedura obliczeń wynikowych do przetwarzania profilowań geofizycznych

Procedura obliczeniowa dla celów geofizyki wiertniczej musi być osadzona w odpowiednim systemie interpretacyjnym, umożliwiającym z jednej strony dostęp do typowych form archiwizacji danych pomiarowych, z drugiej zaś prezentację wyników w powszechnie stosowanych standardach graficznych. Dla warunków miocenu Przedgórze Karpat warunki takie stwarza system GeoWin<sup>®</sup> (Jarzyna J. i in. 2002). Związana z tym systemem aplikacja SATUN przeznaczona jest do interpretacji gazonośnych formacji cienkowiekowych. Aplikacja ta jest rozwijana od szeregu lat (Zorski T., Twaróg W., 2004, Zorski T., 2005), a podstawowym jej celem jest przetwarzanie pomiarów geofizyki wiertniczej pod kątem wyznaczania parametrów złożowych w piaszczysto-ilastych formacjach cienkowiekowych. Dotychczasowy rozwój stosowanej metodyki związany był z gazonośnymi formacjami Przedgórze Karpat, stanowiącymi typowy przykład tego typu złóż.

Dalszy rozwój metodyki zmierza w stronę coraz dokładniejszego definiowania modelu petrofizyczno – geofizycznego, a zatem i wprowadzania nowych parametrów opisujących ten model. Wiarygodna ocena porowatości, nasycenia przestrzeni porowej węglowodorami, czy oszacowanie przepuszczalności wymaga, oprócz rutynowej analizy klasycznego zestawu profilowań geofizyki otworowej (oporność, gęstość, porowatość neutronowa, naturalna promieniotwórczość), rozszerzenia zakresu danych geofizycznych. Wprowadzenie nowych metod jądrowych, takich jak pomiar przekroju czynnego absorpcji neutronów  $\Sigma_a$  (sonda NNTE), czy spektrometryczny pomiar neutron – gamma (sPNG) daje możliwość identyfikacji składu mineralnego, oceny obecności wody związanej i wskaźnika pojemności wymiany kationów CEC.

Podstawą do badania efektywności i prawidłowego funkcjonowania modelu petrofizyczno – geofizycznego są badania laboratoryjne obejmujące szeroki zakres analiz petrofizycznych, mineralogicznych i chemicznych. Wykazano, że skutecznym narzędziem obliczeniowym dla określania składu mineralnego i pojemności wymiany kationów CEC jest analiza regresyjna (Mystkowski K. i in., 2004), dająca powiązanie funkcyjne pomiędzy parametrami mierzalnymi metodami geofizycznymi (np.:  $\Sigma_a$ , Si, Ca, K, Fe) a zawartością wybranych minerałów czy wskaźnikiem pojemności wymiany kationów CEC. Finalnym wynikiem badań laboratoryjnych i ich analizy statystycznej powinny być wytypowane zestawy parametrów (zmiennych) istotnie powiązanych ze składem mineralnym i wskaźnikiem CEC, wraz z wyznaczonymi współczynnikami regresji dla poszczególnych zmiennych. Przykłady takich zestawów parametrów przedstawiono w **Tabeli 1**, w której porównano efektywność obliczeń regresyjnych z sieciami neuronowymi. Sieci neuronowe nie dają z reguły oceny, które ze zmiennych wnoszą istotną informację o szukanym parametrze – pozwalają jedynie w efektywny sposób wytrenować sieć tak, aby na podstawie całego dostępnego zbioru zmiennych można było wyznaczyć szukany parametr. W przypadku zależności regresyjnych, dysponując takim samym zbiorem danych, możemy wytypować te zmienne, które w istotny sposób skorelowane są z szukanymi parametrami. Parametry, które nie są istotne lub są wzajemnie skorelowane, usuwane są z zależności regresyjnych. W przypadku dysponowania większą ilością zmiennych niezależnych możemy dokonywać swoistego doboru zestawów tych zmiennych tak, aby dostosować je do dostępnych pomiarów geofizycznych. Dlatego też w **Tabeli 1** podano dwa zestawy zmiennych regresyjnych: pierwszy optymalny, wynikający z analizy wszystkich dostępnych danych laboratoryjnych, oraz drugi, zredukowany do tych zmiennych, które dostępne są aktualnie w pomiarach geofizycznych.

**Tabela 1.** Porównanie modeli mineralogicznych otrzymanych przy pomocy sieci neuronowych i wielowymiarowej analizy regresyjnej

Minerały lub CEC	Sieci neuronowe ( $P_e, \Sigma_a, K, Si, Ca, Fe, Th, U, W$ )		Regresja wielokrotna (zestaw optymalny)		Regresja wielokrotna (zestaw zredukowany)	
	Profilowania	$R^2$	Profilowania	$R^2$	Profilowania	$R^2$
SUMIL	$P_e, \Sigma_a, K, Si, Ca, Fe, Th, U, W$	0.9876	K, W, Si	0.9865	$\Sigma_a, Fe$	0.9781
Kwarc	$P_e, \Sigma_a, K, Si, Ca, Fe, Th, U, W$	0.9920	Si, K	0.9895	Si, K	0.9895
Kalcyt	$P_e, \Sigma_a, K, Si, Ca, Fe, Th, U, W$	0.9883	Ca, U, W, Th, $\Sigma_a$	0.9761	Ca, $GR_{tot}$ , Fe, Si	0.9559
CEC		brak danych	$\Sigma_a, K$	0.9436		brak danych

*Objaśnienia zmiennych występujących w Tabeli:* (wszystkie wartości odnoszą się do szkieletu skalnego): SUMIL, Kwarc, Kalcyt – wagowa zawartość sumy minerałów ilastych, kwarcu, kalcytu; CEC – wskaźnik pojemności wymiany kationowej odniesiony do jednostki masy skały;  $P_e$  – indeks absorpcji fotoelektrycznej;  $\Sigma_a$  – przekrój czynny absorpcji neutronów; K, Si, Fe, Th, U, W – wagowa zawartość potasu, krzemu, żelaza, toru, uranu, wody;  $GR_{tot}$  – całkowita naturalna promieniotwórczość  $\gamma$ .

Modele geochemiczno-mineralogiczne użyteczne przy interpretacji wyników pomiarów w otworach wiertniczych muszą uwzględniać zarówno podstawowe charakterystyki analizowanych skał jak również możliwości pomiarowe. Dla rozważanego przypadku formacji miocénskich Przedgórze Karpat założono, że mamy możliwość określenia zawartości trzech pierwiastków: Si, Ca, Fe, przekroju czynnego absorpcji neutronów termicznych  $\Sigma_a$ , a także wartości całkowitego naturalnego promieniowania  $\gamma$  ( $GR_{tot}$ ). Ograniczona liczba mierzonych parametrów wyklucza możliwość wyznaczenia wszystkich składników mineralnych skał. Należy więc skupić się na tych, których koncentracja w skałach jest na tyle wysoka, że decyduje o charakterze skały, oraz na tych, które posiadają wystarczającą zmienność, co warunkuje stabilność obliczeniową modelu. Zdecydowano, że modele powinny dotyczyć oznaczenia zawartości sumy minerałów ilastych - zmienna SUMIL, zawartości kwarcu, kalcytu a także wskaźnika pojemności wymiany kationowe CEC, który wiąże się ściśle z zawartością minerałów ilastych, głównie smektytu. Szczegółowy opis zastosowanej wielowymiarowej analizy regresyjnej przedstawiono w **Załączniku 2**.

W **Tabeli 2** zebrano wyniki obliczeń regresyjnych i uzyskane zestawy zmiennych regresji na podstawie danych z otworów Jasionka 4 i Chałupki Dębnińskie 3. Szukanym parametrom ( $y_i$ : SUMIL, Kwarc, Kalcyt, CEC) przyporządkowano parametry wybrane ze zbioru wielkości zmierzonych ( $x_{ij}$ :  $\Sigma_a$ , Si, Ca, Fe,  $GR_{tot}$ ), wraz z wyznaczonymi współczynnikami  $b_{ij}$ , oraz  $a_i$  użytymi dalej do interpretacji zgodnie z układem równań:

$$y_i = a_i + b_{ij}x_{ij}$$

Liczba i wybór użytych w danym równaniu zmiennych  $x_{ij}$  zależy od dostępnych geofizycznych metod pomiarowych jak i od uzyskiwanej w tych metodach dokładności. Dla przykładu, naturalna promieniotwórczość może być reprezentowana jako  $GR_{tot}$  lub jako wartości koncentracji K, U i Th. W warunkach formacji cienkowarstwowych, gdzie interesują nas warstewki kilkunasto centymetrowe lub mniejsze, wpływ fluktuacji statystycznych uniemożliwia, przy standardowym trybie pomiarów, uzyskanie zadowalających dokładności oznaczania K, U i Th, co powoduje, że możemy korzystać jedynie z danych  $GR_{tot}$ . Dlatego w obliczeniach, których wyniki prezentuje **Tabela 2**, koncentracje K, U i Th zostały wyłączone. Stąd też pojawiają się różnice w zestawach zmiennych w Tabelach 1 i 2. Wcześniejsze bowiem obliczenia, których wyniki zawiera **Tabela 1**, dopuszczały możliwość wykorzystania zawartości K, U i Th. Skutkiem tego, przykładowo CEC, wyznaczany jest aktualnie (**Tabela 2**) na podstawie zmiennych  $\Sigma_a$  i Ca ( $R^2=0.92$ ), podczas gdy poprzednio

(Tabela 1), przy dopuszczeniu do obliczeń regresyjnych K, U i Th, jako zmienne istotne pojawiały się  $\Sigma_a$  i K ( $R^2=0.94$ ).

**Tabela 2.** Przykład zestawu zmiennych regresyjnych do wyznaczania składu mineralnego i wskaźnika CEC – wyniki dla otworów Jasionka 4 i Chałupki Dębniańskie 3 (dane kwiecień 2007)

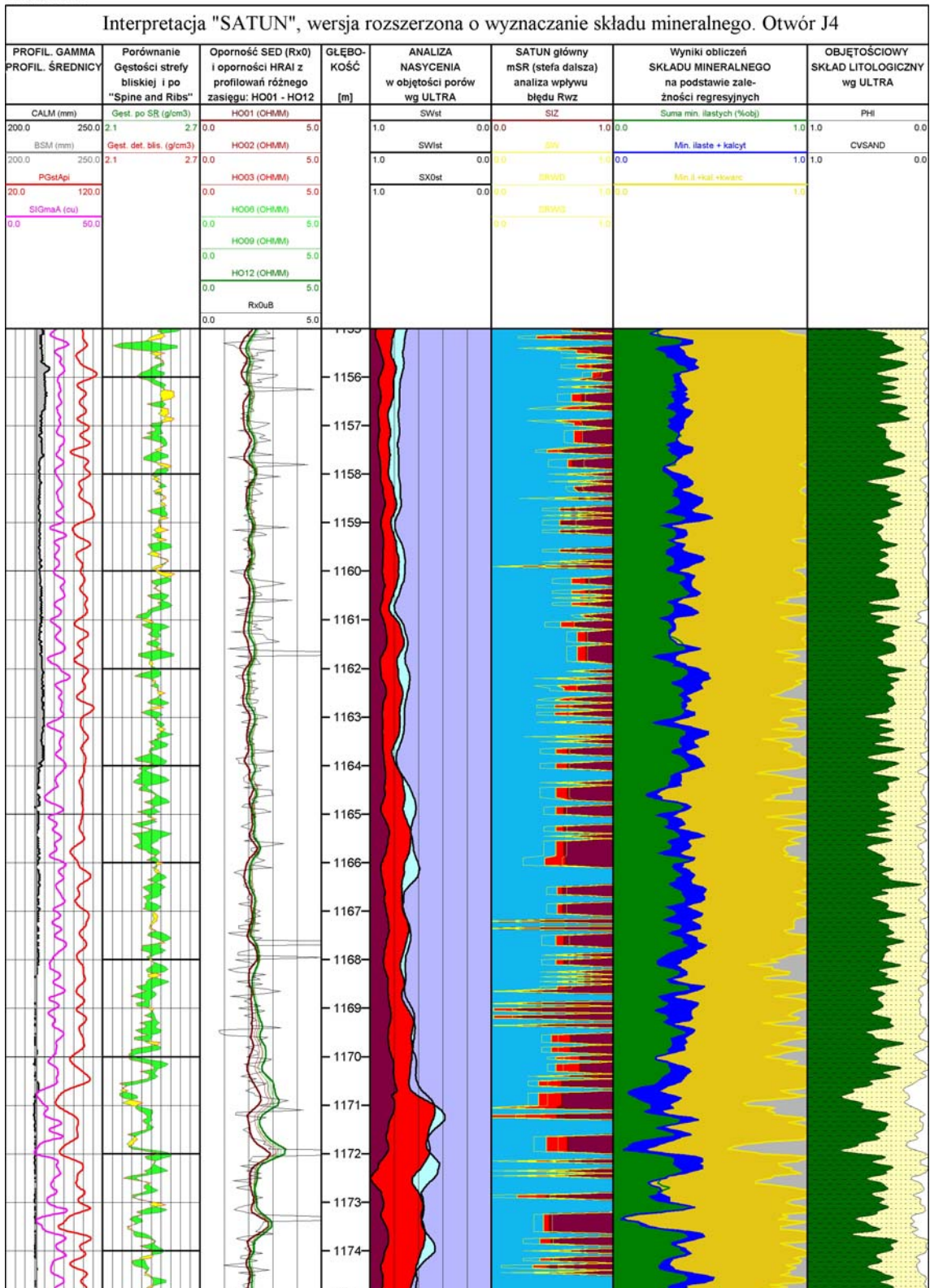
Parametr szukany	$R^2$	Błąd std	$\Sigma_a$	Si	Ca	Fe	GR <sub>tot</sub>	Wyraz wolny
$y_i$			$x_{ij}$					$a_i$
Sumil	0.95	3.73	6103.3	-	-	-	-	-30.00
Kwarc	0.98	2.46	-	4.61	2.9	3.39	-	-116.58
Kalcyt	0.95	1.05	-	-	2.24	0.86	-0.0657	-1.24
CEC	0.92	2.15	2593.5	-	0.55	-	-	-17.50

W celu umożliwienia realizacji tego typu obliczeń wprowadzono specjalny segment SUBROUTINE MINERA w aplikacji SATUN, który zawiera odpowiednie wzory przeliczające sygnały sond geofizycznych na skład mineralny i wskaźnik CEC. W rezultacie dysponujemy szybką ścieżką wprowadzania modyfikacji modeli, o ile takie w wyniku prowadzonych badań laboratoryjnych ulegają zmianom. Jednocześnie uzyskiwane rozwiązania z wykorzystaniem opracowanych modeli i nowych metod geofizycznych mogą być bezpośrednio zastosowane w praktyce i porównywane z wcześniej stosowanymi rozwiązaniami.

Jako przykłady, przedstawiono poniżej wyniki zastosowania modeli opracowanych dla otworów Jasionka 4 i Chałupki Dębniańskie 3 dla wybranych interwałów, w których dysponowano pełnymi zestawami pomiarów geofizycznych, w tym nowymi pomiarami sondą NNTE i sPNG. Przykłady te opracowano przy użyciu aplikacji SATUN, w której wykorzystano ww segment SUBROUTINE MINERA.

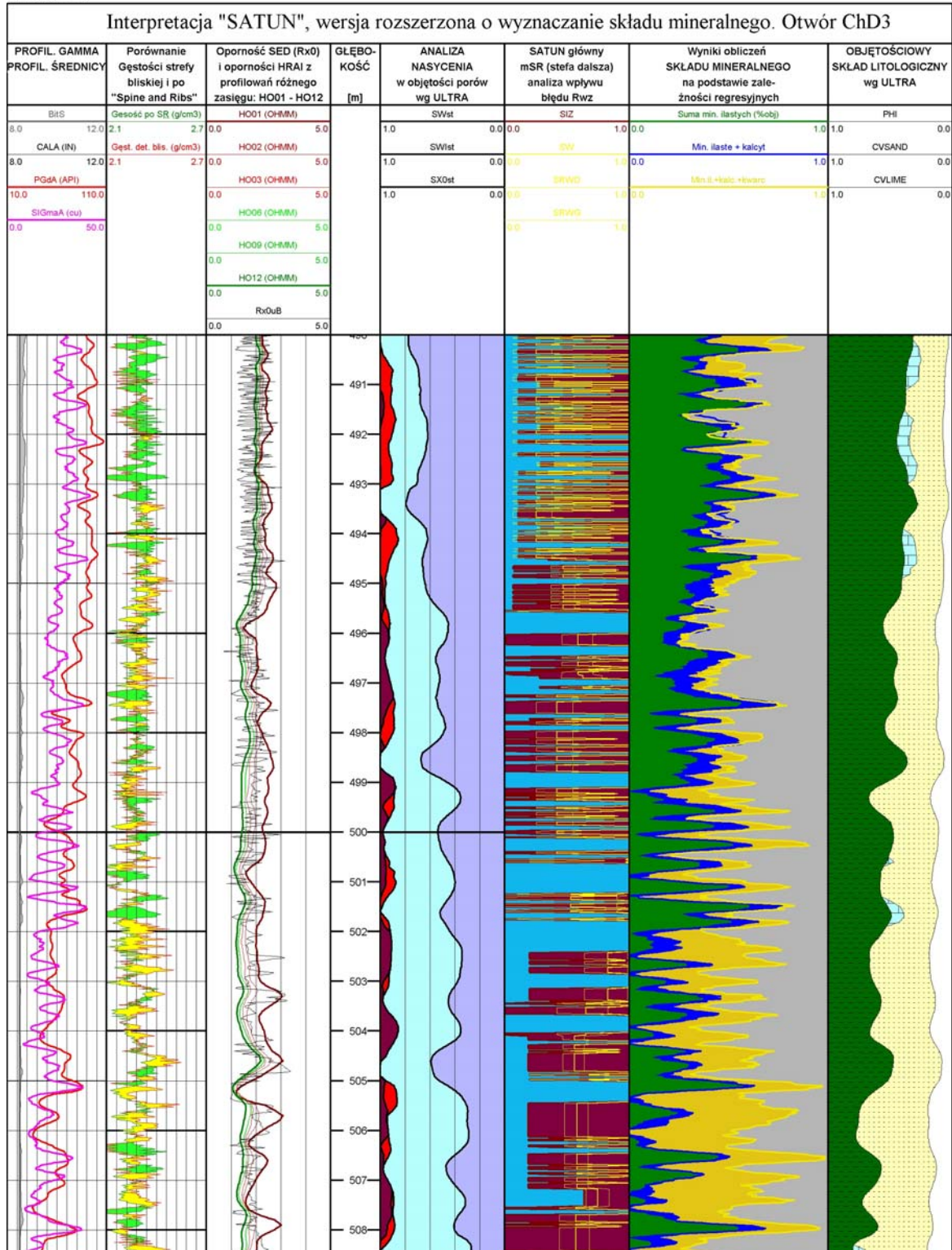


ProGeo 3.8



**Fig. 1.** Wyniki oznaczania składu mineralnego na podstawie zależności regresyjnych uwzględniających pomiar koncentracji Si, Ca i Fe metodą spektrometrii neutron gamma (sPNG) i parametru  $\Sigma_a$  sondą rejestrująca jednocześnie neutrony termiczne i epitermiczne (NNTE). Wyniki przedstawiono w zestawieniu z interpretacją nasycenia programem SATUN, oraz interpretacją nasycenia i litologii programem ULTRA. Otwór Jasionka 4, interwał 1155 – 1175 m.

ProGeo 3.8



**Fig. 2.** Wyniki oznaczania składu mineralnego na podstawie zależności regresyjnych uwzględniających pomiar koncentracji Si, Ca i Fe metodą spektrometrii neutron gamma (sPNG) i parametru  $\Sigma_a$  sondą rejestrującą jednocześnie neutrony termiczne i epitermiczne (NNTE). Wyniki przedstawiono w zestawieniu z interpretacją nasycenia programem SATUN, oraz interpretacją nasycenia i litologii programem ULTRA. Otwór Chalupki Dębnińskie 3, interwał 490 – 510 m.

Obydwe **Figure 1 i 2** mają identyczną formę graficzną wynikającą z możliwości programu graficznego PROGeo. Po lewej stronie kolumny z opisem głębokości znajdują się

trzy panele z wybranymi pomiarami geofizycznymi pozwalającymi ocenić jakościowo charakter badanego ośrodka. W panelu pierwszym zestawiono średnicę otworu wraz ze średnicą wiercenia, oraz profilowanie naturalnej promieniotwórczości (krzywa czerwona, jednostki API) i przekrój czynny absorpcji neutronów  $\Sigma_a$  (krzywa różowa, jednostki c.u.). W drugim panelu zestawiono pomiary gęstości objętościowej wykonane sondą mierzącą gęstość w dwóch zasięgach radialnych: bliskim – kilka cm (krzywa czerwona) i dalekim – kilkanaście cm (krzywa zielona). Odcinki obniżonej gęstości strefy przyotworowej zacieniono na zielono a strefy podwyższonej gęstości na żółto. Podwyższenie gęstości strefy bliskiej świadczy o większej przepuszczalności skutkującej przenikaniem do przestrzeni porowej stałych cząstek zawieszonych w płuczce. W panelu trzecim zamieszczono niektóre pomiary oporności, w tym sześć krzywych sondy HRAI (High Resolution Array Induction) HO01 – HO12, o zakresach radialnych 10 do 120 cali, a także profilowanie oporności utworzone na podstawie pomiaru upadomierzem SED (Six-arm Electric Deepmeter).

Po prawej stronie kolumny głębokościowej znajdują się cztery panele zawierające wyniki interpretacji. Czwarty panel (licząc od początku, bez kolumny głębokościowej) zawiera analizę nasycenia w przestrzeni porowej wg programu ULTRA. Jasno czerwone pola odpowiadają objętości zajmowanej przez węglowodory w dalekiej strefie radialnej, zaś pola ciemno czerwone to samo dla strefy bliskiej. Pozostała część przestrzeni porowej to woda rozdzielona na wolną (kolor jasno niebieski) i związaną (kolor jasno fioletowy). Następny, piąty panel zawiera podobną analizę nasycenia przestrzeni porowej wg programu SATUN. Tutaj jasno czerwone pola odpowiadające nasyceniu węglowodorami (gazem) obwiedzione są żółtą linią, po której obydwu stronach znajdują się dodatkowe również żółte linie odpowiadające wartościom nasycenia, gdy określamy je dla oporności wody złożowej powiększonej i pomniejszonej o wartość spodziewanego błędu (tu dla obu otworów przyjęto 20%). Porównując obydwie otwory można zauważyć istotną różnicę jakościową. W Jasionce 4 (**Fig. 1**) nasycenia gazem strefy dalekiej są większe niż dla strefy bliskiej, co jest typowe przy płytkiej filtracji płuczki do skały. W Chałupkach Dębniańskich 3 (**Fig. 2**) mamy sytuację odwrotną, gdzie wyższe oporności stref bliższych (por. panel trzeci) powodują sztuczne zawyżenie nasycenia gazem strefy bliskiej (ciemno czerwone pola maskują pola jasno czerwone, pozostają jednak widoczne żółte linie nasycenia gazem strefy dalekiej – niezmienionej). To sztuczne zawyżenie w strefie filtracji wynika z podniesienia oporności spowodowanego wypełnieniem skały wysokooporowym filtrem płuczkowym, podczas gdy do obliczeń nasycenia brana jest niższa oporność wody złożowej.

Opisując analizę nasycenia programem SATUN należy zwrócić uwagę na dwa fakty. Po pierwsze, obliczenia oporności, a zatem i nasycenia bazują na zależności Waxmana – Smitsa (Zorski, 2005), co oznacza konieczność wprowadzenia wskaźnika pojemności wymiany kationowej CEC. W prezentowanych przykładach do tego celu wykorzystano zależność regresyjną (**Tabela 2**), oraz wyniki pomiaru sondą NNTE. Po drugie, aktualna wersja programu SATUN nie daje możliwości rozdzielania wody wolnej i związanej. Równoległe prowadzone prace mineralogiczne (**Załącznik 1**), jak i wprowadzenie do obliczeń porowatości neutronowej epitermicznej, powinny w kolejnym etapie rozwoju programu rozszerzyć zakres interpretacji w tym kierunku.

Kolejny, szósty panel omawianych rysunków, zawiera wyniki obliczeń składu mineralnego (suma minerałów ilastych, kwarc i kalcyt) na podstawie pomiarów rozszerzonych o doświadczalną, spektrometryczną sondę neutron – gamma (sPNG – SO-5-90SN), dającą koncentracje Si, Ca i Fe. Do obliczeń składu mineralnego użyto odpowiednich zależności regresyjnych z **Tabeli 2**. Wyniki tych obliczeń można porównać z zawartością ostatniego, siódmego panelu, gdzie podany jest objętościowy skład litologiczny wg programu ULTRA. Ocena wyników wyznaczania składu mineralnego w oparciu o zależności regresyjne uwzględniające pomiary sPNG prowadzi do wniosku, że o ile jakościowo wyniki te oddają

zmiany charakteru profilu, szczególnie rozdzielając strefy ilowcowe od zapiaszczonych, to ilościowo są one niepewne. Widzimy, że w otworze Jasionka 4 mamy zdecydowanie zawyżone koncentracje kwarcu, podczas, gdy w Chałupkach Dębnińskich 3, odwrotnie ilości kwarcu są za niskie. Jedną z przyczyn takiej sytuacji jest prawdopodobnie wpływ temperatury na wyniki pomiaru. Sprawa ta wymaga, w przypadku ponownych pomiarów doświadczalnych sondą sPNG (SO-5-90SN), zastosowania specjalnej procedury pomiarowej, poprzedzonej doświadczalnym zbadaniem jej charakterystyk temperaturowych. W przypadku zapotrzebowania przemysłowego na tego typu pomiary konieczna będzie konstrukcja nowej, stabilizowanej termicznie sondy.

#### **4. Ocena dokładności obliczania składu mineralnego i CEC na podstawie obliczeń symulacyjnych Monte Carlo odpowiedzi sond jądrowych dla skał reprezentatywnych dla formacji mioceńskiej Przedgórze Karpat.**

Ocena dokładności interpretacyjnych procedur geofizyki wiertniczej jest o tyle trudna, że finalny wynik uzyskiwany jest po kilku etapach przetwarzania wyników pomiarów otworowych:

- wykonanie i zapisanie pomiarów otworowych i laboratoryjnych,
- wprowadzanie poprawek redukujących wpływy otworu, stref wokół-otworowych, warstw otaczających, niektórych własności sondy, tak aby poprawiony sygnał był jak najbliższy rzeczywistym wartościom mierzonych parametrów skały. Na tym etapie wykonywana jest też kalibracja pomiarów, czyli przeliczenie sygnału bezpośrednio powstającego w sondzie na wielkości fizyczne takie jak gęstość, porowatość itp. Ten etap można nazwać *interpretacją geofizyczną*,
- *interpretacja petrofizyczna*, w której na podstawie dostępnych parametrów fizycznych z poprzednich etapów, oraz na podstawie znanego modelu petrofizycznego interpretowanej formacji, wyznaczane są finalne parametry złożowe, takie jak gęstość, porowatość, skład mineralny czy przepuszczalność. Na tym etapie, w zależności od stopnia skomplikowania ośrodka skalnego, oraz zakresu wykonanych pomiarów geofizycznych i badań laboratoryjnych, interpretator dokonuje wielu prób zmierzających do otrzymania spójnego obrazu formacji. Podejmowane na tym etapie decyzje mogą mieć czasem charakter arbitralny, bazujący na doświadczeniu i dodatkowej wiedzy o danym środowisku geologicznym. Na tym właśnie etapie dokonywana jest ostateczna ocena jakości i przydatności metod geofizycznych.

W przypadku metod jądrowych stosowanych w warunkach miocenu Przedgórze Karpat podstawowymi oczekiwanymi parametrami petrofizycznymi są porowatość skały oraz skład i własności jej szkieletu determinujące własności elektryczne, które mają bezpośredni wpływ na ocenę nasycenia przestrzeni porowej. Oczekiwane jest także oszacowanie przepuszczalności skał.

Przedmiotem badań są dwie sondy neutronowe. Pierwsza, to stosowana już na niewielką skalę przemysłową, sonda NNTE służąca do wyznaczania przekroju czynnego absorpcji neutronów  $\Sigma_a$  i porowatości neutronowej. Obydwa te parametry mają charakter kompleksowy, co oznacza, że na ich wartość wpływa wiele składników skały. Znane zależności dla formacji mioceńskiej pokazują, że szczególnie cennym parametrem jest przekrój czynny  $\Sigma_a$ , który okazuje się wielkością silnie skorelowaną ze zdolnością wymiany kationowej CEC, będącej podstawową wartością decydującą o oporności elektrycznej szkieletu skalnego. Wysoka pionowa rozdzielczość profilowania  $\Sigma_a$ , jak i niski, w stosunku do konkurencyjnego profilowania naturalnej promieniotwórczości, szum fluktuacji statystycznych czyni z sondy NNTE bardzo atrakcyjne narzędzie.

Druga sonda, będąca aktualnie jedynie narzędziem doświadczalnym, którą jest spektrometryczna sonda neutron-gamma (sPNG – SO-5-90SN) umożliwia wyznaczenie zawartości trzech podstawowych pierwiastków skałotwórczych: krzemu, wapnia i żelaza. Każdy z tych pierwiastków odgrywa istotną rolę w budowie skał miocenu przedgórza Karpat, co znalazło potwierdzenie w badaniach statystycznych na próbkach skalnych (**Tabele 1 i 2**).

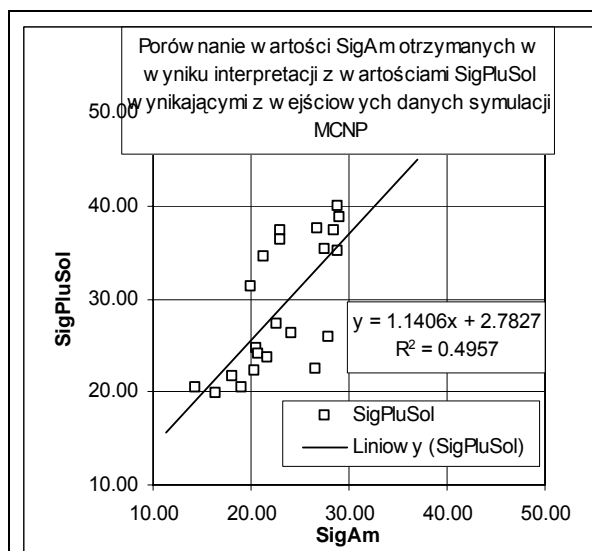
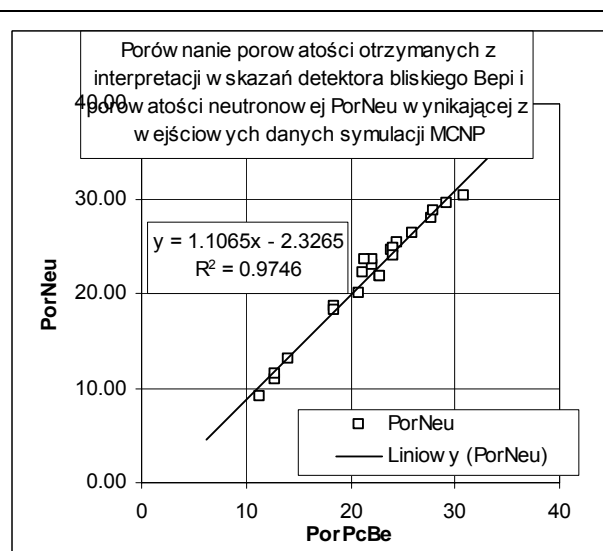
Możliwość wykonania obliczeń symulacyjnych dla obydwu tych sond pozwala na niezależną ocenę dokładności procedur interpretacyjnych z rozbiciem na wyżej wymienione etapy przetwarzania danych. W szczególności możemy pominąć dokładność pomiarów, oraz rozdzielić etap interpretacji geofizycznej od petrofizycznej. W tym celu wybrano 18 próbek z kilkudziesięciu badanych w otworach Jasionka 4 i Chałupki Dębniańskie 3. Wszystkie parametry tych próbek przedstawione są w **Załączniku 4**. Zestaw tych 18 indywidualnych próbek uzupełniono o dodatkowe dwie hipotetyczne skały o składach odpowiadających średnim ilowcom i średnim piaskowcom. Dla każdej z tych skał przyjęto w obliczeniach symulacyjnych dwa poziomy zasolenia wody wypełniającej przestrzeń porową wynoszące 30 kppm (czyli tak jak dla poprzednich 18 próbek), oraz 80 kppm. W rezultacie ilość symulowanych ośrodków powiększyła się do 22 modeli. Parametry tych modeli posłużyły wykonaniu obliczeń symulacyjnych MCNP, w wyniku których otrzymano odpowiedzi sondy NNTE i sPNG charakteryzujące nieskończony ośrodek skalny przecięty otworem o średnicy 216 mm, którego skład i własności petrofizyczne odpowiadają omówionym próbkom. Tego typu materiał badawczy, wobec wysokiej wiarygodności obliczeń Monte Carlo, stanowi doskonały zbiór do oceny dokładności procedur interpretacyjnych. Wybór realnych skał daje możliwość uwzględnienia faktycznej zmienności poszczególnych składników i parametrów skały na dokładność szukanych niewiadomych.

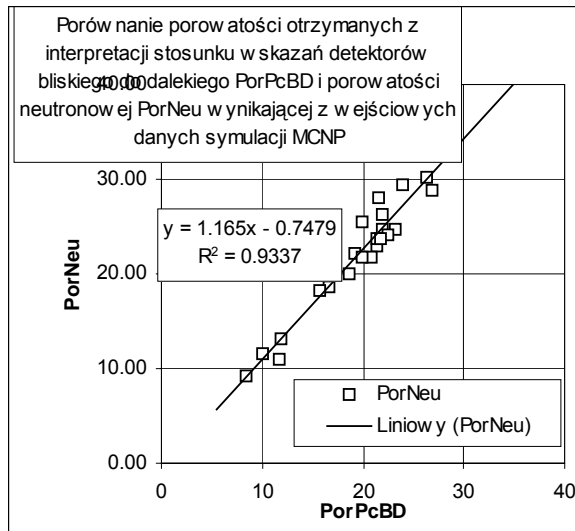
#### 4.1. Ocena dokładności interpretacji geofizycznej dla sondy NNTE

Opis wykonanych obliczeń symulacyjnych dla sondy NNTE znajduje się w **Załączniku 5**. Zbiorcze wyniki tej symulacji przedstawiono w **Tabeli 3**, wraz z wynikami przeprowadzonej interpretacji geofizycznej. Częstości zliczeń poszczególnych detektorów sondy NNTE poddano procedurze interpretacyjnej opracowanej dla sondy NNTE w formacjach mioceńskich Przedgórza Karpat (Zorski, Stadtmuller, 2001). W wyniku tej interpretacji otrzymano trzy parametry: SigAm – przekrój czynny absorpcji neutronów szkieletu skalnego, przy założeniu wypełnienia przestrzeni porowej wodą słodką, PorPcBe – porowatość neutronową standardu piaskowcowo – ilastego (tzw. standard mioceński) wg wskazań detektora bliskiego epitermicznego, PorPcBD – analogiczną porowatość neutronową, ale wg stosunku zliczeń detektorów epitermicznych bliskiego do dalekiego. Odpowiadające wynikom interpretacji wartości rzeczywiste ww parametrów obliczono na podstawie własności i składu skał będących podstawą obliczeń symulacyjnych MCNP. Wartości te to: SigPluSol czyli przekrój czynny szkieletu skalnego (SigMaMod) powiększony o absorpcję soli występującej w wodzie złożowej wypełniającej przestrzeń porową (procedura interpretacyjna, w której zakładamy wypełnienie przestrzeni porowej wodą słodką, przenosi absorpcję neutronów wynikającą z zasolenia wody złożowej do szkieletu skalnego), oraz PorNeu, czyli porowatość skały powiększona o wpływ wody związanej ze szkieletem. Graficzne porównanie wyinterpretowanych wartości  $\Sigma_a$  i porowatości neutronowych z odpowiadającymi im wartościami modelowymi przedstawiono na **Fig. 3 ÷ 5**.

**Tabela 3.** Zestawienie danych z symulacji odpowiedzi sondy NNTE dla reprezentatywnego zestawu skał mioceńskich z wynikami ich interpretacji porównanych z rzeczywistymi parametrami skał.

Próbka	Symulacja MCNP odpowiedzi sondy NNTE			Interpretacja odpowiedzi sondy NNTE			Rzeczywiste wartości parametrów skał		
	Bter [imp/s]	Bepi [imp/s]	Depi [imp/s]	SigAm [c.u.]	PorPcBe [%]	PorPcBD [%]	SigMaMod [c.u.]	SigPluSol [c.u.]	PorNeu [%]
J4/13A	711.45	245.84	108.76	20.63	18.39	16.71	23.46	24.76	18.63
Ch-3/51	657.62	218.57	90.29	19	24.54	19.94	18.28	20.51	25.42
Ch-3/33	511.08	201.06	74.38	27.61	30.92	26.25	34.19	35.42	30.24
J4/4	818.61	293.54	147.67	20.06	12.83	11.7	31.22	31.30	10.93
Ch-3/38	605.04	208.8	83.73	20.77	27.79	21.48	21.78	24.10	27.95
J4/23C	855.49	279.91	140.26	16.36	14.1	11.83	18.78	19.81	13.13
Ch-3/27	557.01	220.85	85.88	29.07	23.87	23.19	37.27	38.66	24.61
Ch-3/20	555.64	219.84	87.5	28.9	24.16	21.89	33.59	35.05	24.68
Ch-3/13	677.82	231.23	96.92	20.36	21.24	19.21	20.46	22.17	22.09
J4/30A	639.93	227.83	91.5	22.69	22.03	21.4	25.54	27.20	22.88
J4/30B	591.26	233.36	98.84	28.88	20.76	18.71	38.92	39.90	20.05
Ch-3/41	748.02	245.56	111.3	18.04	18.44	15.67	20.28	21.75	18.30
Ch-3/26A	583.16	205.17	78.86	21.71	29.19	23.87	21.28	23.67	29.48
Ch-3/3B	525.61	208.35	76.28	28.43	27.96	26.93	35.72	37.41	28.79
J4/14B-1	576.07	220.1	86.69	26.82	24.09	22.46	36.35	37.55	24.02
J4/2-p	970.35	311.54	173.59	14.25	11.29	8.47	20.39	20.54	9.15
J4/16A-p	584.8	214.17	85.14	24.22	25.92	21.95	24.30	26.29	26.37
J4/9-1	774.25	293.73	155.6	23.07	12.82	9.99	37.24	37.31	11.52
sr-pia_30kppm	598.78	227.94	91.68	26.59	22.01	21.32	20.51	22.39	23.65
sr-pia_80kppm	594.16	231.13	92.2	27.91	21.29	21.73	20.51	25.78	23.66
sr-ila_30kppm	648.11	224.78	91.34	21.27	22.8	20.78	33.48	34.51	21.77
sr-ila_80kppm	628.96	224.8	92.97	22.94	22.8	19.88	33.48	36.36	21.78

**Fig. 3.** Porównanie wyników obliczeń przekroju czynnego absorpcji neutronów  $\Sigma_a$  (SigAm) z wartościami rzeczywistymi tego parametru (SigPluSol).**Fig. 4.** Porównanie wyników obliczeń porowatości neutronowej (PorPcBe) wyznaczonej ze wskazań bliskiego detektora epitermicznego (Bepi) z wartościami rzeczywistymi tego parametru (PorNeu).



**Fig 5.** Porównanie wyników obliczeń porowatości neutronowej (PorPcBD) wyznaczonej ze stosunku wskazań detektorów epitermicznych bliskiego i dalekiego (BD) z wartościami rzeczywistymi tego parametru (PorNeu).

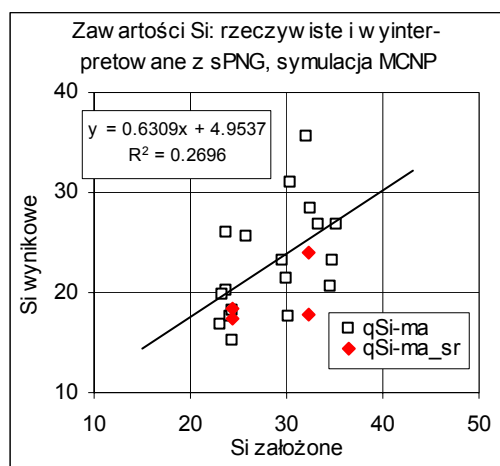
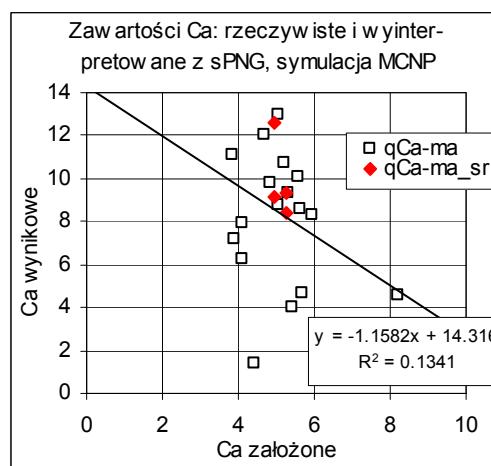
Otrzymane wyniki świadczą o wysokiej dokładności wyznaczania porowatości neutronowej epitermicznej (współczynniki determinacji  $R^2$  wynoszą 0.97 i 0.93, odpowiednio dla detektora bliskiego i stosunku bliskiego do dalekiego). Gorsza sytuacja pojawiła się dla wyznaczania  $\Sigma_a$ , dla którego współczynnik determinacji wynosi zaledwie 0.5. W tym przypadku konieczne będzie przeprowadzenie szczegółowej analizy przyczyn takiego stanu rzeczy.

#### 4.2. Ocena dokładności interpretacji geofizycznej dla sondy sPNG

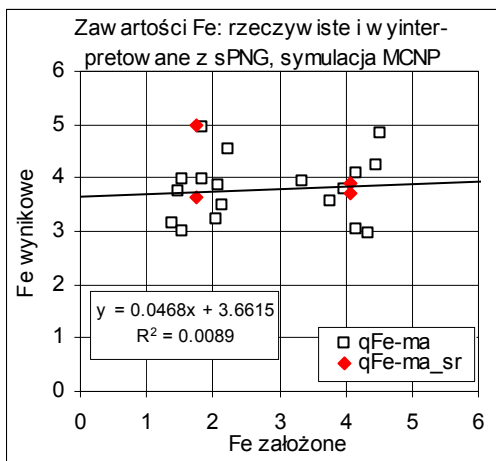
Podobne obliczenia symulacyjne MCNP wykonano dla sondy spektrometrycznej neutron-gamma (sPNG). Szczegółowy opis tych obliczeń znajduje się w **Załączniku 6**. Zbiorcze wyniki tej symulacji przedstawiono w **Tabeli 4**, wraz z wynikami przeprowadzonej interpretacji geofizycznej, opartej na metodyce eliminacji wzajemnych wpływów okien energetycznych widm pomiarowych opisanej w pracy (Cywicka-Jakiel, Zorski, 2004). Graficzne porównanie wyinterpretowanych wartości koncentracji Si, Ca i Fe z odpowiadającymi im wartościami modelowymi przedstawiono na **Fig. 6 ÷ 8**.

**Tabela 4.** Zestawienie danych z symulacji odpowiedzi sondy sPNG dla reprezentatywnego zestawu skał mioceńskich z wynikami ich interpretacji porównanych z rzeczywistymi parametrami skał.

Próbka	Parametry skały			Symulacja MCNP dla kanałów energetycznych sPNG				Interpretacja – koncentracje wynikowe			Wartości rzeczywiste (założone)		
	Porow. [%]	Gest. obj. [g/cm <sup>3</sup> ]	Gest. szk. [g/cm <sup>3</sup> ]	I-H [imp/s]	I-Si [imp/s]	I-Ca [imp/s]	I-Fe [imp/s]	qSi-ma [%wag]	qCa-ma [%wag]	qFe-ma [%wag]	Si [%wag]	Ca [%wag]	Fe [%wag]
J4/13A	13.42	2.49	2.72	398.29	476.90	171.86	104.19	23.12	8.34	3.87	29.63	5.95	2.08
Ch-3/51	23.05	2.30	2.69	412.87	528.00	179.89	102.99	26.89	7.89	3.15	35.23	4.11	1.38
Ch-3/33	12.66	2.50	2.72	361.08	381.19	148.87	87.22	16.82	9.82	3.03	23.10	4.82	4.16
J4/4	0.79	2.72	2.73	409.34	496.70	171.92	109.87	25.68	4.66	3.95	25.89	5.68	3.34
Ch-3/38	23.96	2.28	2.69	406.98	481.78	182.95	97.38	20.54	15.40	2.99	34.65	3.27	1.54
J4/23C	10.61	2.51	2.69	438.53	576.21	190.27	117.12	31.08	4.58	3.97	30.35	8.23	1.52
Ch-3/27	14.39	2.49	2.74	364.92	402.42	157.39	88.40	15.12	12.05	2.95	24.32	4.67	4.33
Ch-3/20	15.09	2.48	2.74	369.78	391.27	151.60	95.81	20.19	8.57	4.07	23.81	5.61	4.17
Ch-3/13	17.65	2.39	2.68	404.92	492.89	171.44	106.08	26.87	6.22	3.98	33.27	4.08	1.82
J4/30A	17.20	2.41	2.70	388.40	469.71	176.35	99.33	17.60	12.97	3.48	30.24	5.03	2.14
J4/30B	10.07	2.58	2.75	376.03	412.50	159.82	104.82	19.85	8.73	4.85	23.37	5.04	4.53
Ch-3/41	15.18	2.43	2.68	419.96	540.45	192.22	110.07	23.27	11.14	3.74	34.78	3.86	1.49
Ch-3/26A	24.67	2.27	2.69	400.26	451.82	165.50	107.23	28.30	7.23	4.93	32.44	3.90	1.85
Ch-3/3B	17.52	2.43	2.73	366.15	393.34	154.65	93.30	17.67	10.77	3.80	24.26	5.23	3.98
J4/14B-l	12.38	2.53	2.74	370.66	416.94	157.61	94.99	18.16	9.30	3.58	24.30	5.34	3.76
J4/2-p	1.55	2.69	2.72	461.33	610.24	195.95	127.98	35.59	1.40	4.52	32.01	4.42	2.24
J4/16A-p	20.54	2.35	2.69	389.04	459.60	167.63	96.10	21.46	10.06	3.21	29.96	5.56	2.04
J4/9-l	0.76	2.44	2.45	403.21	465.95	164.36	108.92	26.09	4.04	4.22	23.71	5.43	4.45
sr-pia_30kppm	19.39	2.37	2.69	403.99	495.79	176.39	103.57	24.10	9.16	3.64	32.24	4.96	1.75
sr-pia_80kppm	19.39	2.37	2.69	395.45	530.04	191.82	115.09	17.87	12.62	4.97	32.24	4.96	1.75
sr-ila_30kppm	10.59	2.55	2.73	369.76	417.96	156.58	96.27	18.45	8.41	3.70	24.30	5.26	4.08
sr-ila_80kppm	10.59	2.55	2.73	371.25	429.48	161.57	98.94	17.46	9.38	3.91	24.30	5.26	4.08

**Fig. 6.** Porównanie wyniku obliczeń koncentracji krzemu (Si wynikowe) wyznaczonej z wskazań sondy sPNG z wartościami rzeczywistymi tego parametru (Si założone).**Fig. 7.** Porównanie wyniku obliczeń koncentracji wapnia (Ca wynikowe) wyznaczonej z wskazań sondy sPNG z wartościami rzeczywistymi tego parametru (Ca założone).





**Fig. 8.** Porównanie wyniku obliczeń koncentracji żelaza (Fe wynikowe) wyznaczonej z wskazań sondy sPNG z wartościami rzeczywistymi tego parametru (Fe założone).

Uzyskane wyniki są bardzo niepokojące i wymagać będą wnikliwej analizy przyczyn tak niskich, praktycznie zerowych korelacji. W drugim etapie prac sprawa będzie przedmiotem dalszych badań.

## Literatura

- Cywicka-Jakiel T., Zorski T. (2004) - Monte-Carlo simulations of the spectrometric n-gamma well logging. Comparison of simulations and measurements for the SO-5-90 logging tool. INP Report No 1941/AP, Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków, 2004. [www.ifj.edu.pl/publ/reports/2004](http://www.ifj.edu.pl/publ/reports/2004)
- Jarzyna J., Bała M., Cichy A., Karczewski J., Marzencki K., Zorski T., Gądek W., Stadtmüller M., Twaróg W., Gąsior I. (2002) - Przetwarzanie i interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej systemem GeoWin. Wydawca WGGiOŚ AGH (red. J.Jarzyna), Wydawnictwo „Arbor” Kraków
- Mystkowski K., Środoń J., Ossowski A., Zorski T. (2004) – Porównanie przydatności sieci neuronowych i analizy statystycznej danych laboratoryjnych do identyfikacji mineralogicznej i oznaczania CEC metodami jądrowymi geofizyki wiertniczej – gazonośna formacja miocenska przedgórza Karpat, otwory J4 i ChD3, Konferencja N. T. “Geopetrol 2004”, materiały publikowane w: Prace nr 130 Instytutu Nafty i Gazu, Kraków 2004
- Zorski T., Stadtmüller M. (2001) - „Sprawozdanie z wykonania umowy badawczej 5.5.140.771 realizowanej w okresie maj-listopad 2001 r. na zlecenie Biura Geologicznego Geonafta w Warszawie” pt. „Opracowanie alternatywnej w stosunku do profilowania gamma (PG) metody wyznaczania zailenia w cienkowarstwowych formacjach miocenu przedgórza Karpat na podstawie pomiarów sondą neutronową mierzącą jednocześnie neutrony termiczne i nadtermiczne”
- Zorski T., Twaróg W. (2004) – Metoda wyznaczania wodonasycenia piaskowcowo-ilastych kompleksów cienkowarstwowych, stosowana w programie SATUN systemu GEOwin, Nafta – Gaz Nr 9/2004
- Zorski T., (2005) – Metodyka interpretacji pomiarów geofizyki otworowej w cienkowarstwowych utworach gazonośnych przedgórza Karpat. Methodology of well log interpretation in thin-bedded gas bearing formations in the Carpathian Foredeep. Kwartalnik AGH Geologia, tom 30, Zeszyt 3, str. 275-298.