

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

www.ifj.edu.pl/publ/reports/2011/

Kraków, marzec 2011

Raport Nr 2050/AP

**Symulacje numeryczne odpowiedzi głębokościowej
sondy NNTE w formacjach cienkowarstwowych
nachylonych do osi odwiertu.
Założenia i obliczenia wstępne metodą Monte Carlo.**

**Urszula Woźnicka, Dominik Dworak,
Urszula Wiącek, Tomasz Zorski¹⁾**

¹⁾Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geofizyki,
Kraków, al. A. Mickiewicza 30

Praca wykonana w ramach realizacji projektu badawczego własnego MNiSW Nr N N525 337238 „Określenie zależności sygnału sondy neutronowej od asymetrii kątowej otworu wiertniczego dla przypadku nachylenia warstw” realizowanego w okresie 22.03.2010 – 21.09.2012.

**Numerical response of NNTE neutron logging tool
in dipped thin-layer formations.
Assumptions and preliminary results of Monte Carlo calculations.**

Abstract

Basic assumptions for calculation of well-logging profiles, expected from measurements of the neutron logging tools (type of NNTE) are presented. The report includes also results of the first tests and calculations. The NNTE tool responses were simulated using MCNP - the well-known Monte Carlo code. The general model consists of a huge rock, intersected by a borehole. A thin, flat rock layer of different lithology crosses that huge rock under an angle to the borehole. Numerous combinations of the model parameters - various porosities and neutron absorption cross-sections of the rocks as well as different layer thicknesses and angles - have been considered. The final results should be instantly useful for elaboration of the well-logging interpretation procedures for directional drillings, where the rock layers are usually sloped, or even highly inclined to the borehole axis.

Streszczenie

W Raporcie przedstawiono założenia i wyniki pierwszych testów obliczeniowych dla profilowań geofizycznych realizowanych przy użyciu sondy neutronowej typu NNTE w otworach kierunkowych. Odpowiedzi sondy NNTE są symulowane metodą Monte Carlo, przy użyciu programu MCNP. Rozważano ogólny model nieskończonego ośrodka skalnego z otworem wiertniczym, zawierającego ciekłą warstwę skalną o odmiennych własnościach neutronowych. Warstwa ta może przecinać ośrodek pod dowolnym kątem - w stosunku do osi otworu. Rozpatrzono wiele kombinacji parametrów modelu: różne porowatości i przekroje czynne absorpcji neutronów skał, grubości i kąty nachylenia warstwy. Celem wykonanych symulacji jest wykreowanie profili głębokościowych, a następnie opracowania metod interpretacji pomiarów realizowanych w otworach przecinających ciekłą warstwę o zadanej litologii i grubości, nachylonych pod różnymi kątami do osi odwiertu - co jest cechą charakterystyczną coraz powszechniej stosowanych w świecie wierceń kierunkowych.

1. Cel pracy

W ciągu ostatnich 20 lat technologia wierceń osiągnęła taki poziom, że kierunkowe i poziome wiercenia stały się powszechne. Możliwość rutynowych wierceń otworów kierunkowych ze względu na ich mniejszą szkodliwość dla środowiska stwarza m.in. szansę na zagospodarowanie odległych i środowiskowo wrażliwych lokalizacji. Najistotniejsza różnica pomiędzy otworami poziomymi i pionowymi polega na innej relacji kierunku otworu w stosunku do uwarstwienia badanych formacji oraz na powstawaniu znaczących niejednorodności w strefie przyotworowej spowodowanej efektem grawitacji, co powoduje nieuniknioną utratę symetrii osiowej. Sytuacja ta staje się jeszcze bardziej skomplikowana, gdy otwór przecina formację cienkowarstwową. Z utratą symetrii osiowej możemy się spotkać również w otworach pionowych, jednak dopiero rozpowszechnienie się otworów silnie odchylonych od pionu spowodowało, że problem interpretacji profilowań geofizycznych w układach o tego typu cylindrycznej asymetrii stał się nader istotny.

Niniejsze opracowanie przedstawia wstępny etap prac, których celem jest zbadanie zależności sygnału sondy neutronowej od kąta pomiędzy osią otworu wiertniczego i płaszczyzną nachylenia warstw. Zadanie zostanie rozwiązane poprzez zaprojektowanie i realizację serii eksperymentów numerycznych pozwalających na uzyskanie odpowiedzi sondy neutronowej we wzorcach o silnej asymetrii cylindrycznej, mających wszelkie cechy wiarygodnego eksperymentu fizycznego. Wyniki tego eksperymentu będą podstawą do wyznaczenia funkcji odpowiedzi głębokościowej VRF (*Vertical Response Function*) w przypadku otworów nachylonych pod różnymi kątami w stosunku do przebiegu cienkich warstw. Eksperyment numeryczny polega w tym przypadku na symulacji komputerowej procesu transportu neutronów w zadanym ośrodku materialnym, w oparciu o metodę Monte Carlo (MC). W metodzie MC decyduje się losowo o zajściu odpowiednich zjawisk fizycznych korzystając ze znanych rozkładów prawdopodobieństwa zmiennych losowych charakteryzujących proces transportu (np. rozpraszania i absorpcji neutronów). W podobny, losowy sposób określa się konkretne wartości wszystkich innych wielkości decydujących o przebiegu procesu, a których rozkłady, z założenia, znamy. Takimi wielkościami są, na przykład, kąt rozproszenia czy też energia neutronu po zderzeniu z danym (i także losowo wybranym) atomem ośrodka. Możliwość zastosowania metody MC wynika ze stochastycznego charakteru transportu neutronów w ośrodku materialnym.

W celu uwiarygodnienia przeprowadzonego, wirtualnego eksperymentu wszystkie symulacje zostaną przeprowadzone na przykładzie sondy neutronowej NNTE. Dla tej bowiem sondy wykonano już wcześniej obszerną serię podobnego typu obliczeń numerycznych, a ich poprawność została zweryfikowana i potwierdzona w szeregu rzeczywistych eksperymentów - pomiarów przeprowadzonych na stanowisku do kalibracji sond neutronowych w BGW Zielona Góra, należącym do Sp. Geofizyka Kraków (BGW ZG).

Ostatecznym celem projektu jest zbadanie wpływu kąta nachylenia warstw na funkcję VRF otworowych sond neutronowych. Znajomość funkcji odpowiedzi głębokościowej VRF ma bezpośredni wpływ na jakość interpretacji profilowań neutronowych w utworach

cienkowarstwowych. Funkcje te charakteryzują uśredniający, wzdłuż kierunku przesuwania, wpływ sondy na mierzony sygnał. Dotychczas znane są funkcje VRF dla przypadku prostopadłego ułożenia warstw względem otworu, uzyskane na drodze rozwiązań analitycznych oraz pomiarów doświadczalnych w specjalnych wzorcach cienkowarstwowych. W przypadku otworów o silnej asymetrii osiowej budowa odpowiedniej liczby wzorców dla realizacji eksperymentów modelowych jest wręcz niemożliwa.

2. Wprowadzenie do założeń modelu obliczeniowego

2.1. Ośrodek skalny

Rozpatrywane będą przypadki, gdy otwór przecina formację skalną stanowiącą - ogólnie mówiąc - płaską, cieką warstwę o miąższości H , zalegającą pod zadanym kątem α w stosunku do pionowego otworu. Warstwa cienka zalega w jednorodnym ośrodku skalnym, którego zewnętrzne rozmiary przyjmowane są jako nieskończone. Ilustrację omawianego układu przedstawiono na Fig. 1.

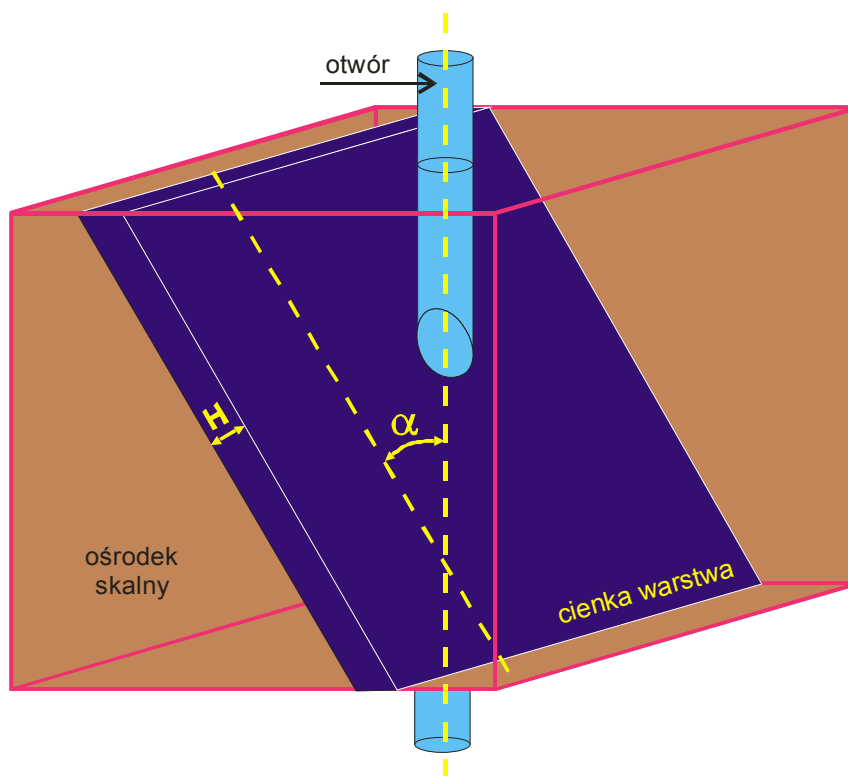


Fig. 1. Położenie płaskiej, cienkiej warstwy o miąższości H w stosunku do otworu.

Odpowiedzi sondy neutronowej NNTS będą obliczane w warunkach symulujących profilowanie neutronowe w odwiercie przecinającym ośrodek skalny o zadanych parametrach fizycznych i geometrycznych. Zakłada się, że otwór ma stałą średnicę 216 mm i jest wypełniony wodą (H_2O). Z punktu widzenia planowanych obliczeń najistotniejszymi

parametrami medium skalnego są jego parametry wpływające na transport neutronów w ośrodku, czyli gęstość, ρ , porowatość, Φ , i przekrój czynny absorpcji neutronów termicznych, Σ . Modele skalne powinny być zróżnicowane zarówno co do sekwencji zmian parametrów neutronowych w funkcji głębokości, jak i co do bezwzględnych wartości tych parametrów. W ten sposób można będzie określić, na ile taka zmienność wpływa na kształt funkcji VRF i w jakim stopniu wpływ ten można uwzględnić w procesie interpretacji profilowania. Ilość możliwych kombinacji jest praktycznie nieograniczona. W ramach realizowanego projektu wzięto pod uwagę zmienność interesujących parametrów w miocenie przedgórze Karpat oraz wcześniejsze doświadczenia zdobyte w eksperymentach prowadzonych na stanowisku kalibracyjnym w BGW ZG.

Zakres zmienności podstawowych parametrów skał wpływających na transport neutronów w ośrodku przedstawiony jest w Tabeli 1. Dwa z tych parametrów, czyli porowatość (PoroHg) i zawartość wody związanej w łańcach (Wobl), dotyczą obecności wodoru i będą w symulacji połączone pod symbolem porowatości Φ . Oznacza to, że w obliczeniach symulacyjnych woda ze szkieletu zostanie przesunięta do przestrzeni porowej. Takie uproszczenie redukuje ilość parametrów i pozwala na uwzględnienie realnej dynamiki zmian ilości wodoru w skale, co jest szczególnie istotne dla niższych zawartości porowatości (w przeciwnym przypadku, obecność znaczącej ilości wody związanej w tzw. średnim piaskowcu mioceńskim stanowiłaby swoiste „tło wodorowe”). Należy zatem przyjąć, że szkielet skalny zachowa skład chemiczny typowy dla standardu mioceńskiego, ale bez wody związanej (Tabela 2). Zmienność przekroju czynnego absorpcji neutronów Σ obejmuje zakres ok. $15 \div 40$ c.u. i w obliczeniach symulacyjnych jest regulowana zawartością izotopu ^{10}B . Izotop ten charakteryzuje się ekstremalnie wysokim przekrojem czynnym absorpcji neutronów termicznych. Można go wprowadzać „sztucznie” jako składnik szkieletu skalnego dla uzyskania efektu zmienności Σ skały, w zasadzie bez zmiany wartości innych parametrów. Zgodność sumowania do 100% wag. całego szkieletu skalnego przy dodawaniu ^{10}B zapewnia się przez minimalne zmniejszenie zawartości SiO_2 .

Tabela 1. Zestawienie parametrów fizycznych typowych dla formacji miocenińskiej przedgórze Karpat (dane z otworów J4 i ChD3): porowatości (PoroHg), zawartości wody związanej (Wobl), masowego przekroju czynnego absorpcji neutronów termicznych (Saro), gęstości (GeMat) oraz przekroju czynnego absorpcji neutronów (SigM) w jednostkach c.u.

Cecha zbioru próbek	J4_ilaste	ChD3_ilaste	J4_piaszcz	ChD3_piaszcz
Liczebność PoroHg	19	12	36	27
Srednia PoroHg [%]	10.00	15.73	19.02	22.29
Odchyl.stand.PoroHg [%]	6.14	3.39	7.14	5.46
Min PoroHg [%]	0.75	7.34	0.62	9.67
Max PoroHg [%]	23.40	19.83	33.45	30.12
Liczebność Wobl [%obj]	18	12	33	26
Srednia Wobl [%obj]	9.18	9.02	5.52	4.43
Odchyl.stand.Wobl [%obj]	0.85	2.31	2.10	2.01
Min Wobl [%obj]	7.28	2.80	0.00	1.07
Max Wobl [%obj]	10.10	12.56	10.24	10.08
Liczebność Saro	18	13	32	27
Srednia Saro [cm ² /g]	0.0138	0.0121	0.0086	0.0078
Odchyl.stand.Saro [cm ² /g]	0.0008	0.0019	0.0012	0.0019
Min Saro [cm ² /g]	0.0119	0.0076	0.0058	0.0047
Max Saro [cm ² /g]	0.0148	0.0142	0.0129	0.0130
Liczebność GeMat	19	12	36	27
Srednia GeMat [g/cm ³]	2.73	2.74	2.71	2.69
Odchyl.stand.GeMat [g/cm ³]	0.07	0.03	0.05	0.02
Min GeMat [g/cm ³]	2.45	2.68	2.64	2.66
Max GeMat [g/cm ³]	2.85	2.79	2.94	2.76
Liczebność SigM	18	13	32	27
Srednia SigM [cu]	37.64	33.26	23.40	20.91
Odchyl.stand.SigM [cu]	2.09	5.32	3.35	5.00
Min SigM [cu]	32.42	20.75	15.78	12.74
Max SigM [cu]	40.42	38.84	34.99	35.13

Tabela 2. Skład standardu miocenińskiego, typowy dla formacji przedgórze Karpat.
Gęstość $\rho_r = 2.63 \text{ g/cm}^3$.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	H ₂ O	CO ₂
% wag.	72.5	7.0	2.0	7.5	1.8	1.2	8.0

Dodatek ¹⁰ B [% wag.]	Σ [c.u.]
0.000016318	15
0.0000663	40

Dla celów realizacji projektu wybrano 6 typów ośrodków skalnych o różnych wartościach porowatości i przekroju czynnego absorpcji neutronów termicznych, których szkielet skalny posiada taki skład, jak przedstawiono w Tabeli 2. Każdy z modeli skalnych (Tabela 3) może występować jako cienka warstwa o określonej miąższości lub jako jej otoczenie, traktowane jako ośrodek nieskończony.

Tabela 3. Zestawienie modeli skalnych przyjętych do obliczeń symulacyjnych.

Nazwa modelu	Porowatość Φ [%]	Przekrój czynny absorpcji Σ [cu]	Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]
Miocen-1	7.5	15	2.508
Miocen-2	7.5	40	2.508
Miocen-3	20.0	15	2.304
Miocen-4	20.0	40	2.304
Miocen-5	45.0	15	1.897
Miocen-6	45.0	40	1.897

2.2. Sonda NNTE

Sonda NNTE wyposażona jest w źródło neutronów Am-Be oraz układ 3 detektorów: detektor neutronów termicznych (detektor bliski Bter) oraz dwa detektory neutronów epitermicznych (detektor bliski Bepi i detektor daleki Depi). Detektory neutronów epitermicznych tworzą układ dwu-detektorowej sondy kompensacyjnej, który jest mało wrażliwy na wpływ otworu wiertniczego oraz na przekrój czynny absorpcji neutronów termicznych Σ . Z kolei sygnał detektora bliskiego termicznego jest zależny od zawartości wodoru w skale oraz od Σ skały. Detektor ten jest ekranowany od strony otworu w celu zminimalizowania wpływu zasolenia płuczki. Jeśli wskazania detektorów są wycechowane w jednostkach porowatości neutronowej, to różnica wskazań pomiędzy detektorem bliskim termicznym i bliskim epitermicznym daje informację o Σ matrycy skalnej [Drabina i Zorski 2005, 2006, 2008].

W celu wykonania symulacji komputerowej sonda NNTE została wymodelowana numerycznie z uwzględnieniem wszystkich szczegółów konstrukcyjnych. Na poglądowym rysunku (Fig. 2) przedstawiono jedynie najistotniejsze elementy sondy. Dla potrzeb kalibracji i potwierdzenia poprawności symulacji wykonano model numeryczny ośrodka wraz z otworem, w którym umieszcza się sondę (Fig. 3). Modelem ośrodka odpowiada swoim składem i geometrią modelom kalibracyjnym BGW ZG. Modelem skalnym jest cylinder o średnicy 320 cm i wysokości 300 cm z otworem o średnicy 216 mm, umieszczonym w osi walca i wypełnionym wodą. Otoczenie bloku stanowią – od spodu warstwa betonu o grubości 1 m, po bokach i od góry warstwa wody o grubości odpowiednio: 40 cm i 120 cm.

Przeprowadzono szczegółowe modelowanie Monte Carlo w celu numerycznego wyznaczenia odpowiedzi detektorów sondy NNTE w blokach kalibracyjnych stanowiska BGW ZG. Obliczenia zostały wykonane przy użyciu programu MCNP [MCNPTM, MCNP, Drabina i Zorski,

2008]. Modelowanie numeryczne dla tego przypadku zostało wykonane przy zastosowaniu programu MCNP5, wersja 1.30. Do obliczeń użyto zbiorów danych utworzonych, wg opisu autorów programu, z bibliotek danych jądrowych ENDF/B-VI.8 oraz ENDF/B-VI.6 [MCNP]. Odpowiedzi detektorów sondy NNTe w blokach kalibracyjnych są również znane z bezpośrednich pomiarów wykonanych na stanowisku BGW ZG. Porównanie wyników pomiarów i obliczeń pozwoliło na potwierdzenie poprawności obliczeń symulacyjnych oraz na przeliczenie wyników obliczeń MCNP na częstości zliczeń sondy - wyrażone w imp/s (Fig. 4). W wyniku symulacji jako odpowiedź detektora przyjmuje się liczbę neutronów absorbowanych w jednostce objętości detektora, przypadającą na jeden neutron emitowany ze źródła [$\text{abs}/\text{cm}^3/\text{n}$]. Współczynniki regresji liniowej dowiązujące obliczenia MCNP do rzeczywistych pomiarów sondą NNTe zawarte są w Tabeli 4.

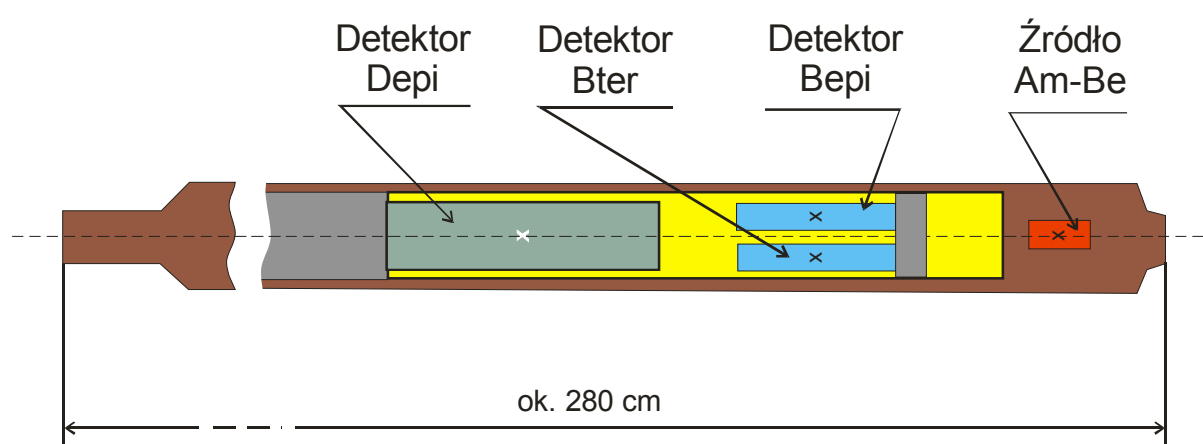


Fig. 2. Model numeryczny sondy NNTe. Schemat poglądowy.

Tabela 4. Współczynniki regresji liniowej dowiązujące obliczenia MCNP do rzeczywistych pomiarów sondą NNTe.

Detektor	a	b
Bliski termiczny, Bter	391502728.29617	40.84824
Bliski epitermiczny, Bepi	79756335.07211	23.21134
Daleki epitermiczny Depi	1554688573.8082	24.16615
$I_d [\text{imp}/\text{s}] = a I_d [\text{MCNP}] + b, \quad d = \text{Bter, Bepi, Depi}$		

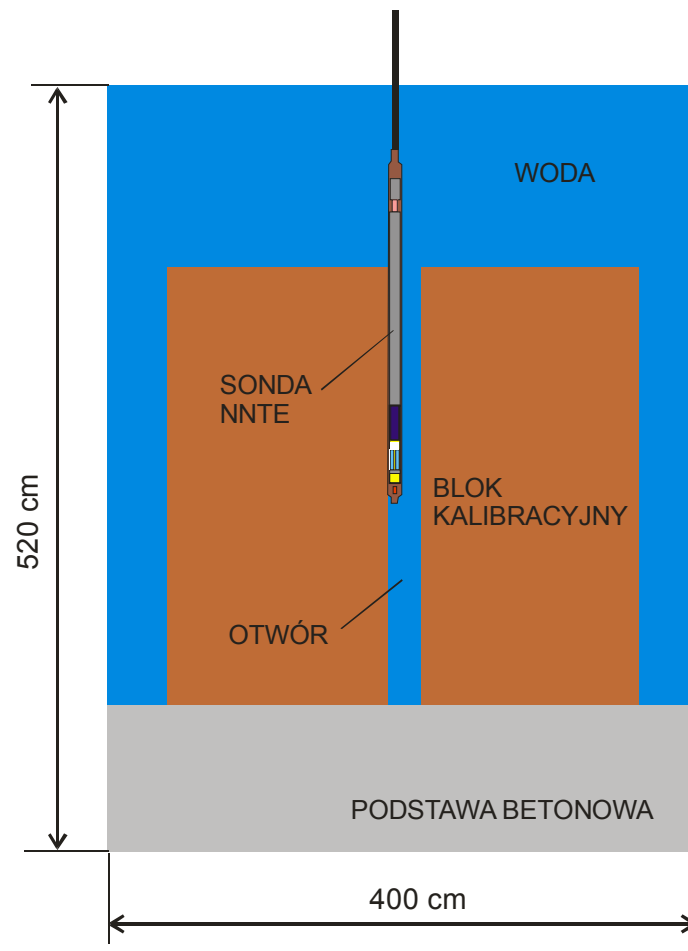


Fig. 3. Model numeryczny wzorca skalnego BGW ZG wraz z sondą NNTE służący do obliczania odpowiedzi detektorów dla celów numerycznej kalibracji sondy

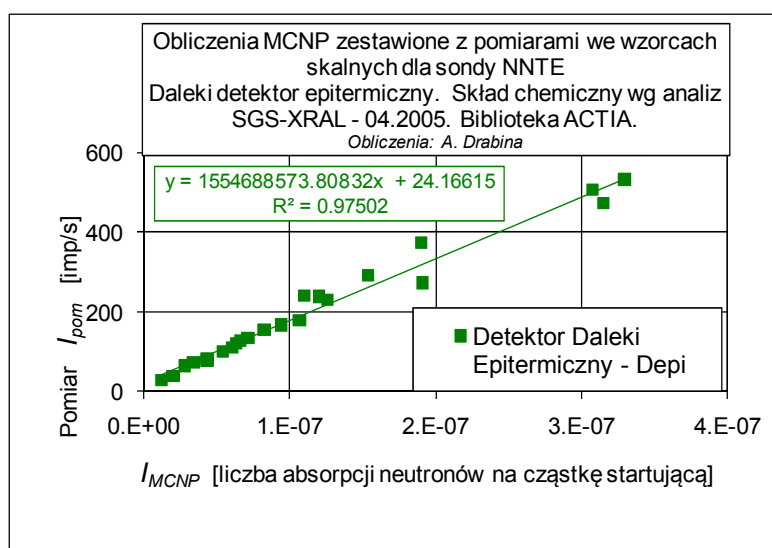
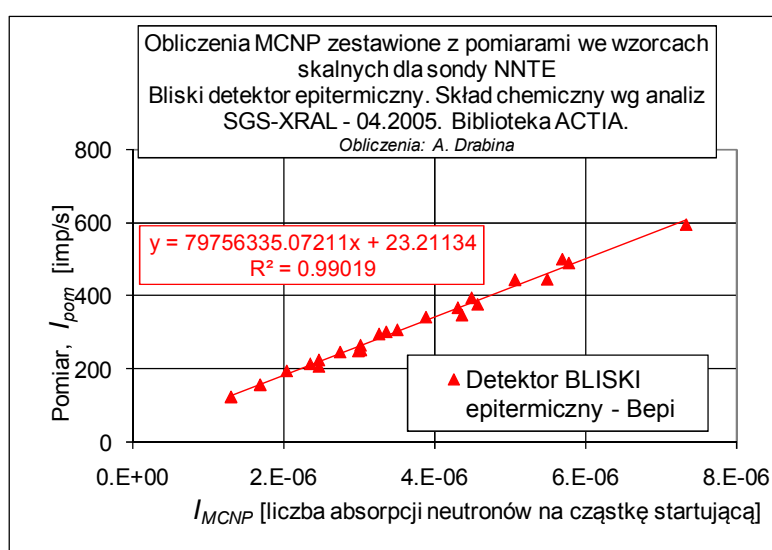
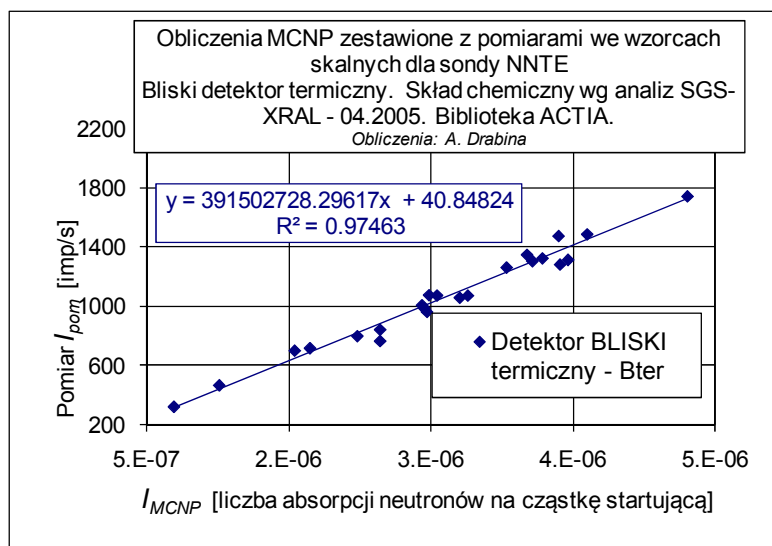


Fig. 4. Linie korelacji odpowiedzi detektorów sondy NNTÉ uzyskanych w wyniku rzeczywistego pomiaru, I_{pom} , na stanowisku BGW ZG oraz symulacji numerycznych Monte Carlo, I_{MCNP} .

3. Obliczenia bazowe

W pierwszym etapie obliczeń numerycznych wyznaczono odpowiedzi detektorów sondy NNTe w ośrodkach jednorodnych, nieskończonych, o parametrach modeli skalnych zestawionych w Tabeli 3. Założono, że sonda NNTe umieszczona jest w otworze o średnicy 216 mm, przecinającym ośrodek na wskroś i wypełnionym wodą. Obliczenia zostały wykonane dla modelu skały o grubości 10 m, co przy umieszczeniu sondy, mniej więcej, w połowie wysokości skały, zapewniało warunki „ośrodka nieskończonego”. Sprawdzeniem poprawności przyjętego założenia o „nieskończonych” rozmiarach ośrodka był brak obserwacji neutronów opuszczających jego zewnętrzne granice. W Tabeli 5 zestawiono otrzymane wyniki przeprowadzonych obliczeń.

Analizując wyniki zawarte w Tabeli 5 należy stwierdzić, że obliczenia zostały wykonane z dużą dokładnością, nie gorszą niż ok. 2.5 % w przypadku detektora Depi dla Miocenu-5 oraz 6, co w przeliczeniu na częstość zliczeń odpowiada kilku impulsom na sekundę. Dokładność ta została osiągnięta dzięki przeprowadzeniu dla każdego z miocenów symulacji historii odpowiednio dużej liczby neutronów (150 mln historii neutronów źródła Am-Be dla każdego z 6-ciu miocenów z osobna).

Tabela 5. Odpowiedzi detektorów sondy NNTe w modelach skalnych jednorodnych, przeciętych otworem o średnicy 216 mm.

Nazwa	Bter [abs/cm ³ /n]	Błąd[Bter] [%]	Bepi [abs/cm ³ /n]	Błąd[Bepi] [%]	Depi [abs/cm ³ /n]	Błąd[Depi] [%]
Miocen-1	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.60	9.40E-08	1.23
Miocen-2	1.79E-06	0.57	3.42E-06	0.60	9.08E-08	1.26
Miocen-3	1.74E-06	0.63	2.52E-06	0.70	4.59E-08	1.75
Miocen-4	1.34E-06	0.69	2.52E-06	0.70	4.49E-08	1.78
Miocen-5	1.13E-06	0.78	1.79E-06	0.83	2.33E-08	2.53
Miocen-6	9.08E-07	0.84	1.79E-06	0.83	2.27E-08	2.57

Nazwa	Bter [imp/s]	Błąd [Bter] [imp/s]	Bepi [imp/s]	Błąd [Bepi] [imp/s]	Depi [imp/s]	Błąd[Depi] [imp/s]
Miocen-1	943.47	5.0	297.64	1.8	170.35	2.1
Miocen-2	742.77	4.2	296.24	1.8	165.36	2.1
Miocen-3	721.84	4.5	224.15	1.6	95.58	1.7
Miocen-4	563.72	3.9	224.05	1.6	93.90	1.7
Miocen-5	481.14	3.8	166.02	1.4	60.40	1.5
Miocen-6	396.33	3.3	165.87	1.4	59.53	1.5

Otrzymane dokładności warto porównać z wynikami obliczeń tła własnego detektorów. W tym celu wykonano obliczenia odpowiedzi detektorów sondy umieszczonej w idealnie absorbującym ośrodku, co oznacza, że wszystkie neutrony wylatujące poza objętość sondy nie są dalej transportowane. Zliczenia detektorów wynikają wyłącznie z faktu transportu neutronów od źródła do detektorów, wewnątrz objętości sondy. Otrzymane wyniki zebrano w Tabeli 6.

Tabela 6. Wyniki obliczeń numerycznych tła własnego sondy NNTE.

Bter		Bepi		Depi	
[abs/cm ³ /n]	[imp/s]	[abs/cm ³ /n]	[imp/s]	[abs/cm ³ /n]	[imp/s]
3.54E-08	54.7	1.32E-07	33.7	4.90E-10	24.9

Porównując otrzymane wyniki tła własnego detektorów sondy NNTE z dokładnością obliczeń numerycznych wykonanych dla wytypowanych ośrodków skalnych widać, że dokładność tych ostatnich jest całkowicie wystarczająca i dalsze jej zwiększanie nie ma uzasadnienia, gdyż tło własne sondy jest dziesięciokrotnie wyższe.

4. Procedury numeryczne do obliczeń MCNP

Z punktu widzenia obliczeń MCNP (symulacji MC) zadanie sprowadza się do wyznaczania jednowymiarowych funkcji – odpowiedzi detektorów sondy – dla szeregu modeli „odwiert-warstwa” określonych zestawem parametrów. Parametrami tymi są: kąt nachylenia warstwy do osi otworu i grubość warstwy (parametry geometryczne), oraz materiał warstwy i otoczenia skalnego warstwy (parametry fizyczne). Inne wielkości charakteryzujące cały modelowany system, takie jak geometria sondy, kształt i rozmiar otworu, wypełnienie otworu, składy chemiczne materiałów sondy, i inne parametry – związane z samą procedurą symulacji MC, są stałe, takie same w przypadku każdego z rozpatrywanych modeli. Ten zestaw wszystkich stałych parametrów i założeń będzie określany dalej umownym skrótem „Założenia-AD”. Zestaw założeń powstał w wyniku wieloletnich doświadczeń pracowników AGH i NZ54 IFJ [Drabina i Zorski, 2005, 2006, 2008, Woźnicka i in., 2007] związanych z zastosowaniem sondy NNTE. W szczególności, najbardziej pracochłonny i niezmiernie dla tych obliczeń istotny, model numeryczny sondy NNTE (a także, jego zapis w formacie MCNP), został w całości wykonany przez mgr inż. Andrzeja Drabinę („AD”).

Przyjęto, iż dla celu realizacji projektu wystarczy, jeśli wspomniane powyżej parametry geometryczne będą przyjmować następujące wartości:

Kąt pomiędzy warstwą i osią odwiertu: 90, 75, 60, 45 stopni

Grubość warstwy: 15, 25, 70 cm

Zmienność parametrów fizycznych, charakteryzujących własności warstwy i jej otoczenia, zebrano w Tabelach 2 i 3. Z wybranych sześciu modelowych skał każda może być zarówno materiałem warstwy, jak i otoczenia warstwy.

Tym samym, można powiedzieć, iż istota omawianych obliczeń MCNP, symulacji odpowiedzi detektorów sondy, sprowadza się do wyznaczenia, w ramach „Założeń-AD”, jednowymiarowych funkcji zależnych od czterech parametrów i jednej tylko zmiennej niezależnej – odległości sondy od warstwy, co bardziej szczegółowo zostanie omówione poniżej.

Dla sześciu materiałów, jak w Tabeli 3, mamy 30 kombinacji - par różnych materiałów warstwa-otoczenie, a całkowita liczba różnych kombinacji wszystkich parametrów wynosi: $4 \times 3 \times 30 = 360$. Tyle zależności funkcyjnych, dla każdego z trzech detektorów z osobną, należałoby wyznaczyć, gdyby chcieć rozwiązać w całości tak postawiony problem. Zważywszy, iż do określenia każdej z tych funkcji wymaganych jest średnio ok. 25 przebiegów MCNP (w zależności od grubości warstwy, o czym poniżej) dawałoby to ok. 9000 przebiegów programu – każdy dla nieco innych parametrów, innego zbioru sterującego pracą programu, tzw. INPUTu MCNP, jak również 9000 zbiorów wynikowych. Widać, iż nawet przy ograniczeniu do pewnych tylko kombinacji parametrów, konieczna jest automatyzacja zarówno procesu tworzenia w/w zbiorów wejściowych, jak i wykonania samych programów, a już na pewno ekstrakcji, porządkowania i zapisu końcowych wyników.

4.1. Założenia-AD

W skład „założeń-AD” wchodzi faktycznie tak wiele szczegółowych założeń, iż podawanie ich wszystkich w tym miejscu miałyby się z celem. Zdecydowana większość z nich jest zapisana w postaci wzorcowego zbioru INPUT (zbiór „założenia-AD.upd”). Zbiór ten może być z łatwością odczytany przez osoby dysponujące znajomością programu MCNP, a dzięki licznym komentarzom także przez fizyków znających jedynie powierzchownie ten czy podobne programy MC, czy w inny sposób związanych z praktyczną stroną symulacji transportu promieniowania w materii.

4.2. Kod elementarnego problemu (pojedynczego „przypadku”)

Z uwagi na dużą liczbę kombinacji parametrów zdecydowano o potrzebie utworzenia łatwego i prostego w konstrukcji kodu cyfrowego, którym można by w prosty, a jednocześnie jednoznaczny sposób, oznaczać zarówno dane wejściowe, pośrednie, i wszelkie inne, i który pozwalałby jednocześnie bezbłędnie identyfikować te wyniki końcowe, które odnoszą się do tego samego zestawu parametrów. Kod taki spełniałby prostą rolę swego rodzaju pieczętki, czy też datownika. W ramach samych tylko „Założeń-AD” i przy dodatkowych ograniczeniach, mamy już 360 tego typu kombinacji parametrów, a każda z nich reprezentuje, czasami drastycznie inną, sytuację geometryczną bądź fizyczną. O pomyłkę więc nietrudno.

Jak wynika z powyższego opisu, do pełnego zakodowania zestawu parametrów wymaganych do wyznaczenia jednej funkcji, wystarczy podać w czytelnej postaci wartości czterech parametrów: wartość kąta pomiędzy osią odwiertu i płaszczyzną warstwy, określić, który z „miocenów” stanowi materiał otoczenia, a który materiał warstwy, podać grubość warstwy.

Na wstępie, wygodnie jest zdefiniować jeden indeks materiałowy, jako liczbę dwucyfrową, gdzie pierwsza cyfra oznacza zawsze materiał otoczenia, a druga – materiał warstwy. Na przykład, indeks o wartości 35 oznacza, iż materiałem otoczenia jest Miocen-3, a warstwy - Miocen-5. Zmiana kolejności cyfr w indeksie to "odwrócenie modelu" - warstwa staje się otoczeniem, a otoczenie warstwą. Poniżej, znajduje się poglądowa tabelka ilustrująca indeksy materiałowe (Fig. 5). Przyjęto, iż zapis całego kodu, definiującego w sposób konieczny, wystarczający i jednoznaczny pojedynczy „przypadek” - jeden zestaw 4-ch parametrów z ich 360 możliwych kombinacji, będzie wyglądał następująco:

<p style="text-align: center;">Kod pojedynczego przypadku</p> <p style="text-align: center;">xx-xx-xx</p> <p style="text-align: center;">Kąt [w stopniach] – Indeks materiałowy – Grubość warstwy [cm]</p>

Przykładowo, kod postaci: 90-14-25 należy odczytać w ten sposób:

- kąt $\alpha = 90^\circ$
- indeks materiałowy = 14, czyli: materiałem otoczenia jest Miocen-1 (7.5%, 15 c.u.), a materiałem warstwy Miocen-4 (20%, 40 c.u.)
- grubość warstwy $H = 25$ cm.

Zestawienie kombinacji indeksów materiałowych przedstawiono schematycznie na Fig. 5.

			Warstwa						
Otoczenie	Φ [%]		7.5		20		45		
	Σa [cu]		15	40	15	40	15	40	
		Miocen-x	1	2	3	4	5	6	
	7.5	15	1	11	12	13	14	15	16
		40	2	21	22	23	24	25	26
	20	15	3	31	32	33	34	35	36
		40	4	41	42	43	44	45	46
	45	15	5	51	52	53	54	55	56
		40	6	61	62	63	64	65	66

Fig. 5. Ilustracja indeksów materiałowych układów warstw zbudowanych z modeli skalnych Miocen-x.

4.3. Układ współrzędnych, zmienna niezależna

Model sondy NTE jest stały, taki sam we wszystkich obliczeniach. Podobnie stały jest promień otworu wiertniczego i jego wypełnienie (woda). Zakładamy, iż sonda w trakcie przesuwu wzdłuż otworu będzie przylegać do jego ściany zgodnie z siłami grawitacji. Nie naruszając ogólności, zawsze możemy tak dobrać układ odniesienia (współrzędnych) by linia styku cylindra otworu i zewnętrznego cylindra sondy znajdowała się po lewej stronie osi otworu – jak na Fig. 6.

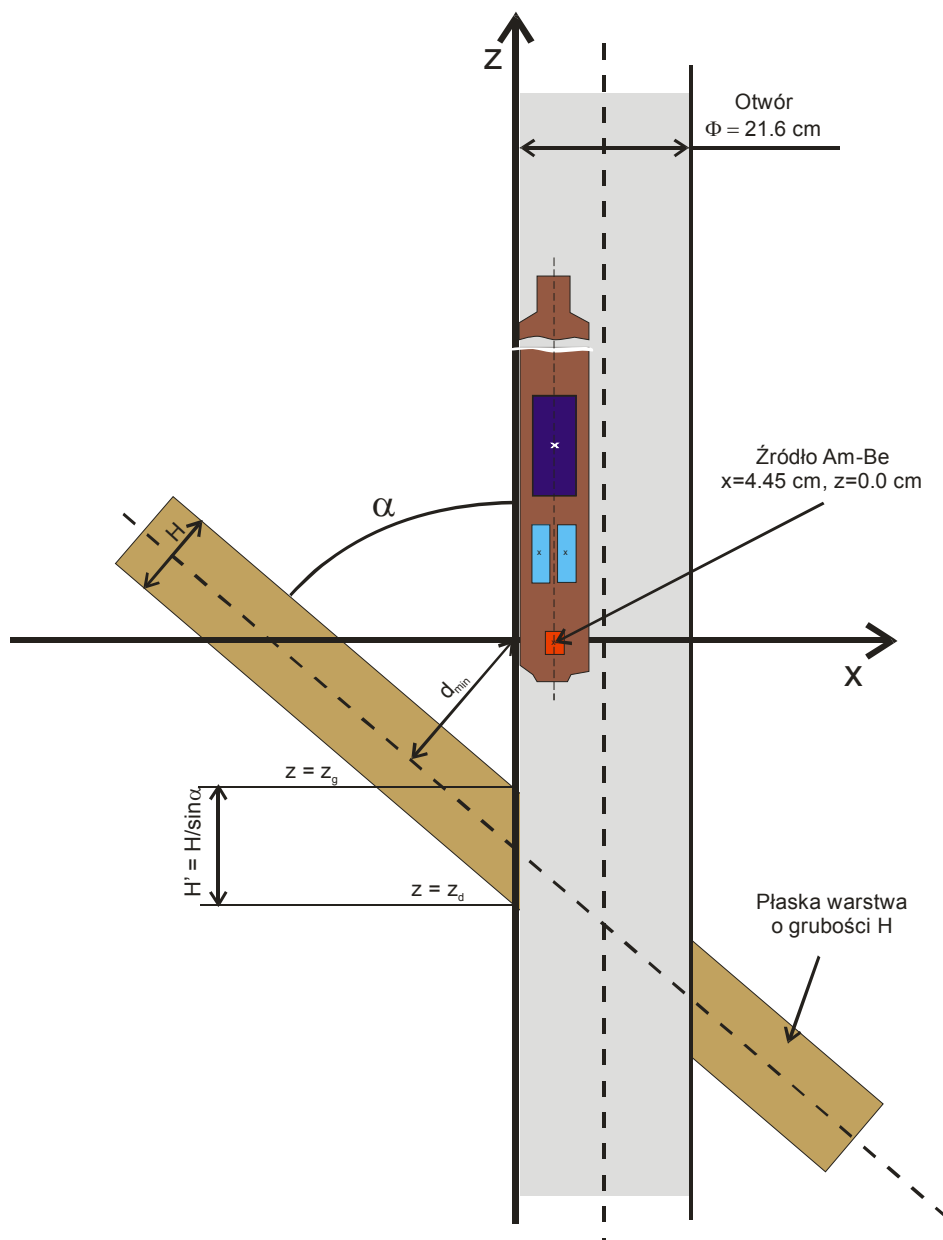


Fig. 6. Geometria i współrzędne układu odwiert-warstwa.

Do określenia położenia sondy względem warstwy potrzeba i wystarcza podać odległość (lub współrzędne w ustalonym układzie) dwóch punktów: dowolnego, ustalonego punktu sondy i dowolnego, ustalonego punktu warstwy. Tego typu odległość (czy współrzędna w zdefiniowanym układzie) jest jedyną zmienną niezależną charakteryzującą proces przesuwu sondy. Określając taką zmienną wszystkie inne interesujące nas odległości czy współrzędne możemy wyznaczyć z prostych zależności geometrycznych. Dla celów obliczeniowych wybrano następujący układ współrzędnych i związaną z nim, a wyżej wspomnianą, zmienną niezależną, charakteryzującą ruch, kolejne położenia sondy względem warstwy (Fig. 6):

- oś Z, równoległa do osi otworu i osi sondy, skierowana jest "od dołu do góry". Wyznacza ją styk cylindra otworu wiertniczego i cylindra obudowy sondy. Innymi

słowy, oś Z znajduje się na ścianie otworu dokładnie w tym miejscu, gdzie z otworem styka się fizycznie sonda

- oś X, skierowana jest "od lewej do prawej" i przechodzi przez geometryczny środek źródła sondy. Inaczej mówiąc, jest dobrana w ten sposób by współrzędna „z” geometrycznego środka źródła miała wartość: $z = 0$. W ten sposób, środek układu współrzędnych ($x = 0, z = 0$) jest umiejscowiony na ścianie odwiertu, a środek źródła ma w tym układzie współrzędne: ($x = 4.45 \text{ cm}, y = 0 \text{ cm}, z = 0 \text{ cm}$)
- oś Y, jest skierowana "do płaszczyzny rysunku", tj. tak, by cały układ XYZ był lewoskrętny.

Tak zdefiniowany układ współrzędnych jest układem własnym sondy, sonda jest w nim nieruchoma, a zmieniać się w nim będzie jedynie położenie warstwy. W tym układzie, w trakcie rzeczywistego ruchu sondy w dół, warstwa będzie "podnosić się" w kierunku sondy o kolejne kroki, co, oczywiście, zarówno dla istoty problemu jak i samych obliczeń nie ma znaczenia. Powód, dla którego wybrano taki właśnie, a nie inny, układ współrzędnych jest natury technicznej. Jak wspomniano na wstępie, w pracy korzystamy z modelu sondy, który został już wcześniej zapisany w formacie zrozumiałym dla MCNP. Gdyby wybrano układ związany na stałe z warstwą, symulacja ruchu sondy wymagałaby jej przemieszczania – translacji i obrotów. Oznaczałoby to konieczność przemieszczania, zmieniania położenia wszystkich elementów sondy, co wobec jej rozbudowanej geometrii nie byłoby, przede wszystkim, bezpieczne (z uwagi, choćby tylko, na błędy zaokrągleń). Dużo prościej i bezpieczniej jest wybrać taki układ współrzędnych, w którym trzeba zmieniać, przesuwając i obracać, samą tylko warstwę – wyznaczoną przez dwie tylko, płaskie powierzchnie.

W tak określonym układzie współrzędnych jako zmienną niezależną, opisującą aktualne położenie warstwy względem sondy, przyjęto współrzędną „z” punktu przecięcia górnej powierzchni warstwy z osią Z. Ta zmienna, zarówno w poniższym opracowaniu, jak i w końcowych wynikach, oznaczana jest symbolem z_g („z-górne”, współrzędna „z” górnej powierzchni warstwy). Jak wspomniano powyżej, za pomocą tej jednej zmiennej i znanych wartości wymiarów sondy, otworu, oraz parametrów warstwy, można wyznaczyć wszystkie inne interesujące nas wielkości, jak, chociażby, odległości poszczególnych detektorów sondy od dowolnych płaszczyzn charakteryzujących warstwę.

4.4. Zakres zmienności zmiennej niezależnej – start i koniec obliczeń

Funkcje (odpowiedzi detektorów) wyznaczone są w kolejnych punktach zmiennej niezależnej z_g . Zakres zmienności zmiennej z_g określony jest przez fizykę problemu i odpowiada takim odległościom sondy od warstwy, przy których choć jedna z odpowiedzi wszystkich trzech detektorów sondy różni się od odpowiedzi uzyskanych dla ośrodka jednorodnego - materiału otoczenia. Obrazowo, można powiedzieć, iż jest to zakres o długości L liczonej wzdłuż osi Z, w którym „detektory widzą warstwę”. Ten zakres wyznaczono metodą prób i błędów, wielokrotnych testów przy różnych wartościach parametrów układu (głównie kąta

nachylenia warstwy i różnych kombinacji materiałów warstwa-otoczenie). Ostatecznie przyjęto, iż z bezpiecznym marginesem i niezależnie od rodzaju materiałów warstwa-otoczenie, obliczenia należy rozpocząć, gdy odległość środka źródła sondy od górnej powierzchni warstwy wynosi ok. 20 cm (źródło ponad warstwą), a zakończyć, gdy analogiczna odległość źródła od dolnej powierzchni warstwy wynosi ok. 70 cm (źródło poniżej warstwy). W ten sposób, graniczne wartości zmiennej z_g uzyskują wartości:

$$z_g(1) = -20/\sin(\alpha) \text{ [cm]} \quad \text{ i } \quad z_g(N) = z_d(N) + H/\sin(\alpha) \text{ cm} = (70 + H)/\sin(\alpha) \text{ [cm]},$$

gdzie: α – jest kątem pomiędzy płaszczyzną warstwy i osią odwiertu, H – grubością warstwy, a N oznacza liczbę punktów pomiarowych, tzn. całkowitą liczbę wszystkich dyskretnych położeń sondy względem warstwy, w których wyznaczamy odpowiedzi detektorów. N -ty punkt pomiarowy jest zarazem tym punktem, po którego osiągnięciu kończymy obliczenia.

Całkowita długość przesuwu sondy wynosi:

$$L = z_g(N) - z_g(1) = (90 + H)/\sin(\alpha) \text{ [cm]}$$

Przyjęto, iż kolejne wartości zmiennej niezależnej, przesuw sondy względem warstwy, będą ustalone przez stały krok przesuwu względem osi Z . Obecnie istniejące programy zezwalają na dwie wartości kroku, nominalną wartość $z_{step} = 5 \text{ cm}$, oraz wartość uwzględniającą kąt nachylenia warstwy $z_{step} = 5/\sin(\alpha) \text{ cm}$. Ta ostatnia wartość zmiennej z_{step} jest w obecnie działających programach wartością „defaultową” – przyjmowaną przez programy automatycznie, jeżeli użytkownik programu nie zażąda, lub nie wprowadzi, innej wartości. Łatwo zauważyć, iż dla defaultowej długości kroku $z_{step} = 5/\sin(\alpha) \text{ cm}$, liczba punktów pomiarowych nie zależy od kąta α i wynosi zawsze:

$$N = L/z_{step} + 1 = (90 + H)/5 + 1 = 19 + H/5, \text{ gdzie } H \text{ wyrażone jest w cm.}$$

Dla założonych grubości warstw H (15, 25 i 70 cm) otrzymujemy, dla defaultowego kroku przesuwu sondy, następującą liczbę punktów pomiarowych N : 22, 24, 33. W programie zarezerwowano również miejsce na zmianę, pozwalającą łatwo ustalić krok o dowolnej długości, co pozwala uzyskać odpowiedzi detektorów w dowolnym, ustalonym położeniu, gdyby po wstępnej analizie wyników wyniknęła tego typu potrzeba.

4.5. Przebieg i wynik wykonanych prac

Wynikiem wykonanych prac są zbiory zapisane na dysku klastra MC-Radiat, będącego w dyspozycji Zakładu Transportu Promieniowania, NZ54, IFJ PAN, w katalogu:

/home/dominik/Grant-zalozenia-AD/

Katalog ten jest dostępny dla innych użytkowników klastra, dokładniej, jego zbiory mogą być przez innych użytkowników czytane (kopiowane), nie mogą być jednak przez nich, w tym miejscu, w żaden sposób zmieniane. Katalog zawiera dwa zasadnicze rodzaje zbiorów – zbiory zawierające programy i dane służące do wykonywania obliczeń w ramach grantu, jak również gotowe wyniki już wykonanych obliczeń. Poniżej omówione są pokrótce

najważniejsze zbiory służące do wykonywania obliczeń. Może wykonać je każdy dysponujący, minimalną choćby tylko, znajomością systemu Linux.

Zbiór „założenia-AD.upd”

To zbiór danych, zawiera wzorcowy INPUT MCNP dla rozważanych tu problemów. W szczególności, zawiera geometrię sondy NNTE. Zbiór ten, w zasadniczej postaci, jest właściwie jednym ze zbiorów używanych do wcześniejszych obliczeń pary autorów Drabina-Zorski, a dotyczących sondy NNTE, choć został w całości przepisany – głównie w celu uzyskania lepszej czytelności. Jak wspomniano, w zbiorze dokonano szeregu zmian formalnych, uzupełniono go także o liczne komentarze, unikano jednak istotnych zmian merytorycznych. Przepisana na nowo została także geometria całej sondy NNTE, choć także bez naruszania jej zasadniczych, merytorycznych elementów – zgodnie ze wstępnymi ustaleniami. Po uzupełnieniu o nowe, niezbędne elementy, w tym wzorcowym zbiorze zostały zaznaczone w specjalny sposób wszystkie miejsca, w których trzeba będzie dokonać, w trakcie kolejnych obliczeń, zmian, a których to zmian wymagają implementacje poszczególnych modeli „odwiert-warstwa”.

Zbiór „sonda-NNTE.bin”

To program, zbiór wykonywalny, wykonujący zasadniczą część prac wstępnych. Wersja źródłowa tego programu zapisana została w zbiorze „sonda-NNTE.for”, w tym samym katalogu. Mówiąc najprościej, program ten generuje zbiory INPUT dla MCNP, pozwalające rozwiązać podstawowy problem zadania – wyznaczyć całą funkcję odpowiedzi detektorów dla jednego zestawu parametrów. Program wymaga dostarczenia jednego tylko parametru pozycyjnego w postaci omówionego powyżej kodu problemu, tj. postaci: xx-xx-xx.

Przykład:

Wywołanie programu w poniższy sposób:

```
> sonda-NNTE.bin 60-23-25
```

spowoduje automatyczne utworzenie w bieżącym katalogu wszystkich zbiorów INPUT koniecznych do rozwiązania problemu: $\alpha = 60^\circ$, otoczenie = Miocen-2, warstwa = Miocen-3, grubość warstwy $H = 25$ cm.

Program pracuje „w trybie update”. Na wstępie, program czyta wzorcowy zbiór wejściowy (założenia-AD.upd, omówiony powyżej). Następnie, na podstawie otrzymanego kodu problemu, wykonuje pewne obliczenia, dokonuje koniecznych zmian i zapisuje końcowy wynik w postaci nowego zbioru INPUT. Proces ten powtarza tyle razy, ile jest to konieczne do utworzenia wszystkich zbiorów INPUT, a których liczba zależy od długości całkowitego przesuwu sondy i wielkości kroku z_{step} . W podanym powyżej przykładzie liczba wygenerowanych zbiorów INPUT wynosi $N=24$ (dla standardowego kroku przesuwu sondy $z_{step} = 5/\sin(\alpha)$ cm) – co zostało dokładniej omówione w jednym z poprzednich rozdziałów.

Zbiór „print-results.bin”

To program, którego wykonanie w obecnej wersji nie wymaga dostarczenia żadnych parametrów zewnętrznych. Program ten wykonany w katalogu zawierającym zbiory wynikowe MCNP, tzw. OUTPUT’y MCNP, ze wszystkich, wynikowych dla danego problemu zbiorów, wygeneruje automatycznie jeden zbiór tekstowy ASCII zawierający jedynie najistotniejsze, potrzebne nam dalej wyniki. Te końcowe wyniki zapisane są w postaci czytelnych, opisanych, gotowych do dalszego użycia tabel. Nazwa wynikowego zbioru tworzona jest automatycznie i jest identyczna z pełnym kodem obliczeniowym użytym przy automatycznym tworzeniu zbiorów wejściowych dla tego problemu, z dodanym członem „_results.asc”. Dla podanego powyżej przykładu kodu 60-23-25, ten wynikowy, końcowy zbiór ASCII zostanie zapisany pod nazwą „60-23-25_results.asc”.

Źródłowa wersja programu jest zapisana pod nazwą „print-results.for”.

Skrypty

Prócz powyższych programów, w katalogu znajduje się szereg skryptów służących do automatycznego, sekwencyjnego wykonywania koniecznych elementów cyklu obliczeniowego: tworzenia zbiorów INPUT, wykonywania właściwych obliczeń - przebiegów MCNP, tworzenia końcowych, wynikowych zbiorów. Do pewnych standardowych procedur można tych gotowych skryptów używać bezpośrednio, lub też z łatwością modyfikować dla własnych celów. Skrypty napisane są w przejrzysty sposób i może ich używać każdy, kto dysponuje choćby niewielką tylko wprawą programowania w powłoce Bash systemu Linux. Celowo pozostawiono ten system w otwartej postaci, z bezpośrednim dostępem do kolejnych, podstawowych programów, by można było używać ich elastycznie – w zależności od możliwości, obciążenia w danej chwili systemu, a także wobec niemożności ustalenia, na obecnym etapie realizacji projektu, ostatecznego zakresu potrzebnych obliczeń.

Wyniki

Katalog /home/dominik/Grant-zalozenia-AD/ oprócz omówionych powyżej danych, programów i skryptów, zawiera także gotowe wyniki obliczeń dla pewnych zestawów parametrów. Zawiera także wyniki dla ośrodków jednorodnych – wszystkich sześciu modeli skalnych: Miocen-1, ..., Miocen-6.

5. Prezentacja wyników obliczeń

W celu ułatwienia dalszej obróbki wyników obliczeń MCNP oraz ich prezentacji graficznej, opracowano specjalną procedurę w programie Excel pozwalającą na automatyczne tworzenie arkuszy obliczeniowych, zawierających odpowiednio sformatowane wyniki obliczeń, oraz zestaw podstawowych wykresów przedstawiających profile głębokościowe zarejestrowane przez poszczególne detektory sondy NNTE.

Przy tak dużej liczbie zbiorów wyjściowych MCNP, nawet zebranych w formie zbiorów „xx-xx-xx_results.asc” ich dalsze ręczne przetwarzanie mogłoby doprowadzić do szeregu pomyłek.

W związku z tym skonstruowany został w Excelu „podstawowy plik”, przy pomocy którego można automatycznie generować pliki dla kolejnych analizowanych przypadków. Procedura sprowadza się do importu pliku „xx-xx-xx_results.asc” do „pliku podstawowego” i zapisania go pod odpowiednią nazwą. Formatowanie arkuszy i rysowanie wykresów wykonywane jest automatycznie przez odpowiedni program korzystający z szeregu instrukcji, pętli warunkowych i odwołań.

Każdy wygenerowany plik Excela składa się z czterech arkuszy:

- „Wyniki obliczeń”, gdzie zamieszczone są wszystkie istotne informacje dotyczące danego przypadku wraz z wykresami profili głębokościowych dla każdego detektora,
- „Dane_MCNP” – jest to arkusz, do którego importowane są dane z pliku „xx-xx-xx_results.asc”, w taki sposób, aby jeden wyraz zajmował jedną komórkę,
- „Dane_MCNP_B” – do tego arkusza importowane są dane z pliku „xx-xx-xx_results.asc” tak, aby plik został przeczytany wierszami,
- „Dane_mioceny” – do tego arkusza wprowadzone zostały dane dotyczące parametrów wszystkich sześciu analizowanych modeli skał: porowatość, absorpcja, gęstość, zawartość SiO₂ i B¹⁰, a także odpowiedzi, wraz z błędami, wszystkich trzech detektorów w ośrodkach jednorodnych, złożonych z określonej skały.

W załączniku przedstawiono przykład arkusza „Wyniki obliczeń” zawartego w pliku Wyniki-45_15_25.xls. Oprócz danych liczbowych arkusz zawiera również rysunki przedstawione w niniejszym opracowaniu na Fig. 2 i 6 oraz wykresy profili głębokościowych dla detektorów Bter, Bepi i Depi (Fig. 7, 8, 9 poniżej).

Przedstawione w arkuszu tabele wyników obliczeń „Odpowiedź sondy w [abs/cm³/n]” oraz „Odpowiedź sondy w [imp/s]” zawierają szereg kolumn, w których współrzędna głębokościowa „z” przeliczona jest na szereg innych wartości, przydatnych w dalszym opracowywaniu wyników:

- z_g – współrzędna „z” górnej płaszczyzny warstwy (w układzie własnym sondy)
- z_d – współrzędna „z” dolnej płaszczyzny warstwy (w układzie własnym sondy)
- z_rel – miara względnego położenia sonda-warstwa
- z_śr-w – współrzędna „z” środka warstwy (w układzie własnym sondy)
- z_Bli – współrzędna „z” środka detektorów bliskich (w układzie środka warstwy)
- z_Dal – współrzędna „z” środka detektora dalekiego (w układzie środka warstwy)

Na każdym wykresie (Fig. 7, 8, 9) przedstawiono odpowiedź danego detektora w funkcji głębokości. Wartości z_Bli = 0 oraz z_Dal = 0 odpowiadają sytuacji, gdy środek wysokości danego detektora znajduje się na wprost przecięcia osi otworu z osią upadu warstwy. Liniami poziomymi zaznaczono wartości, które rejestrowałby odpowiedni detektor w jednorodnym nieskończonym ośrodku (tu: w Miocenie-1 i Miocenie-5) przeciętym otworem 216 mm i

wypełnionym wodą. Dodatkowo na osi poziomej zaznaczono odcinek określający grubość cienkiej warstwy widzianej na ścianie, tu: $H' = H/\sin(45^\circ) = 25\sqrt{2}$ cm.

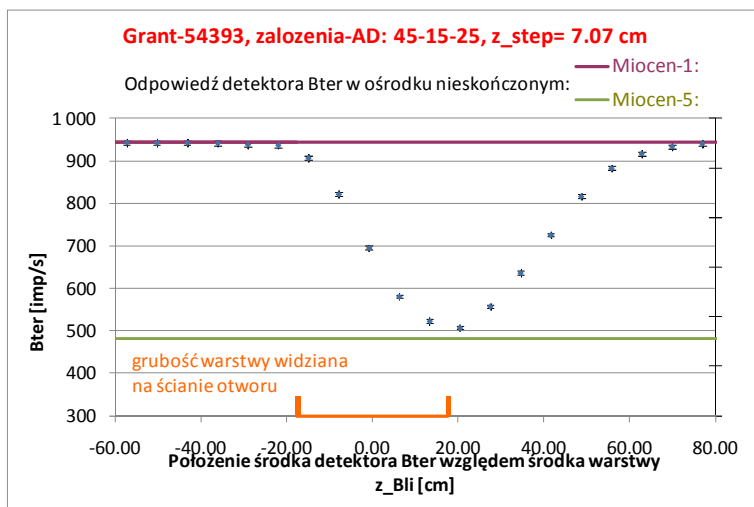


Fig. 7. Profil głębokościowy rejestrowany przez detektor Bter dla przypadku 45-15-25.

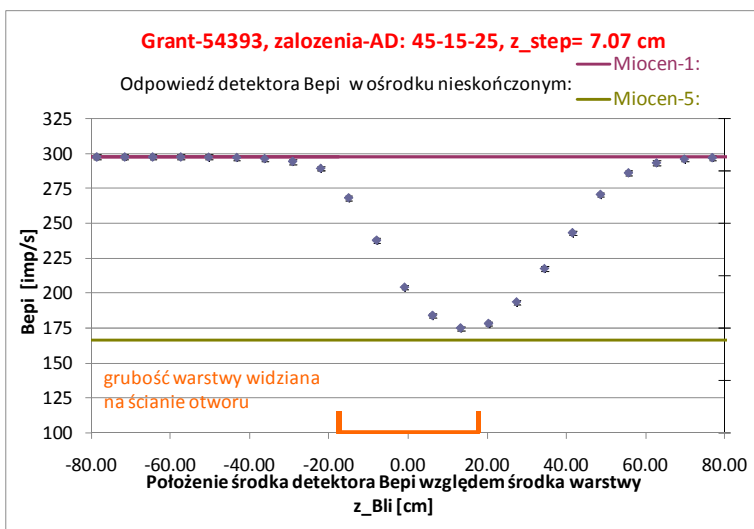


Fig. 8. Profil głębokościowy rejestrowany przez detektor Bepi dla przypadku 45-15-25.

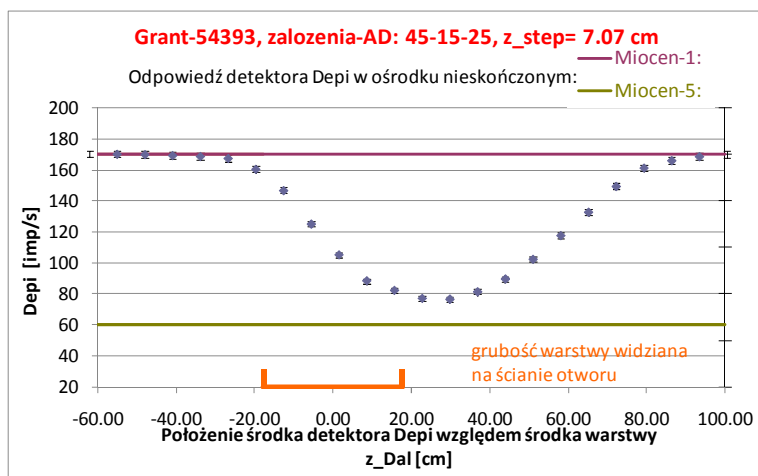


Fig. 9. Profil głębokościowy rejestrowany przez detektor Bepi dla przypadku 45-15-25.

6. Seria profili głębokościowych dla zestawów danych 90-xx-25

Na podstawie przygotowanych założeń została wykonana seria obliczeń profili głębokościowych dla wybranych kombinacji parametrów materiałowych (zgodnie z Fig. 5) w układzie, gdy cienka warstwa o grubości $H = 25$ cm przebiega prostopadle do osi odwiertu. Otrzymane wyniki dla każdego z trzech detektorów, Bter, Bepi, Depi, zestawiono na analogicznych diagramach, jak Fig. 5 (Fig. 10 – 12).

Przebieg zmienności profili wskazuje na dobrze dobraną zmienność parametrów materiałowych, co pozwoli na przeprowadzenie analizy geofizycznej interpretacji wyników w szerokiej gamie zmienności krzywych profilowań.



Fig. 10. Odpowiedzi detektora Bter w cieniwej warstwie o grubości $H = 25$ cm nachylonej do osi odwiertu pod kątem $\alpha = 90^\circ$.

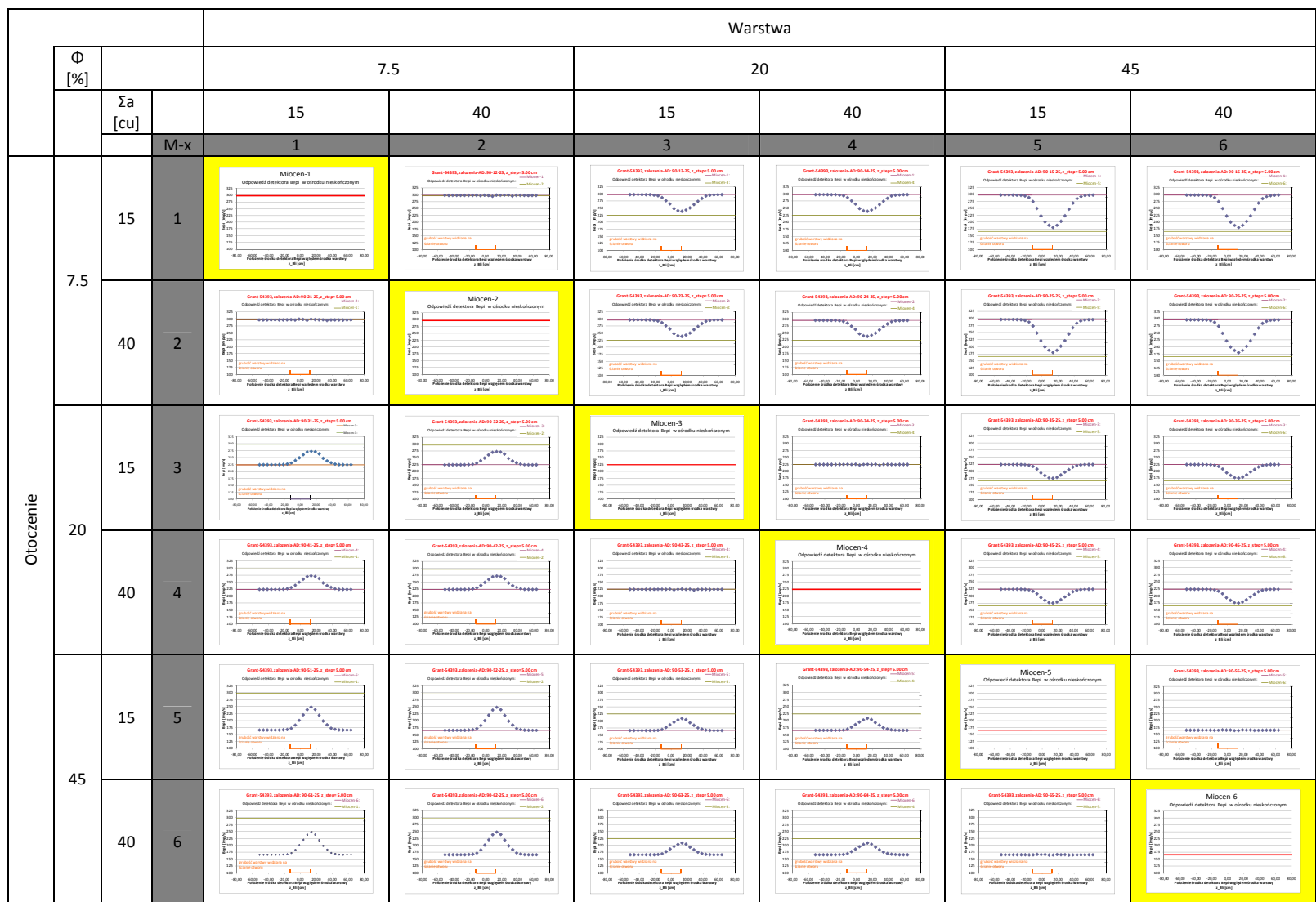


Fig. 11. Odpowiedzi detektora Bepi w cieniwej warstwie o grubości $H = 25$ cm nachylonej do osi odwiertu pod kątem $\alpha = 90^\circ$.



Fig. 12. Odpowiedzi detektora Depi w cienkiej warstwie o grubości $H = 25$ cm nachylonej do osi odwiertu pod kątem $\alpha = 90^\circ$

Referencje

MCNPTM: MCNP, MCNP5, and "MCNP Version 5" are trademarks of the Regents of the University of California, Los Alamos National Laboratory.

MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, X-5 Monte Carlo Team, Diagnostics Applications Group, Los Alamos National Laboratory, "MCNP Homepage", <http://mcnp-green.lanl.gov/index.html>

A. Drabina, Z. Zorski (2005), *Geophysical Neutron Logging Tool NNTE for Measurements of Porosity and Rock Matrix Σ_a - Numerical Simulations*, Proc. of the Enlargement Workshop on "Neutron Measurements, Evaluations and Applications NEMEA-2, Bucharest, Romania, 20-23 October 2004, ed. A.J.M. Plompen (European Communities)z (2005) 81.

A. Drabina, T. Zorski (2006) *Zastosowanie programu MCNP do symulacji odpowiedzi sondy neutronowej NNTE*, Prace Instytutu Nafty i Gazu, **137** (2006) 509. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna GEOPETROL 2006, Zakopane 18-21.09.2006: „Problemy Techniczne i Technologiczne Pozyskiwania Węglowodorów a Zrównoważony Rozwój Gospodarki”. Prace Instytutu nafty i Gazu 137, 509-515.

A. Drabina, T. Zorski (2008), *Ocena dokładności wyznaczania Σ_a i porowatości neutronowej sondą otworową rejestrującą neutrony termiczne i epitermiczne (NNTE) w warunkach formacji mioceńskiej przedgórze Karpat*, Prace Instytutu Nafty i Gazu, **150** (2008) 575; Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna GEOPETROL 2008 nt. "Nauka, technika i technologia w rozwoju poszukiwań i wydobywania węglowodorów w warunkach lądowych i morskich", Zakopane 15-18.09.2008.

U. Woźnicka, T. Cywicka-Jakiel, A. Drabina, D. Dworak, G. Tracz, K. Drozdowicz, T. Zorski, A. Ossowski, J. Środoń, T. Kawiak, D. Bakowska, M. Zielińska, J. Zalewska (2007), *Budowa modeli geochemiczno - mineralogicznych na podstawie danych uzyskiwanych z zaawansowanych metod geofizyki jądrowej. Część 1*, IFJ Report, 2008/AP (2007).

Załącznik

Przykład arkusza „Wyniki obliczeń” zawartego w pliku Wyniki-45_15_25.xls.

Modelowanie numeryczne odpowiedzi głębokościowej sondy neutronowej w formacjach cienkowarstwowych nachylonych do osi odwiertu							
Program:	MCNP5_RSICC 1.4			version 5.mpi			
Biblioteki danych jądrowych:				MCNP-default			
Nazwa zadania:	Grant-54393, zalozenia-AD: 45-15-25, z_step= 7.07 cm						
Data:	19/01/2011						
Sonda NNTE:							
Długość sondy [cm]				281.4			
Średnica [cm]				8.9			
Odległość Źródło-Bli [cm]				31			
Odległość Źródło-Dal [cm]				54.5			
Źródło				Am-Be			
Otwór:							
Średnica [mm]	216			Wypełnienie: woda			
Szkielet skalny:							
standard mioceniński				Gęstość ro-m [gcm-3] 2.63			
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	K2O	H2O	CO2
[% wag]	72.50	7.00	2.00	7.50	1.80	1.20	8.00
Wypełnienie porów:							
woda			Nasycenie porów: 100%				
Otoczenie:							
Miocen-1:							
Porowatość Fi-c [p.u.]							
7.5							
Gęstość ro-c [gcm-3]	Sigma-a [c.u.]		SiO2 [% wag]		B-10 [% wag]		
2.508	15		7.2498E-01		1.63E-05		
Warstwa:							
Miocen-5:							
Grubość H [cm]	Kąt nachylenia alfa [stopnie]		Porowatość Fi-c [p.u.]				
25	45		45				
Gęstość ro-c [gcm-3]	Sigma-a [c.u.]		SiO2 [% wag]		B-10 [% wag]		
1.897	15		7.2498E-01		1.63E-05		
Odpowiedź sondy w ośrodku nieskończonym							
		Bter	Błąd(Bter)	Bepi	Błąd(Bepi)	Depi	Błąd(Depi)
		[abs/cm3/n]	[%]	[abs/cm3/n]	[%]	[abs/cm3/n]	[%]
Materiał otoczenia:	Miocen-1:	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.40E-08	1.23
Materiał warstwy:	Miocen-5:	1.13E-06	0.78	1.79E-06	0.83	2.33E-08	2.53
		[imp/s]	[%]	[imp/s]	[%]	[imp/s]	[%]
Materiał otoczenia:	Miocen-1:	943.47	0.53	297.64	0.6	170.35	1.23
Materiał warstwy:	Miocen-5:	481.14	0.78	166.02	0.83	60.4	2.53
Przeliczenie x - l. absorpcji w det. / 1 cm3 obj. det. / 1 neutron źródła na y - imp/s wg. benchmarku A. Drabiny							
Bter:	y=	391502728.29617	x+	40.84824			
Bepi:	y=	79756335.07211	x+	23.21134			
Depi:	y=	1554688573.80832	x+	24.16615			

Odpowiedź sondy w [abs/cm3/n]									
d_min	z_g	z_d	z_rel	Bter	Błąd(Bter)	Bepi	Błąd(Bepi)	Depi	Błąd(Depi)
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[abs/cm3/sn]	[%]	[abs/cm3/sn]	[%]	[abs/cm3/sn]	[%]
32.5	-28.28	-63.64	0.00	2.30E-06	0.53	3.43E-06	0.6	9.38E-08	1.23
27.5	-21.21	-56.57	7.07	2.28E-06	0.53	3.42E-06	0.6	9.30E-08	1.24
22.5	-14.14	-49.50	14.14	2.24E-06	0.54	3.39E-06	0.6	9.13E-08	1.25
17.5	-7.07	-42.43	21.21	2.15E-06	0.55	3.30E-06	0.61	8.83E-08	1.27
12.5	0.00	-35.36	28.28	1.98E-06	0.57	3.10E-06	0.63	8.06E-08	1.32
7.5	7.07	-28.28	35.36	1.75E-06	0.6	2.76E-06	0.67	6.99E-08	1.42
2.5	14.14	-21.21	42.43	1.52E-06	0.65	2.44E-06	0.71	6.02E-08	1.54
2.5	21.21	-14.14	49.50	1.32E-06	0.7	2.14E-06	0.76	5.03E-08	1.71
7.5	28.28	-7.07	56.57	1.19E-06	0.75	1.94E-06	0.8	4.21E-08	1.84
12.5	35.36	0.00	63.64	1.23E-06	0.74	1.90E-06	0.8	3.67E-08	1.99
17.5	42.43	7.07	70.71	1.38E-06	0.71	2.01E-06	0.78	3.37E-08	2.1
22.5	49.50	14.14	77.78	1.67E-06	0.65	2.27E-06	0.73	3.40E-08	2.08
27.5	56.57	21.21	84.85	2.00E-06	0.6	2.69E-06	0.68	3.73E-08	1.99
32.5	63.64	28.28	91.92	2.21E-06	0.56	3.07E-06	0.64	4.13E-08	1.86
37.5	70.71	35.36	98.99	2.29E-06	0.54	3.34E-06	0.61	5.21E-08	1.65
42.5	77.78	42.43	106.07	2.29E-06	0.53	3.40E-06	0.6	6.50E-08	1.51
47.5	84.85	49.50	113.14	2.30E-06	0.53	3.43E-06	0.6	7.89E-08	1.36
52.5	91.92	56.57	120.21	2.30E-06	0.53	3.44E-06	0.6	8.77E-08	1.28
57.5	98.99	63.64	127.28	2.30E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.22E-08	1.25
62.5	106.07	70.71	134.35	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.31E-08	1.24
67.5	113.14	77.78	141.42	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.35E-08	1.23
72.5	120.21	84.85	148.49	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.39E-08	1.23
77.5	127.28	91.92	155.56	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.40E-08	1.23
82.5	134.35	98.99	162.63	2.31E-06	0.53	3.44E-06	0.6	9.40E-08	1.23

Odpowiedź sondy w [imp/s]													
d_min	z_g	z_d	z_rel	z_śr-w	z_Bli	z_Dal	Bter	Błąd(Bter)	Bepi	Błąd(Bepi)	Depi	Błąd(Depi)	
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[imp/s]	[%]	[imp/s]	[%]	[imp/s]	[%]	
32.5	-28.28	-63.64	0.00	-45.96	76.96	100.46	940.2	0.53	297.1	0.6	170.1	1.23	
27.5	-21.21	-56.57	7.07	-38.89	69.89	93.39	933.8	0.53	296.1	0.6	168.8	1.24	
22.5	-14.14	-49.50	14.14	-31.82	62.82	86.32	917	0.54	293.4	0.6	166.2	1.25	
17.5	-7.07	-42.43	21.21	-24.75	55.75	79.25	882.5	0.55	286.2	0.61	161.4	1.27	
12.5	0.00	-35.36	28.28	-17.68	48.68	72.18	816.4	0.57	270.7	0.63	149.5	1.32	
7.5	7.07	-28.28	35.36	-10.61	41.61	65.11	725.7	0.6	243.2	0.67	132.8	1.42	
2.5	14.14	-21.21	42.43	-3.54	34.54	58.04	636.4	0.65	217.5	0.71	117.7	1.54	
2.5	21.21	-14.14	49.50	3.54	27.47	50.97	557.7	0.7	193.5	0.76	102.3	1.71	
7.5	28.28	-7.07	56.57	10.61	20.40	43.90	507.4	0.75	178	0.8	89.6	1.84	
12.5	35.36	0.00	63.64	17.68	13.32	36.82	523	0.74	174.8	0.8	81.3	1.99	
17.5	42.43	7.07	70.71	24.75	6.25	29.75	580.9	0.71	183.8	0.78	76.5	2.1	
22.5	49.50	14.14	77.78	31.82	-0.82	22.88	695.5	0.65	204.1	0.73	77	2.08	
27.5	56.57	21.21	84.85	38.89	-7.89	15.61	821.7	0.6	237.8	0.68	82.2	1.99	
32.5	63.64	28.28	91.92	45.96	-14.96	8.54	906.6	0.56	268.3	0.64	88.4	1.86	
37.5	70.71	35.36	98.99	53.04	-22.04	1.47	936.7	0.54	289.4	0.61	105.2	1.65	
42.5	77.78	42.43	106.07	60.11	-29.11	-5.61	938	0.53	294.4	0.6	125.2	1.51	
47.5	84.85	49.50	113.14	67.18	-36.18	-12.68	941.6	0.53	296.4	0.6	146.8	1.36	
52.5	91.92	56.57	120.21	74.25	-43.25	-19.75	942.4	0.53	297.2	0.6	160.6	1.28	
57.5	98.99	63.64	127.28	81.32	-50.32	-26.82	942.9	0.53	297.5	0.6	167.6	1.25	
62.5	106.07	70.71	134.35	88.39	-57.39	-33.89	943.1	0.53	297.6	0.6	168.9	1.24	
67.5	113.14	77.78	141.42	95.46	-64.46	-40.96	943.5	0.53	297.6	0.6	169.5	1.23	
72.5	120.21	84.85	148.49	102.53	-71.53	-48.03	943.4	0.53	297.6	0.6	170.2	1.23	
77.5	127.28	91.92	155.56	109.60	-78.60	-55.10	943.5	0.53	297.6	0.6	170.3	1.23	
82.5	134.35	98.99	162.63	116.67	-85.67	-62.17	943.5	0.53	297.6	0.6	170.4	1.23	

Dane do wykresów						
Ośrodek jednorodny	otoczenie	z [cm]				
		Bter	Bepi	Depi		
	warstwa	Miocen-1:	-100.00	943.47	297.64	170.35
			-17.68	943.47	297.64	170.35
			17.68	943.47	297.64	170.35
			100.00	943.47	297.64	170.35
		Miocen-5:	-100.00	481.14	166.02	60.40
			100.00	481.14	166.02	60.40
Położenie warstwy cienkiej			-17.68	0.00	0.00	0.00
			17.68	0.00	0.00	0.00
Błędy odpowiedzi detektorów			bl Bter	bl Bepi	bl Depi	
			[imp/s]	[imp/s]	[imp/s]	
			4.98306	1.7826	2.09223	
			4.94914	1.7766	2.09312	
			4.9518	1.7604	2.0775	
			4.85375	1.74582	2.04978	
			4.65348	1.70541	1.9734	
			4.3542	1.62944	1.88576	
			4.1366	1.54425	1.81258	
			3.9039	1.4706	1.74933	
			3.8055	1.424	1.64864	
			3.8702	1.3984	1.61787	
			4.12439	1.43364	1.6065	
			4.52075	1.48993	1.6016	
			4.9302	1.61704	1.63578	
			5.07696	1.71712	1.64424	
			5.05818	1.76534	1.7358	
			4.9714	1.7664	1.89052	
			4.99048	1.7784	1.99648	
			4.99472	1.7832	2.05588	
			4.99737	1.785	2.095	
			4.99643	1.7856	2.09436	
			5.00055	1.7856	2.08485	
			5.00002	1.7856	2.09346	
			5.00055	1.7856	2.09469	
			5.00055	1.7856	2.09592	