

Autoreferat

Tomasz Danek

18 grudnia 2013

1 Imię i Nazwisko

Tomasz Danek

2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania.

2004 — Doktor nauk o Ziemi. Rozprawa: Modelowanie numeryczne pola falowego w ośrodkach niejednorodnych w zastosowaniu do poszukiwań węglowodorów. Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska.

1999 — Magister inżynier. Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, kierunek: górnictwo i geologia, specjalność: geofizyka poszukiwawcza.

3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

2004 - teraz — Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska - adiunkt

2011 - 2013 — Memorial University of Newfoundland and Labrador, St. John's, Kanada - postdoctoral fellow

2003 - 2004 — Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska - asystent



4 Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

Modelowanie i inwersja globalna danych sejsmicznych i sejsmologicznych na różnych etapach inwersji pełnej formy falowej

4.1 (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

- 1 T. Danek and M. A. Slawinski. On choosing effective elasticity tensors using a Monte-Carlo method. *Acta Geophysica*, w druku
- 2 T. Danek, M. Kochetov, and M. A. Slawinski. Uncertainty analysis of effective elasticity tensors using quaternion-based global optimization and Monte-Carlo method. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 66:253–272, 2013
- 3 P. Zheglova and T. Danek. Asymptotic full waveform inversion for arrival separation and post-critical phase correction with application to quasi-vertical fault imaging. *Geophysical Journal International*, 193:886–897, 2013
- 4 T. Danek and M. A. Slawinski. Bayesian inversion of VSP traveltimes for linear inhomogeneity and elliptical anisotropy. *Geophysics*, 77:239–243, 2012
- 5 T. Danek, A. Leśniak, and A. Pięta. *Numerical modeling of seismic wave propagation in selected anisotropic media*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 2010
- 6 T. Danek, A. Pięta, and A. Leśniak. Efektywne zastosowanie modeli numerycznych w sejsmologii górniczej — effective use of numerical modelling in mining seismology. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 11:18–24, 2010
- 7 T. Danek, A. Pięta, and A. Leśniak. Kierunki rozwoju modeli numerycznych sejsmicznego pola falowego — progress of seismic wave field numerical modeling. *Przegląd Górniczy*, 66:58–63, 2010



- 8 A. Pięta, T. Danek, and A. Leśniak. Numerical modeling of ground vibration caused by underground tremors in the LGOM mining area. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management*, 25:261–271, 2009
- 9 K. Pietsch, P. Marzec, M. Kobylarski, T. Danek, A. Lesniak, and A. Tatarata et al. Identification of seismic anomalies caused by gas saturation on the basis of theoretical P and PS wavefield in the Carpathian Foredeep, SE poland. *Acta Geophysica*, 55:191–208, 2007

4.2 omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

4.2.1 Wstęp

Inwersja pełnej formy falowej stanowi jedno z najambitniejszych zadań współczesnej geofizyki zarówno w kontekście teoretycznym jak i numerycznym. Podchodząc do problemu jak do zagadnienia optymalizacyjnego należy skupić się na trzech zasadniczych etapach. Pierwszym jest precyzyjne i możliwie efektywne wymodelowanie pola falowego w syntetycznym ośrodku o właściwościach możliwie bliskich ośrodkowi skalnemu. Następnym etapem jest odtworzenie realnych parametrów ośrodkach skalnego w oparciu o pole syntetyczne. Rozwiązanie tego problemu może bazować na lokalnych bądź globalnych metodach optymalizacyjnych przy czym skomplikowanie zagadnienia, czułość na warunki początkowe i generalna "zwodniczość" funkcji celu skłania raczej do poszukiwania rozwiązań globalnych nie bazujących na gradiencie wyżej wspomnianej funkcji. Ostatnim ale niezwykle ważnym problemem związanym z inwersją pełnej formy falowej jest ocena niepewności rozwiązania a co za tym idzie prawidłowej interpretacji odzyskanych parametrów badanego ośrodka. Operacje wymagają często zastosowania kolejnych optymalizacji skomplikowanych funkcji posiadających punkty osobliwe a także wiele minimów lokalnych. W swojej dotychczasowej pracy starałem się koncentrować na wszystkich etapach omawianego procesu przy czym za największy sukces uważam efektywne modelowanie pełnego pola falowego ośrodka ortotropycznym (etap I) [5] oraz analizę niepewności i określenie możliwej symetrii pełnego tensora sprężystości dla ośrodka anizotropowego (etap III) [1, 2]. W przedstawionym powyżej dorobku etap II reprezentowany jest przez [3] przy czym proponowana tam asymptotyczna metoda nie jest jeszcze doskonała. W przedstawionym poniżej omówieniu mojej dotychczasowej pracy



zachowałem zarówno porządek chronologiczny jak i ten wynikający z kolejnych faz inwersji formy falowej.

4.2.2 Modelowania pełnej formy falowej

Efektywne i precyzyjne rozwiązanie numeryczne równania falowego jest kluczowe nie tylko dla metody inwersji pełnej formy falowej, ale także dla innych metod współczesnej sejsmiki jak na przykład migracji czasu odwróconego. Pracę nad zagadnieniami tego rodzaju rozpocząłem już na etapie pracy doktorskiej [10] w której to koncentrowałem się głównie nad możliwościami wykorzystania obliczeń równoległych i rozproszonych celem przyspieszenia akustycznego i elastycznego rozwiązywania równania falowego w ośrodku niejednorodnym. Stworzone kody równoległe w wariantach Message Passing Interface i Parallel Virtual Machine zostały uruchomione na zbudowanych również przeze mnie dwóch klastrach obliczeniowych. Klastry te były pierwszymi tego rodzaju infrastrukturami obliczeniowymi na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska i były potem przez kilka lat wykorzystywane przez pracowników, doktorantów i studentów wydziału. Stworzone oprogramowanie zostało również zainstalowane na klastrach przedsiębiorstwa Geofizyka Kraków i było wykorzystywane przy pracach nad projektem celowym: "Opracowanie kryteriów sejsmicznej lokalizacji złóż węglowodorów dla warunków zapadliska przedkarpackiego w oparciu o nowe techniki trójskładnikowych pomiarów sejsmicznych (3C) i modelowań całkowitego pola falowego". Wyniki modelowań z wykorzystaniem rozwiniętych wersji stworzonego oprogramowania o nazwie SeisMod zostały potem wykorzystane w pracy [9]. W pracy tej skupiono się na analizie możliwości wykorzystania fal przemiennych PS jako dodatkowego źródła informacji wspierającego klasyczne sekcje sejsmiczne dla fal podłużnych celem polepszenia jakości interpretacji geofizycznej kompleksów cienkowarstwowych zapadliska przedkarpackiego. Porównanie rzeczywistych trójskładowych danych sejsmicznych pochodzących ze zdjęcia wykonanego nad złożem Chałupki Dębniańskie z wynikami modelowań pełnych obrazów falowych wykonanych w oparciu o modele prędkości uzyskane na bazie akustycznych profilowań otworowych pozwoliło polepszyć interpretację złożową opartą o bezpośrednie wskaźniki węglowodorów. Oczywiście na tym etapie rozwoju osiągnięcia naukowego niemożna było jeszcze mówić o inwersji formy falowej ale znaczne skrócenie obliczeń — z około pół roku do kilku tygodni — uzyskane dzięki zastosowaniu w stworzonym przez mnie oprogramowaniu obliczeń równoległych i rozproszonych pozwoliło zbudować podstawę do eksperymentów z zastosowaniem metod globalnych.

W następnych latach, równoległe z innymi pracami, kontynuowałem rozwój możliwości generowania pełnej formy falowej w coraz to bardziej skompi-



lowanych ośrodkach i z zastosowaniem bardziej zaawansowanych metod numerycznych. I tak w [8] przedstawiono metodę estymacji drgań powierzchni Ziemi wywołanych wstrząsami górniczymi w kopalni Rudna. Do tego celu wykorzystano model geologiczny z uwzględnieniem losowych niejednorodności w strefie małych prędkości. Duże zróżnicowanie prędkości w wykorzystanym modelu spowodowało, że użycie klasycznych metod numerycznego rozwiązania równania falowego okazało się nieefektywne zarówno ze względu na czasochłonność obliczeń jak i na uzyskaną precyzję. Główny problem polegał tutaj na niemożności efektywnego zastosowania dwóch alternatywnych schematów różnicowych w obszarach jednorodnych (szybszego) i niejednorodnych (wolniejszego) z powodu silnej niejednorodności strefy przypowierzchniowej. Poza tym obliczenia przeprowadzano dla wielu schematów obserwacyjnych i dla dużego modelu prędkościowego co pociągało za sobą konieczność rozrzedzenia siatki obliczeniowej. Dlatego też do przeprowadzenia tych obliczeń zastosowałem metodę różnic skończonych w wariacie siatek przesuniętych (*staggered-grid*) a implementację przystosowałem do pracy w środowiskach równoległych i rozproszonych z wykorzystaniem zarówno dekompozycji domenowej jak i funkcyjnej. Od strony geofizycznej praca skupiała się na modelowaniu efektów powierzchniowych wywołanych źródłem sejsmicznym zbudowanym z podwójnej pary sił. Orientację źródła została przez współautorów odtworzona na podstawie licznych archiwalnych zapisów wstrząsów z analizowanego obszaru. Następnym krokiem było przeprowadzenie modelowań propagacji fal dla różnych lokalizacji źródeł a także dla zmiennych stopnia niejednorodności nadkładu co pozwoliło określić maksymalne prędkości przemieszczeń możliwe do zaobserwowania na danym obszarze. Zaproponowana metoda pozwala na estymacje efektów powierzchniowych wstrząsów górniczych na obszarach nieobjętych obserwacjami.

Kolejna dwie prace związane z efektywnym modelowaniem obrazów falowych [7, 6] stanowią niejako posumowanie i konkluzję dotychczasowych osiągnięć w różnych zastosowaniach geofizycznych przy założeniu ośrodków o dużej heterogeniczności ale ograniczonej anizotropii. Praca [7] skupiała się na zaprezentowaniu dotychczasowych możliwości stworzonego przeze mnie oprogramowania w szerokim spektrum zastosowań sejsmiki poszukiwawczej, kopalnianej a także sejsmologii. Rozwój coraz efektywniejszych i dokładniejszych metod rozwiązania równania falowego jak i gwałtowny wzrost wydajności obliczeniowej sprzętu komputerowego spowodowany zarówno przez ewolucję klasycznych procesorów wielordzeniowych jak i wykorzystanie procesorów kart graficznych (z moich innych prac na przykład: [11, 12]) pozwolił na pierwsze obliczenia dla ośrodków 3D przy uwzględnieniu anizotropii o niższej symetrii niż TI w akceptowalnym czasie. W drugiej z wymienionych na początku paragrafu prac ([6]) skupiono się na stronie numeryczno-obliczeniowej



efektywnego wykorzystania modeli w zastosowaniu do seismologii górniczej. Specyfika tego rodzaju prac czyli w szczególności wspomniane wcześniej silne niejednorodności a także duży rozmiar modelu powodują konieczność zastosowania różnych rodzajów dekompozycji celem uzyskania wyników w akceptowalnym czasie. Dodatkowym omówionym problemem była zależność wybranego sposobu obliczeń od zadania numerycznego i wybranej infrastruktury obliczeniowej.

Ostatnia praca dotycząca wyłącznie modelowania pełnej formy falowej wchodząca w skład osiągnięcia naukowego to monografia [5] w której przedstawiono, poza teoretycznymi podstawami, algorytmy numerycznego rozwiązania równania falowego oraz ich implementację dla anizotropowych ośrodków 3D o symetriach TI (VTI i HTI) oraz ortotropicznej. Wymagało to ode mnie stworzenia od podstaw nowego oprogramowania w którym rozwiązania bazują na pełnym tensorze sprężystości, przy czym założona symetria ośrodka redukuje jedynie ilość składowych niezerowych. Potrzeba całkowitego przeprojektowania rozwiązania problemu numerycznego wynikała z ogromnej czasochłonności obliczeń a także z konieczności zapewnienia olbrzymiej ilości pamięci RAM. Kluczem do praktycznego rozwiązania powyższych problemów okazało się zastosowanie hybrydowej dekompozycji oraz tablicy wyszukiwań (*lookup table*). Oczywiście rozwiązanie to nie było by możliwe bez wykorzystania odpowiedniej infrastruktury obliczeniowej, którą w tym wypadku zapewnił utworzony przeze mnie katedralny klastr obliczeniowy. Poza częścią implementacyjną moja praca przy monografii polegała także na wykonaniu modeli propagacji fal dla źródeł eksplozywnych (dynamit), podwójnej pary sił (wstrząs sejsmiczny) oraz zbudowanych z pojedynczej siły działającej w jednym kierunku (źródło udarowe) w ośrodkach o różnym stopniu anizotropii a następnie porównaniu i dyskusji otrzymanych wyników. Jak to zostało wcześniej powiedziane w pracy skupiono się na ośrodkach TI oraz ortotropicznym ale stworzone przeze mnie rozwiązanie numeryczne i jego implementacja mogą być wykorzystane do pracy z ośrodkiem o dowolnej symetrii.

4.2.3 Różne etapy inwersji pełnej formy falowej

Wraz z rozwojem coraz to dokładniejszych i szybszych metod modelowania pełnej formy falowej pojawiła się możliwość wykorzystania metod globalnych i/lub stochastycznych w konstrukcji zagadnienia odwrotnego realizowanego w oparciu o całość zarejestrowanego pola. Głównym problemem są tutaj przede wszystkim ogromna ilość parametrów, czasochłonność obliczeń jak i złożona topologia funkcji celu. Pierwsze zagadnienie można rozwiązać starając się nieco upraszczać model w sposób nieco przypominający meto-



dę ostrych granic (*sharp boundaries*) znaną z metod elektromagnetycznych. Przykłady zastosowania takiego podejścia można znaleźć w współtworzonych przeze mnie innych pracach [13, 14, 15]. Rozwiązania te nie są jednak jeszcze na tyle uniwersalne i szybkie aby mogły znaleźć praktyczne zastosowanie. Alternatywnym podejściem może być tutaj zastosowanie aproksymacyjnych metod uzyskania obrazu falowego w oparciu o funkcję Green'a i przy pewnych założeniach dotyczących budowy geologicznej analizowanego obszaru. Przykładem takiego podejścia może być praca [3]. W tym przypadku wykorzystano właśnie taką zmniejszającą ilość niewiadomych procedurę aproksymacyjną stworzoną przez współautorkę. Ograniczenie ilości parametrów odbywa się tutaj kosztem założenia występowania pionowych bądź prawie pionowych uskoków i zlokalizowanie przy nich źródeł wstrząsów sejsmicznych. Od strony samej inwersji głównym problemem jest rozdzielenie wstąpień fali bezpośredniej i odbitej a także pozakrytyczne kąty odbicia. Mój udział w stworzeniu tej publikacji polegał na znalezieniu i zaimplementowaniu metody pozwalającej w szybki i przede wszystkim niezczuły na lokalne minima sposób odzyskać parametry funkcji celu które potem służyły do obrazowania ośrodka. Ponieważ w tym samym czasie pracowałem nad zagadnieniami związanymi z oceną wiarygodności przybliżenia ośrodka rzeczywistego modelem Hooke'a o zadanej symetrii postanowiłem wykorzystać do tego celu podobne metody stochastyczne: markowskie Monte Carlo (*MCMC*) lub metodę roju cząstek (*PSO*). Po testach okazało się, że metoda PSO jest niezwykle szybka i niemal niewrażliwa na lokalne minima. Sprawilo to, że zdecydowaliśmy użyć jej do dalszych obliczeń a analizę niepewności bazującą na MCMC przenieść do następnego artykułu. Odpowiednie sformułowanie zagadnienia odwrotnego i zastosowanie odpowiedniej i wydajnej szybkiej metody globalnej pozwoliło wykonać kluczowe operacje: separację wstąpień oraz korektę fazy dla odbić pozakrytycznych w jednej relatywnie szybkiej optymalizacji. Uzyskane rozwiązanie zadanego problemu jest niezwykle eleganckie i satysfakcjonujące dlatego też pomimo jedynie trzydziestoprocentowego udziału w tej publikacji uważam ją za jedno z moich najważniejszych dokonań naukowych.

Jak już wspominałem wcześniej w tej sekcji zastosowane w [3] rozwiązania były rozwijane w ramach prac nad innym, finalnym etapami inwersji pełnej formy falowej związanej z odzyskaniem i prawidłową interpretacją tensora sprężystości ośrodka anizotropowego w oparciu o dane pionowych profilowań sejsmicznych (*VSP*). Na tym etapie powstaje inne ważne dla inwersji pytanie: Czy i na ile jesteśmy pewni, że badany ośrodek jest rzeczywiście anizotropowy? Ponieważ w przypadku realnych ośrodków anizotropia objawia się mniej lub bardziej eliptycznym kształtem frontu falowego zastosowanie prostego modelu tego rodzaju anizotropii w połączeniu z czasami przebiegów z co najmniej dwóch źródeł pozwala, niejako przy okazji bardziej zaawanso-

wanych badań, odpowiedzieć na to pytanie. W pracy [4] przedstawiono tego rodzaju analizę z wykorzystaniem MCMC dla danych VSP z Basenu Zachodniej Kanady. Podobnie jak w przednim przypadku moja praca polegała na efektywnym rozwiązaniu zagadnienia odwrotnego a następnie przeprowadzeniu odpowiedniej interpretacji wyników. Ponieważ rozwiązywany problem od strony numerycznej nie był ani szczególnie trudny ani czasochłonny zdecydowałem się wykorzystać algorytm MCMC zarówno do określenia rozkładów rozwiązań jak i to znalezienia konkretnych wartości parametrów modelu, które to parametry zostały potem wykorzystane do wyboru odpowiedniej parametryzacji w oparciu o Bayesowskie Kryterium Informacji (*BIC*). Dodatkowo w pracy tej przeprowadziłem analizę wpływu geometrii pomiarowej na wyniki analizy niepewności.

4.2.4 Analiza niepewności i określenie możliwej symetrii pełnego tensora sprężystości

Określenie ewentualnej symetrii badanego ośrodka jak i konkretnych stałych materiałowych czy też innych parametrów go definiujących (jak na przykład stałe Thomsen'a) są ostatnim etapem omawianego procesu inwersji. Dodatkowo, w przypadku dysponowania dostateczną ilością informacji na temat błędów, pomocna w ostatecznej interpretacji może być również analiza niepewności uzyskiwanych rozwiązań. Jest to szczególnie istotny problem w przypadku bądź to ośrodków o podobnych symetriach (jak na przykład tetragonalny i TI) bądź to w przypadku występowania dużych błędów estymacji pełnego tensora sprężystości. Ten ostatni przypadek stanowi punkt wyjścia dla publikacji [2, 1]. W pierwszej z wymienionych prac zaproponowałem zastosowanie metody roju cząstek jako głównej metody optymalizacji. Całość procesu minimalizacji dystansu, zdefiniowanego jak wartość normy Frobeniusa, została oparta o rotacje z wykorzystaniem kwaternionów co pozwoliło uniknąć typowych problemów związanych z wykorzystaniem kątów Eulera (punkty osobliwe i nieefektywność numeryczna). Zastosowanie kwaternionów do rotacji tensora sprężystości celem minimalizacji normy zostało zaproponowane przez moich współautorów we współczesniejszej publikacji jednakże jedynie do wygenerowania map dystansu do niektórych symetrii na podstawie których niejako zgadywano końcowe rozwiązanie. Zastosowanie przeze mnie metody optymalizacji globalnej pozwoliło nie tylko zautomatyzować i przyspieszyć proces określenia tensora efektywnego ale także pozwoliło dokonać tego dla wszystkich możliwych ośmiu symetrii. Co więcej pozwoliło to również na wygenerowanie dziesiątek tysięcy losowo perturbowanych rozwiązań które posłużyły do określenia rozkładów poszczególnych stałych bądź paramentów. Złożoność problemów teoretycznych, numerycznych jak

i związanych z praktyczną implementacją zadania optymalizacyjnego stanowiła ogromne wyzwanie, dlatego też uważam tą pracę za najważniejszą w moim całym dorobku naukowym. Praca [1] stanowi opis praktycznego zastosowania nowej metody skupiając się na jej zastosowaniu do odróżnienia ośrodków TI i ortotropicznych a także od oceny stopnia anizotropii. Do tego celu wykorzystałem nie tylko stałe materiałowe ale także rozkłady dystansów do poszczególnych symetrii jak i stałe Thompsen'a. Uzyskane rozkłady pozwoliły jednoznacznie pokazać, że analizowany ośrodek posiada symetrie ortotropiczną.

5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych)

5.1 Możliwości wykorzystania obliczeń typu GPGPU w modelowaniu i inwersji sejsmicznej

Zastosowanie wysokowydajnej i masywnie równoległej infrastruktury obliczeniowej kart graficznych stanowi niewątpliwy przełom w rozwiązywaniu czasochłonnych problemów obliczeniowych. Z technologią tą zetknąłem się podczas mojego pierwszego udziału w projekcie UE "HPC Europa" w 2005 a więc jeszcze przed szerokim upowszechnieniem się technologii "C for CUDA" czy też późniejszej OpenCL. Moje pierwsze eksperymenty z zastosowaniem technologii GPGPU do zagadnień sejsmicznych bazowały więc na adaptowaniu technologii grafiki 3D OpenGL do zadań obliczeniowych. Publikacja [16] pokazuje możliwość efektywnego zastosowania takiej adaptowanej technologii w modelowaniu sejsmicznego pola falowego. Dalej zajmowałem się możliwościami połączenia typowych klastrów Linux'owych i kart graficznych w jedną wydajną strukturę obliczeniową opartą o interfejs MPI. Praca ta znalazła swoje podsumowanie w publikacji [12]. Doświadczenia zdobyte w czasie badań związanych z zagadnieniem prostym pozwoliły potem wykorzystać mieszane struktury obliczeniowe w pracach nad inwersją stochastyczną pełnej formy falowej. Pierwszą próbę zastosowania takiej kombinacji specyficznej platformy obliczeniowej i konkretnego zadania obliczeniowego przedstawiłem w [14]. Prace te zostały potem przerwane moim wyjazdem na dwuletnie stypendium do Kanady gdzie zająłem się innymi aspektami inwersji pełnej formy falowej.



5.2 Budowa i wykorzystanie infrastruktury dla obliczeń wysokiej wydajności

Jak to zostało wcześniej wspomniane prowadzone przeze mnie badania wymagały niejednokrotnie specyficznej platformy obliczeniowej która nie zawsze była dostępna. W czasie prowadzonych przez siebie badań zbudowałem i zarządzałem kilkoma klastrami komputerowymi. Pierwszy taki klaster został przeze mnie skonstruowany i wykorzystany już w czasie pracy nad doktoratem. Następnie skonstruowałem jeszcze kilka innych takich maszyn zbudowanych z komputerów pracowni wydziałowych. W 2007 roku po otrzymaniu dotacji z Fundacji Nauki Polskiej katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej zakupiła pierwszy klaster obliczeniowy typu Blade który to klaster jest wykorzystywany do dzisiaj przez pracowników i studentów wydziału GGIOS. Maszyna ta posłużyła mi potem za bazę do konstrukcji pierwszej na wydziale heterogenicznej infrastruktury obliczeniowej typu multiCPU-multiGPU. W międzyczasie udało mi się dwa razy uczestniczyć w programie UE "HPC Europa" dzięki czemu miałem dostęp to największych europejskich superkomputerów. W roku 2011 otrzymałem stypendium i dołączyłem do "Computational Applied Geophysics Group" na uniwersytecie Memorial w Kanadzie gdzie przez dwa lata wykorzystywałem tamtejsze klastry komputerowe i infrastrukturę GPGPU. Ponieważ niemalże wszystkie moje publikacje związane są wykorzystaniem systemów wysokiej wydajności obliczeniowej pozwalam sobie ich tutaj nie wymieniać.

5.3 Inwersja danych MT

W terenowym zespole magnetotelluryki zacząłem pracować jeszcze na studiach. Nawiązane wtedy kontakty owocują co jakiś czas publikacjami związanymi z inwersją bądź przetwarzaniem danych tego typu. Pierwszy artykuł [17] (cytowany w Geophysics) opublikowany jeszcze przed doktoratem dotyczył wykorzystania metody symulowanego wyżarzania w inwersji danych MT. Moja rola w tej pracy polegała na stworzeniu oprogramowania po odpowiedniej modyfikacji istniejących algorytmów. W rezultacie powstało oprogramowanie pozwalające na globalną inwersję danych MT w oparciu o informację zawartą w oporności i fazie. Przez kilka następnych lat tworzyłem komercyjne oprogramowanie dla Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych w Warszawie. Następne prace naukowe związane z metodą MT prowadziłem po roku 2005. Z najważniejszych mogę tutaj wymienić: [18] - w której to wykorzystałem dekompozycję względem wartości szczególnych jako metodę filtracji danych MT; [19] - opisującą wykorzystanie stworzonego przez mnie oprogramowania do przetwarzania i inwersji danych MT z rejonu Karpat oraz [20, 21] doty-



czące możliwości wykorzystania optymalizacji metodą roju cząstek w inwersji Bayes'owskiej danych MT.

5.4 Analiza i przetwarzanie danych dendrochronologicznych

Dane dendrochronologiczne jako typowe szeregi czasowe są ciekawym materiałem do przetwarzania, analizy statystycznej jak i próby korelowania z innymi danymi. Na przykład w pracy [22] główni autorzy postawili hipotezę o możliwości wykorzystania przyrostów rocznych sosny rosnącej na skażonych obszarach w predykcji ewentualnego wpływu tych zanieczyszczeń na zdrowie ludzi. Moja praca polegała tutaj na odpowiednim przetworzeniu danych i próbie skorelowania ich z zapadalnością na raka czy śmiertelnością niemowląt. W publikacji [23] wraz ze współautorką opisaliśmy możliwości wykorzystania dekompozycji względem wartości szczególnych w przetwarzaniu danych dendrochronologicznych na potrzeby analiz paleoklimatycznych. Mój udział w tym artykule polegał na współtworzeniu algorytmu, zaimplementowaniu go i wykonaniu analizy danych.

Literatura

- [1] T. Danek and M. A. Slawinski. On choosing effective elasticity tensors using a Monte-Carlo method. *Acta Geophysica*, w druku.
- [2] T. Danek, M. Kochetov, and M. A. Slawinski. Uncertainty analysis of effective elasticity tensors using quaternion-based global optimization and Monte-Carlo method. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 66:253–272, 2013.
- [3] P. Zheglova and T. Danek. Asymptotic full waveform inversion for arrival separation and post-critical phase correction with application to quasi-vertical fault imaging. *Geophysical Journal International*, 193:886–897, 2013.
- [4] T. Danek and M. A. Slawinski. Bayesian inversion of VSP traveltimes for linear inhomogeneity and elliptical anisotropy. *Geophysics*, 77:239–243, 2012.
- [5] T. Danek, A. Leśniak, and A. Pięta. *Numerical modeling of seismic wave propagation in selected anisotropic media*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 2010.

- [6] T. Danek, A. Pięta, and A. Leśniak. Efektywne zastosowanie modelowań numerycznych w sejsmologii górniczej — effective use of numerical modelling in mining seismology. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 11:18–24, 2010.
- [7] T. Danek, A. Pięta, and A. Leśniak. Kierunki rozwoju modelowań numerycznych sejsmicznego pola falowego — progress of seismic wave field numerical modeling. *Przegląd Górniczy*, 66:58–63, 2010.
- [8] A. Pięta, T. Danek, and A. Leśniak. Numerical modeling of ground vibration caused by underground tremors in the LGOM mining area. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management*, 25:261–271, 2009.
- [9] K. Pietsch, P. Marzec, M. Kobylarski, T. Danek, A. Lesniak, and A. Tatarata et al. Identification of seismic anomalies caused by gas saturation on the basis of theoretical P and PS wavefield in the Carpathian Foredeep, SE poland. *Acta Geophysica*, 55:191–208, 2007.
- [10] T. Danek. *Modelowanie numeryczne pola falowego w ośrodkach niejednorodnych w zastosowaniu do poszukiwań węglowodorów*. PhD thesis, AGH, 2004.
- [11] T. Danek. Seismic wave field modeling with graphics processing units. In *Computational Science - ICCS 2009*, volume 5545 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 435–442, 2009.
- [12] T. Danek. Parallel and distributed seismic wave field modeling with combined linux clusters and graphics processing units. In *2009 IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium*, IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing IGARSS, pages 2588–2591. IEEE, 2009.
- [13] T. Danek, M. Wojdyla, and C. Farquharson. Bayesian inversion of geophysical data using combined particle swarm optimization and Metropolis sampling. In *European Geosciences Union General Assembly*, volume , page , 2012.
- [14] T. Danek and W. Dębski. GPU accelerated wave form inversion through Monte Carlo sampling. In *Para 2010 : state of the art in scientific and parallel computing*, volume , page , 2010.



- [15] W. Dębski, T. Danek, A. Pięta, and A. Leśniak. Waveform inversion through the Monte Carlo sampling. In *General assembly of the European Seismological Commission*, volume , page , 2010.
- [16] T. Danek. Seismic Wave Field Modeling with Graphics Processing Units. In *Lecture Notes in Computer Science*, volume 5545 of , pages 435–442, 2009.
- [17] J. Miecznik, M. Wojdyła, and T. Danek. . *Acta Geophysica Polonica*, 51():307–322, 2003.
- [18] T. Danek, M. Stefaniuk, and M. Wojdyła. Examples of using singular spectrum analysis in magnetotelluric data processing. In *18th International workshop on Electromagnetic induction in the earth*, volume of , page , 2006.
- [19] M. Stefaniuk, M. Wojdyła, and T. Danek. Wybrane aspekty przetwarzania danych magnetotellurycznych z obszaru Karpat — Selected aspects of magnetotelluric data processing from the Carpathians. *Geologia : kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie*, 34(2):209–230, 2008.
- [20] T. Danek, M. Wojdyła, and C. Farquharson. Bayesian inversion of geophysical data using combined particle swarm optimization and Metropolis sampling. In *European Geosciences Union General Assembly*, volume of , page , 2012.
- [21] T. Danek, M. Wojdyła, and M. Stefaniuk. Unconstrained inversion of magnetotelluric data using Bayesian information criterion. In *European Geosciences Union General Assembly*, volume of , page , 2012.
- [22] I. Malik, M. Danek, E. Marchwinska-Wyrwal, T. Danek, M. Wistuba, and M. Krapiec. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth Suppression and Adverse Effects on Human Health Due to Air Pollution in the Upper Silesian Industrial District (USID), Southern Poland. *Water Air And Soil Pollution*, 223(6):3345–3364, 2012.
- [23] M. Danek and T. Danek. Alternative methods of data processing in dendroclimatological analysis of larch *Larix decidua* Mill. from southern Poland. *Sylvan*, 155(3):147–158, 2011.

Tom Danek