

**Recenzja w sprawie postępowania  
o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż. Tomaszowi Dankowi**

Tytuł osiągnięcia naukowego:

***"Modelowanie i inwersja globalna danych sejsmicznych i seismologicznych  
na różnych etapach inwersji pełnej formy falowej"***

Tomasz Danek jest absolwentem Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska - Akademii Górniczo-Hutniczej, który ukończył w 1999 roku, uzyskując stopień magistra - inżyniera w specjalności Geofizyka poszukiwawcza.

W 2004 roku Tomasz Danek uzyskał stopień naukowy doktora nauk o Ziemi nadany uchwałą Rady Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w rezultacie obrony pracy doktorskiej pt. "Modelowanie numeryczne pola falowego w ośrodkach niejednorodnych w zastosowaniu do poszukiwań węglowodorów". Dr inż. T. Danek - adiunkt Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska w latach 2011-2013 przebywał na studiach postdoktorskich w Memorial University of Newfoundland and Labrador (Canada).

Tytuł osiągnięcia naukowego obejmuje serię 9 publikacji wydanych w latach 2007-2014 przez zagraniczne i krajowe wydawnictwa. Generalnie, tytuł ten odzwierciedla merytoryczną treść tych prac, które akcentują zasadniczą rolę modelowania w procesie globalnej optymalizacji.

Omówienie i uwagi do poszczególnych pozycji wydawniczych:

- Monografia "Numerical modeling of seismic wave propagation in selected anisotropic media", autorzy: T. Danek; A. Leśniak; A. Pięta, Wyd. Polskiej Akademii Nauk - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii.

Według oceny T. Danka stanowi jedną z najważniejszych pozycji w dorobku współautora.

W monografii zaprezentowane zostały algorytmy pełnego równania falowego, opartego o prawo Hooke'a i równanie ruchu dla modelu poprzecznej anizotropii z pionową osią symetrii (VTI) i modelu ortorombowego.

Posługując się relacjami macierzowymi Bonda, rozszerzono zakres analizy na ośrodki o bardziej skomplikowanej geometrii tj. TTI (Tilted Transverse Isotropy) oraz HTI (Horizontal Transverse Isotropy) i dokonano trójwymiarowego (3D) testowania. Istotnym, z praktycznego punktu

widzenia, wnioskiem jest spostrzeżenie, że schemat różnicowy drugiego rzędu względem czasu i współrzędnych przestrzennych jest właściwym kompromisem pomiędzy prędkością obliczeń i precyzją procesu modelowania oraz stwierdzenie, że w ośrodku anizotropowym 3D posługiwanie się pojedynczym nodem obliczeniowym jest przedsięwzięciem praktycznie nierealizowalnym. Paralelizacja procesu komputerowego - jest efektywnym sposobem obliczeń w realnym ośrodku, szczególnie dla dużych rozstawów pomiarowych. Udział T. Danka polegał na konstrukcji równoległego i rozproszonego kodu do modelowania pełnych obrazów o środowisku anizotropowym TI i oceniony jest na 33%.

- W grupie publikacji dotyczących inwersji badania niepewności estymacji efektywnego tensora sprężystości, bazującego na globalnej optymalizacji i metodzie Monte Carlo, stanowi kontynuację zagadnienia podjętego przez współautorów tj. M. Kochetova oraz M. Sławinskiego dotyczącego wyznaczania tensora sprężystości (I. Mech. Appl. Math. 62, 2009; Geophysics 74, WB-67-WB73; J. Elast. 94, 2009 (1-13)). Proces minimalizacji dystansu, oparty na zastosowaniu normy Frobeniusa, użyty we wcześniejszych pracach współautorów do uzyskania rozkładów (map) dystansów dla poszczególnych przypadków w tej pracy, został potraktowany przez T. Danka, jako obiekt optymalizacji a w charakterze metody badawczej - zaproponował metodę roju cząstek (z ang. particle - swarm method).

Ta propozycja pozwoliła znacznie przyspieszyć proces określania efektywnego tensora dla wszystkich ośmiu symetrii, oferując stabilne, numeryczne rozwiązania. Użyteczność metody została zilustrowana poprzez zastosowanie analizy Monte Carlo do estymacji błędów, co pozwala ustanowić szereg możliwych interpretacji tensora sprężystości. Udział T. Danka w tej publikacji został oceniony na 70%.

- Opis praktycznego zastosowania powyższej metody jest przedmiotem publikacji pt. "On choosing effective elasticity tensors using a Monte-Carlo method", autorzy: T. Danek i M. Sławinski. Acta Geophysica (przyjęty do druku). W publikacji tej skoncentrowano się na odróżnieniu ośrodków TI od ortotropicznych oraz na ocenie stopnia anizotropii. Udział T. Danka został oceniony na 70%.
- Publikacja "Bayesian inversion of VSP - traveltimes for linear inhomogeneity and elliptical anisotropy" - T. Danek, M. Sławinski, Geophysics No. 6, 2012 - traktuje o bardzo interesującym i ważnym z praktycznego punktu widzenia zagadnieniu oceny parametrów niejednorodności i anizotropii ośrodka, w którym dokonywane są pomiary profilowania VSP. Autorzy potwierdzają, że jednoczesna estymacja niejednorodności i eliptycznej anizotropii jest możliwa. Interesującym byłaby odpowiedź na pytanie; czy taka estymacja jest możliwa również dla innego typu anizotropii?

Udział T. Danka w publikacji wynosi 70%.

- Praca P. Zheglova, T. Danek; "Asymptotic full waveform inversion for arrival separation and post-critical phase correction with application to quasi-vertical fault imaging" - Geophysical Journal International, Vol. 193, 2013 - porusza problem odwzorowania pionowych lub silnie nachylonych powierzchni uskokowych, przy użyciu naturalnych źródeł drgań tj. trzęsień ziemi, zlokalizowanych w pobliżu uskoku. W takiej sytuacji geometrycznej powstaje problem rozdzielania interferujących fal - propagującej bezpośrednio ku powierzchni rejestracji i odbitej od powierzchni uskokowej. W szczególnym przypadku, gdy kąty odbicia fal należą do zakresu pozakrytycznego istnieje konieczność skorygowania fazy, aby uniknąć przesunięć czasów wstąpienia fal.

Autorzy, problem ten sformułowali, jako zagadnienie optymalizacyjne, w którym kwadrat różnicy czasów wstąpienia fal jest minimalny. Jest to zagadnienie nieliniowe. Rezultaty należy uznać za obiecujące. Sądzę, że alternatywnym sposobem odwzorowania pionowego uskoku może być migracja głębokościowa w wersji zero-offset w dziedzinie liczb falowych i częstotliwości. Znajomość prędkości ośrodka jest koniecznym warunkiem powodzenia operacji ekstrapolacji głębokościowej. Udział T. Danka w tej publikacji jest oceniony na 30%.

- Publikacja "Identification of seismic anomalies caused by gas saturation on the basis of theoretical P and PS wavefield in the Carpathian Foredeep, SE Poland": K. Pietsch, P. Marzec, M. Kobylarski, T. Danek, A. Leśniak, A. Tatarata, E. Gruszczyk, stanowi obszerne studium badawcze, ukierunkowane na wykrywanie złóż gazu w cienkwarstwowym ośrodku miocenu Przedgórze Karpat i jest przykładem efektywnego modelowania opartego na równaniu akustycznym i równaniu ruchu do porównania sekcji sejsmicznych fal podłużnych i przemiennych PS.

Eksperyment został przeprowadzony w rejonie Chałupek Dębnińskich, gdzie nawiercono otworem Ch-2 złożę o przemysłowych zasobach. Z porównania sekcji sejsmicznych dla fal podłużnych i przemiennych można wyraźnie dostrzec różnice w odwzorowaniu ośrodka. Fale przemiennych PS są, bowiem "przezroczyste" w odniesieniu do zawartości medium w porach sedymentacyjnego ośrodka.

Koincydencja sekcji czasowych fal podłużnych sekwencji teoretycznych (modelowych) i realnych (polowych) jest bardzo dobra i świadczy o właściwym rozkładzie prędkości rzeczywistych i prawidłowym procesie modelowania.

Nieco gorzej przedstawia się natomiast porównanie sekcji fal przemiennych PS. Być może przyczyną tego stanu rzeczy jest użycie izotropowego modelu prędkości. Warto zauważyć, że porównanie sekcji w formie głębokościowych odwzorowań stanowi korzystniejszą z punktu widzenia wiarygodności, przesłankę badania obecności akumulacji gazu. Udział T. Danka w tej publikacji polegał na opracowaniu algorytmu i modelowań elastycznego pola falowego.

Autor ocenia swój udział na 6%.

- Podjęcie zagadnienia estymacji drgań powierzchni gruntu w rejonie kopalni Rudna jest przedmiotem publikacji "Numerical modeling of ground vibration caused by underground tremors in the LGOM mining area", A. Pięta, T. Danek; A. Leśniak; *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 25, 2009.

W numerycznym rozwiązaniu równania falowego w ośrodku niejednorodnym stosowano metodę różnic skończonych w wersji "staggered grid" tj. przesuniętych siatek. Metoda ta umożliwiła uzyskanie stabilnego rozwiązania z równoczesną redukcją błędów dyspersyjnych na siatkach obliczeniowych. W charakterze źródła wstrząsu przyjmowano podwójną parę sit zgodnie z orientacją naprężeń ustalonych na podstawie archiwalnych danych. Zmieniając orientację płaszczyzn modalnych oraz lokalizację źródeł, uzyskano zależności umożliwiające analizę szczegółowego rozkładu drgań na powierzchni terenu. Pozwala to efektywnie prognozować wstrząsy wywołane eksploatacją surowców oraz ocenić ich skutki. Udział T. Danka w tej publikacji oszacowano na 35%.

Następne prace z udziałem T. Danka wytypowane do grupy stanowiącej osiągnięcia naukowo-badawcze są kontynuacją i rozwiązaniem zagadnień poruszanych w studium badawczym na temat estymacji drgań powierzchni gruntu. Są to publikacje "Efektywne zastosowanie modelowań numerycznych w sejsmologii górniczej" T. Danek, A. Pięta, A. Leśniak; *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, T. 11, 2010 oraz "Kierunki rozwoju modelowań numerycznych sejsmicznego pola falowego", *Przegląd Geologiczny*, T. 66, 2010.

Zaprezentowano w nich efektywny algorytm wg Virieux (1986) modelowania pola falowego oraz dwie podstawowe metody jego implementacji w paralelnych środowiskach komputerowych - metodę dekompozycji trywialnej i domenowej. Podkreślono szczególną wagę nowego kierunku obliczeń z wykorzystaniem kart graficznych.

Ten kierunek obliczeń był również przedmiotem artykułu T. Danka opublikowanym w *Lectures Notes in Computer Science* (5545, 2009). Udział T. Danka w powyższych publikacjach wynosił odpowiednio 35% i 30% i polegał na wykonaniu modelowań pełnego pola falowego oraz dokonaniu analizy wydajności obliczeń.

Znaczący w literaturze geofizycznej jest również pozostały dorobek publikacyjny T. Danka. Autor był silnie zaangażowany w realizację projektów w dziedzinie informatyki. Na podkreślenie zasługuje fakt, że T. Danek skonstruował pierwszy klaster komputerowy w okresie pracy nad doktoratem a następnie kilka takich jednostek obliczeniowych. Na bazie zakupionego klastra typu Blade autor skonstruował heterogeniczną infrastrukturę stanowiącą podstawowe narzędzie obliczeniowe pracowników i studentów Wydz. GGiOŚ. Konieczność dokonywania bardzo czasochłonnych obliczeń zainspirowała T. Danka do poszukiwań rozwiązań opartych na adaptacji równoległej infrastruktury kart graficznych 3D Open GL. Połączenie typowych klastrów Linux'a i kart

graficznych zaowocowało zastosowaniem tej mieszanej formy obliczeniowej do inwersji pełnej formy falowej (poz. 14 w spisie literatury).

Kolejnym obiektem zainteresowań T. Danka była magnetotelluryka. Autor opracował dla Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych zespół rutynowych programów obliczeniowych oraz programy do obliczeń globalnej inwersji danych pomiarowych.

Generalnie należy zauważyć, że magnetotelluryka w wersji profilowań i sondowań z wykorzystaniem zarówno amplitudy jak i fazy i impedancji w funkcji częstotliwości jest dogodnym obiektem do użycia globalnej optymalizacji, pod warunkiem dobrej jakości danych pomiarowych.

Rezultaty tych badań, prezentujące interpretację polowych zdjęć na Przedgórzu Karpat zawarte są w publikacjach [16 - 21] spisu literatury.

Dr T. Danek posiada znaczny dorobek naukowy udokumentowany publikacjami w renomowanych czasopismach (22 cytowania) i prezentowany wielokrotnie w krajowych i zagranicznych sympozjach (34 referaty i postery).

Zespół oryginalnych prac stanowiących rozprawę habilitacyjną formułuje spójną merytorycznie koncepcję prezentacji rozwiązania wybranych zadań modelowania i inwersji w dziedzinie sejsmiki i sejsmologii górniczej. Zaprezentowany kierunek wpisuje się we współczesną tendencję rozwiązywania zagadnień inwersyjnych.

Reasumując, sądzę, że przedstawiona rozprawa habilitacyjna oraz działalność naukowo-badawcza dr T. Danka spełniają stosowne wymagania według Ustawy o stopniach i tytułach naukowych i wnioskuję o nadanie dr T. Dankowi stopnia doktora habilitowanego.

