

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Tomisław Gołębiowski

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Kraków 2012

1. Dane osobowe

- a) Imię i nazwisko, PESEL: *Tomisław Gołębiowski*,
- b) Adres zamieszkania:
- c) numer telefonu, e-mail:
- d) Miejsca zatrudnienia, stanowisko: *Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Katedra Geofizyki; Adiunkt*

2. Wykształcenie

- 1985 ÷ 1989: Liceum Ogólnokształcące im. A. Asnyka w Bielsku-Białej.
- 1989 ÷ 1991: Studia dzienne w Instytucie Górniczym w Leningradzie na kierunku Geofizyka poszukiwawcza.
- 1991 ÷ 1996: Studia dzienne na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Specjalność: Geofizyka stosowana; **Magister inżynier - lipiec 1996r.**
- 1999 ÷ 2000: Studia podyplomowe na Wydziale Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Robotyki AGH; specjalność: Systemy komputerowe.
- 2001 ÷ 2004: Studia doktoranckie na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Specjalność: Geofizyka; **Doktor Nauk o Ziemi – styczeń 2005r.**

3. Zatrudnienie

- 1996 ÷ 1997: Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie; stanowisko: starszy geofizyk.
- 1997 ÷ 2001: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie; stanowisko: asystent.
- 2004 ÷ 2005: Zakład Geofizyki na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH; stanowisko: asystent.
- 2005 ÷ do chwili obecnej: Katedra Geofizyki na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH; stanowisko: adiunkt.

4. Znajomość języków obcych

Angielski i rosyjski – bardzo dobrze

Przebieg pracy zawodowej i dorobek naukowy

W roku 1996 ukończyłem, z oceną bardzo dobrą, studia dzienne na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej, broniąc pracę magisterską z zakresu petrofizyki, pt.: „*Określenie zależności pomiędzy parametrami petrofizycznymi utworów węglanowych jury górnej pomiędzy Dębicą a Rzeszowem*”. Praca została przygotowana w Instytucie Górnictwa Naftowego i Gazownictwa (IGNiG) w Krakowie, w ramach realizacji projektu dla przemysłu naftowego, a jej promotorem była pani prof. dr hab. inż. Maria Ciechanowska.

Praktyczna i teoretyczna wiedza zdobyta w laboratorium IGNiG pozwoliła mi w dalszej pracy naukowo-badawczej na odpowiedni dobór parametrów materiałowych w symulacjach komputerowych prowadzonych dla numerycznej analizy pola elektromagnetycznego, co było podstawą pracy doktorskiej.

Aby nabrać większego doświadczenia praktycznego przed rozpoczęciem pracy naukowej, rozpocząłem w 1996 roku pracę w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych (PBG) w Warszawie, gdzie zajmowałem się zagadnieniami z zakresu grawimetrii, magnetometrii i geodezji oraz magnetotelluryki.

Wiedza praktyczna zdobyta w PBG, wykorzystana została przeze mnie podczas projektowania i wykonywania badań terenowych prowadzonych podczas realizacji pracy habilitacyjnej, co opisałem w *Rozdziałach 5, 6 i 7* rozprawy habilitacyjnej (*Załącznik nr 6*).

Po zdobyciu odpowiedniej wiedzy praktycznej, rozpocząłem w 1997 roku pracę naukową w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) w Krakowie. Pracując w Pracowni Geodynamiki i Inżynierii Środowiska IGSMiE PAN, kierowanej przez dr inż. Zenona Pileckiego, zajmowałem się zagadnieniami z zakresu stosowania symulacji komputerowych w analizie procesów fizycznych zachodzących w górotworze, przede wszystkim modelowaniem numerycznym z zakresu geomechaniki.

Wiedza zdobyta w Polskiej Akademii Nauk pozwoliła mi na poprawne przeprowadzenie modelowań numerycznych, które jak już wspomniałem wcześniej były podstawą pracy doktorskiej.

W czasie pracy w IGSMiE PAN otrzymałem stypendium przyznane przez Warszawskie Towarzystwo Naukowe im. S. Batorego, przebywałem na stażu naukowym w Instytucie Geofizyki Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie, a także byłem współorganizatorem cyklicznych konferencji naukowych organizowanych przez Polską Akademię Nauk. W okresie pracy w IGSMiE PAN opublikowałem 7 prac z zakresu geofizyki górniczej oraz zastosowania modelowania numerycznego w geomechanice; ponieważ publikacje te powstały przed obroną pracy doktorskiej, dlatego nie zostały one uwzględnione w wykazie publikacji (*Załącznik nr 3*), lecz najważniejsze z nich zamieściłem w spisie literatury, w pracy habilitacyjnej (*Załącznik nr 6*).

W latach 1999÷2000 odbyłem studia podyplomowe na kierunku Systemy Komputerowe, na Wydziale Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Robotyki AGH, które ukończyłem z oceną bardzo dobrą. Studia te pozwoliły mi poszerzyć wiedzę z zakresu technik komputerowych, co było niezbędne dla poprawnego przeprowadzenia cyfrowego przetwarzania danych georadarowych (GPR) oraz numerycznej analizy atrybutów sygnałów GPR; wymienione zagadnienia były ważnym elementem pracy habilitacyjnej (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4*).

Posiadając odpowiednią wiedzę praktyczną i teoretyczną zdobytą po studiach, w latach 1996÷2000, podjąłem decyzję o rozpoczęciu w 2001 roku studiów doktoranckich na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej (WGGiOŚ AGH) w Krakowie. Aby nie tracić czynnego kontaktu z zawodem, przez okres realizacji doktoratu, współpracowałem z Zakładem Badań Nieniszczących (ZBN) w Krakowie, realizując prace z zakresu geofizyki inżynierskiej i środowiska. Praktyczna wiedza zdobyta w ZBN, została wykorzystana podczas przygotowania pracy habilitacyjnej.

Realizację pracy doktorskiej rozpocząłem od rozbudowy warsztatu pomiarowego, tzn: w latach 2002÷2003 byłem kierownikiem grantu KBN (nr: 5T12B-03623), pt.: „Zastosowanie modelowania numerycznego elektromagnetycznego pola falowego w reinterpretacji płytkich badań górotworu wykonanych metodą georadarową”, w ramach którego zakupiono oprogramowanie do modelowania, przetwarzania i wizualizacji danych georadarowych; w 2002 roku zostałem współ-beneficjentem grantu SUBIN przyznanego przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej, w ramach którego zakupiono anteny pomiarowe do aparatury georadarowej. Tak rozbudowany warsztat pomiarowy pozwolił mi na przygotowanie pracy doktorskiej na odpowiednim poziomie technicznym.

W roku 2002 przebywałem na stażu naukowym w Instytucie Oceanografii i Geofizyki Eksperymentalnej w Trieście, gdzie współpracując z prof. Jose Carcione zapoznałem się z metodyką modelowania numerycznego elektromagnetycznego pola falowego. Wiedza ta została wykorzystana w ramach realizacji pracy doktorskiej.

W roku 2003 współpracowałem z Prof. Jeffem Danielssem z Ohio State University w Columbus, USA, przygotowując projekt nt. zastosowania kompleksowych metod geofizyki inżynierskiej w badaniach z zakresu ochrony środowiska. Współpraca ta pozwoliła na uzyskanie odpowiedniej wiedzy potrzebnej do poprawnego prowadzenia badań realizowanych w ramach pracy habilitacyjnej.

W 2003 roku odbyłem specjalistyczny kurs z zakresu modelowania numerycznego metodą elementów skończonych (MES), zorganizowany przez firmę MESCO, która jest polskim przedstawicielem amerykańskiej firmy ANSYS Inc. Informacje nt. technik modelowania numerycznego zostały wykorzystane w pracy doktorskiej.

W styczniu 2005r. obroniłem na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH pracę doktorską, pt.: *„Modelowanie numeryczne pola georadarowego w badaniach gruntów skażonych substancjami ropopochodnymi”*. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Henryk Marcak.

W pracy doktorskiej zajmowałem się modelowaniem numerycznym przepływu zanieczyszczeń ropopochodnych w ośrodku gruntowo-wodnym oraz symulacjami komputerowymi prowadzonymi w celu oceny możliwości i ograniczeń zastosowania metody georadarowej w badaniu gruntów skażonych substancjami węglowodorowymi. Ponieważ głównym elementem pracy doktorskiej było modelowanie numeryczne, dlatego pomiary georadarowe miały tylko charakter uzupełniający, a ich wyniki z jednego przykładowego miejsca badań zamieściłem w ostatnim rozdziale pracy.

Podsumowując informacje zamieszczone powyżej można wyróżnić dwie grupy tematyczne, którymi zajmowałem się od skończenia studiów (1996r.) do obrony pracy doktorskiej (2005r.), tzn.:

- **zagadnienia związane z modelowaniem numerycznym, które zostały zebrane i wykorzystane w doktoracie oraz**

- **zagadnienia związane z geofizyką inżynierską i geofizyką środowiska, które były rozwijane przeze mnie po obronie pracy doktorskiej i były podstawą pracy habilitacyjnej.**

Po obronieniu doktoratu, rozpocząłem w 2005 roku pracę na stanowisku adiunkta, w Pracowni Geofizyki Górniczej w Katedrze Geofizyki WGGiOŚ AGH, kierowanej przez prof. dr hab. inż. Henryka Marcaka.

Współpracując z prof. H. Marcakiem zajmowałem się zagadnieniami z zakresu geofizyki inżynierskiej, środowiska i górniczej ze szczególnym uwzględnieniem metody georadarowej (GPR). Po obronie pracy doktorskiej, modelowanie numeryczne było wykorzystywane przeze mnie tylko jako jedna z technik wspomagających proces interpretacji danych, a główny nacisk w pracach naukowo-badawczych został położony na:

- a) rozwój niestandardowych technik badań terenowych dla metody GPR,
- b) rozwój technik cyfrowego przetwarzania danych georadarowych oraz
- c) zastosowanie komputerowych technik wizualizacji i interpretacji danych georadarowych.

Od 2005 roku, w ramach pracy naukowej zająłem się m.in. analizą możliwości zastosowania metody GPR do detekcji obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym, co jest tematem mojej habilitacji. Dokładny opis prowadzonych badań i uzyskanych wyników zamieściłem w dalszej części Autoreferatu.

W latach 2004÷2006 byłem głównym wykonawcą projektu naukowego KBN nr: 4T12A-06127 (*Załącznik nr 5*), w ramach którego prowadziłem terenowe badania georadarowe dla detekcji wycieków paliwa do gruntu oraz wykonałem przetwarzanie i interpretację danych GPR; badania te były ważnym elementem pracy habilitacyjnej. W ramach realizacji tego projektu przeprowadzono dalszą rozbudowę warsztatu pomiarowego, kupując m.in. stacje robocze wraz z odpowiednim oprogramowaniem do cyfrowego przetwarzania, modelowania i wizualizacji danych georadarowych. Podsumowaniem projektu była praca zbiorowa pod redakcją Henryka Marcaka i Tomisława Gołębiowskiego, pt.: *”Lokalizacja zanieczyszczeń węglowodorowych w gruncie metodami geofizycznymi i atmochemicznymi”* (*Załącznik nr 3 – poz. I.2*).

W 2007 roku współpracowałem z międzynarodowym konsorcjum, w ramach prac nad projektem pt.: *„Non-Intrusive Keen Methods and Artificial Intelligence Applied to*

Environmental Engineering” (Załącznik nr 4 – poz. IV.1). Kontynuacją zagadnień analizowanych w ramach tamtego projektu jest obecnie realizowany grant NCN, nr: UMO-2011/01/B/ST7/06178 (Załącznik nr 5 – poz. I.3), w ramach którego stosowane są techniki rozpoznawania obrazów cyfrowych do analizy anomalii rejestrowanych na echogramach.

W latach 2008÷2011 byłem kierownikiem grantu habilitacyjnego KBN nr N525-169335 (Załącznik nr 5 – poz. I.2), w ramach którego przygotowałem rozprawę habilitacyjną, pt.: *”Zastosowanie metody georadarowej do detekcji i monitoringu obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym”* (Załącznik nr 6).

W roku 2009 odbyłem specjalistyczny kurs dotyczący metody georadarowej zorganizowany przez szwedzką firmę MALA GeoScience AB, w miejscowości Mala, w Szwecji. W ramach kursu szczególny nacisk został położony na georadarowe badania otworowe (tomografia i profilowania otworowe), co było ważnym elementem pracy habilitacyjnej (Załącznik nr 6 – Rozdział 6.5).

W latach 2009÷2010 byłem kierownikiem badań statutowych (Załącznik nr 5 – poz. I.4), w ramach których rozwijałem techniki cyfrowego przetwarzania danych georadarowych oraz techniki komputerowej wizualizacji i interpretacji echogramów, co było podstawą pracy habilitacyjnej (Załącznik nr 6 – Rozdziały: 4, 5, 6, 7). W ramach realizacji badań statutowych przeprowadzono dalszą rozbudowę warsztatu pomiarowego, kupując m.in. najnowszy, cyfrowy, wielokanałowy georadar z kompletem anten pomiarowych. Tak rozbudowana aparatura pozwoliła na prowadzenie prac pomiarowych, realizowanych w ramach przygotowania habilitacji, na najwyższym światowym poziomie.

Ponieważ po obronie pracy doktorskiej zająłem się geofizyką inżynierską, dlatego równoległe z badaniami naukowymi prowadzonymi nad georadarową detekcją obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym, prowadzę badania nad zastosowaniem wybranych technik geofizyki inżynierskiej do rozwiązywania problemów geologiczno-górnictwa w KGHM Polska Miedź S.A. (Załącznik nr 5 – projekty przemysłowe).

Obecnie jestem członkiem międzynarodowej grupy eksperckiej, pracującej nad projektem pt.: *„Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar”* (Załącznik

nr 4 – poz. IV.2), która zajmuje się zagadnieniami zbieżnymi z tematyką, w której się specjalizuję, tzn. z wykorzystaniem metody GPR w geofizyce inżynierskiej.

Za pracę naukowo-badawczą prowadzoną po uzyskaniu stopnia doktora otrzymałem nagrody Rektora AGH i wysokie oceny okresowe (*Załącznik nr 4 – poz. II*).

W okresie 7-u lat (od 2005r. do 2012r.), tzn. od obrony pracy doktorskiej do dnia złożenia dokumentów habilitacyjnych w Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów, byłem autorem (lub kierownikiem, promotorem) i współautorem (lub wykonawcą) następujących prac (*Załączniki nr: 3, 4, 5*):

- 2-ch opracowań książkowych,
- 4-ch publikacji z tzw. Listy Filadelfijskiej,
- 3-ch publikacji angielskojęzycznych,
- 6-u publikacji polskojęzycznych,
- 14-u artykułów na międzynarodowych konferencjach,
- 5-u artykułów na krajowych konferencjach,
- 7-u prac magisterskich i inżynierskich,
- 4-ch grantów naukowych,
- 4-ch ekspertyz przemysłowych.

Sumaryczny *Impact Factor*: 1,113

Liczba cytowań według bazy *Web of Science*: 22

Indeks *Hirsch'a*: 3

Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wszczęcia przewodu habilitacyjnego

Większości problemów, do rozwiązywania których stosuje się metodę georadarową (GPR) charakteryzuje się jedną wspólną cechą, tzn. metoda GPR wykorzystywana jest do wykrywania obiektów o stałym położeniu i geometrii oraz stałych parametrach elektromagnetycznych, a co za tym idzie można w tych przypadkach stosować standardowe techniki pomiarowe, przetwarzania i wizualizacji danych georadarowych.

Za standardową technikę pomiarową w metodzie GPR można przyjąć profilowanie refleksyjne realizowane w układzie 2D i wykonywane tylko w jednej sesji pomiarowej; standardowe przetwarzanie echogramów to zazwyczaj kilka procedur z zakresu filtracji i wzmocnienia sygnałów GPR; klasyczna wizualizacja echogramów to przedstawienie rejestracji w formie rozkładu amplitud refleksów w płaszczyźnie profil - głębokość.

Jak wspominałem w pierwszej części Autoreferatu, po obronie doktoratu rozpocząłem prace naukowo-badawcze dotyczące analizy możliwości i ograniczeń zastosowania metody georadarowej do detekcji i monitoringu obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym.

Dla ograniczenia opisów, w dalszej części Autoreferatu wprowadziłem pojęcie „obiekty stochastyczne” w miejsce „obiekty o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym”.

W pracy habilitacyjnej (Załącznik nr 6) pokazałem, że gdy w badanym ośrodku pojawiają się obiekty o charakterystyce stochastycznej, tzn. o losowo zmiennej w czasie geometrii i położeniu, jak również losowo zmiennych parametrach elektromagnetycznych, standardowe techniki pomiaru, przetwarzania i wizualizacji danych georadarowych w wielu przypadkach dają bardzo ograniczone możliwości detekcyjne.

Jak udowodniłem w pracy habilitacyjnej (Załącznik nr 6), wybrane „obiekty stochastyczne”, można lokalizować przy pomocy metody georadarowej oraz można prowadzić monitoring ich zmian w czasie. Aby uzyskiwać pozytywne wyniki badań należy, w zależności od miejsca badań i typu obiektu, zastosować niestandardowe techniki pomiarowe, przetwarzania i wizualizacji echogramów, co opisałem w dalszej części Autoreferatu.

W latach 2005÷2012 prowadziłem badania nad detekcją przy pomocy metody GPR różnych „obiektów stochastycznych”, m.in.:

- **zanieczyszczenia płynne migrujące w ośrodku geologicznym** (Załącznik nr 3 – poz. I.2, II.1, II.4, IV.5, V.6, V.7, V.8, V.9, V.10, V.12; Załącznik nr 5 – poz. I.1, I.2; Załączniki nr 6 – Rozdział 7),
- **strefy rozluźnień w wałach przeciwpowodziowych** (Załącznik nr 3 – poz. IV.4, V.1, V.3, VI.1; Załącznik nr 5 – poz. I.2; Załącznik nr 6 – Rozdział 5),
- **strefy spekań w górotworze** (Załącznik nr 3 – poz. II.2, V.2, V.4, V.11, V.13, VI.3, VI.4, VI.5; Załącznik nr 5 – poz. I.2; Załącznik nr 6 – Rozdział 6),
- gruzowisko po dawnej budowli na stanowisku archeologicznym (Załącznik nr 3 – poz. III.1),
- nagromadzenia ochry w utworach fliszowych (Załącznik nr 3 – poz. IV.3, V.14, VI.2),
- nagromadzenie odłamków skalnych w utworach postglacjalnych (Załącznik nr 3 – poz. II.3, III.2),
- losowo-zmienna mineralizacja polimetaliczna w strefie kontaktowej (Załącznik nr 3 – poz. IV.6, V.5).

Ponieważ tylko trzy pierwsze typy „obiektów stochastycznych” cechują się wysokim wskaźnikiem niebezpieczeństwa dla mienia oraz zdrowia i życia ludzi, dlatego w pracy habilitacyjnej skupiłem się nad przygotowaniem odpowiedniej metodyki pomiarowo-interpretacyjnej pozwalającej zwiększyć możliwości metody GPR przy detekcji i monitoringu trzech pierwszych typów „obiektów stochastycznych”.

W ramach realizacji pracy habilitacyjnej badałem przy pomocy wybranych metod geofizycznych (m.in. techniką GPR) przepływ w ośrodku gruntowo-wodnym zarówno zanieczyszczeń ropopochodnych jak i chemicznych. Z przeprowadzonych badań wynikało, że ani w krótkim czasie po wycieku (co opisano w *Załączniku nr 3 – poz. V.7*), ani w długim okresie przepływu (co opisano w *Załącznik nr 3 – poz. IV.5, V.6*), zanieczyszczenia chemiczne nie przyjmowały formy plam o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym, dlatego badania tych zanieczyszczeń zakończyłem na etapie testów. Z powyższych powodów w rozprawie habilitacyjnej (*Załącznik nr 6 – Rozdział 7*), analizowałem tylko substancje węglowodorowe typu LNAPL (ang. *Light Non-Aqueous Phase Liquid*), które są zanieczyszczeniem ropopochodnym, najczęściej przedostającym się

do ośrodka geologicznego. Wyniki badań dotyczących substancji typu LNAPL, przedstawione w pracy habilitacyjnej (*Załącznik nr 6 – Rozdział 7*), są uzupełnieniem prac prowadzonych w ramach grantu nr: 4T12A-06127 i przedstawionych w opracowaniu książkowym (*Załącznik nr 3 – poz. I.2*).

Wyniki standardowych badań georadarowych z miejsc skażonych węglowodorami dostarczały echogramów, które były trudne do jednoznacznej interpretacji po zastosowaniu standardowego przetwarzania i klasycznej wizualizacji (*Załącznik nr 6 – Fig. 7.10A, 7.11A, 7.17, 7.25, 7.26*). Dlatego też, zaproponowałem w pracy habilitacyjnej (*Załącznik nr 6*) i w opracowaniu książkowym (*Załącznik nr 3 – poz. I.2*) prowadzenie badań w kilku sesjach pomiarowych dla przeprowadzenia analizy porównawczej oraz zaproponowałem zaawansowane przetwarzanie cyfrowych danych pomiarowych (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4*) i niestandardowe wizualizacje echogramów (*Załącznik nr 6 – Rozdział 7*), co opisałem szczegółowo w dalszej części Autoreferatu.

Drugim typem „obiektów stochastycznych” analizowanych w pracy habilitacyjnej były rozluźnienia w wałach przeciwpowodziowych. Podobnie jak w przypadku skażeń typu LNAPL, georadarowe profilowania refleksyjne oraz ich standardowe przetwarzanie i wizualizacja, dawały bardzo ograniczone możliwości detekcyjne, zwłaszcza przy badaniu wałów w stanie suchym (*Załącznik nr 6 – Fig. 5.13 i 5.19A*).

Dlatego też, dla zwiększenia możliwości detekcyjnych metody GPR, badania georadarowe wałów przeciwpowodziowych przeprowadzone zostały niestandardowym układem do pomiarów refleksyjno-prędkościowych (*Załącznik nr 6 – Fig. 3.1*), a na etapie przetwarzania echogramów zaproponowałem zastosowanie zaawansowanych procedur oraz przygotowałem niestandardowe wizualizacje rejestracji (*Załącznik nr 6 – Rozdziały 4 i 5*). Dodatkowo, do badania wałów zaproponowałem zastosowanie nowatorskiej techniki georadarowych pomiarów zmiennoooffsetowych, co opisałem w dalszej części Autoreferatu.

Przedstawiona w pracy habilitacyjnej metodyka pomiarowo-interpretacyjna dla badania wałów przeciwpowodziowych (*Załącznik nr 6 – Rozdział 5*) może być również skutecznie stosowana do badania innych antropogenicznych struktur nasypowych czy też naturalnych rozluźnień w gruntach.

Trzecim typem „obiektów stochastycznych”, dla których prowadziłem georadarowe badania powierzchniowe, były strefy spękań w górotworze indukowane działalnością górnictwem (*Załącznik nr 6 – Rozdział 6*). Podobnie jak dla dwóch wcześniej opisanych typów

„obiektów stochastycznych” przeprowadzenie klasycznych profilowań refleksyjnych w układzie 2D, w miejscach występowania spękań w górotworze oraz zastosowanie standardowego przetwarzania i wizualizacji echogramów, dawały rejestracje trudne do jednoznacznej interpretacji; przykładami potwierdzającymi tą tezę mogą być np. echogramy zarejestrowane nad sztolniami, gdzie w strefie przypowierzchniowej istniała miększa warstwa zwietrzeliny, maskująca refleksy od spękań i sztolni (Załącznik nr 6 – Fig. 6.12, 6.21, 6.22) lub echogramy zarejestrowane w miejscach powstawania zapadlisk (Załącznik nr 6 – Fig. 6.35A i 6.39A), na których trudno jednoznacznie wskazać anomalie, które spowodowały powstanie zapadlisk.

Dla zwiększenia możliwości detekcji spękań przy użyciu metody GPR zaproponowałem na etapie akwizycji danych przeprowadzenie badań w kilku sesjach pomiarowych, z zastosowaniem niestandardowej techniki refleksyjno-prędkościowej (Załącznik nr 6 – Fig. 3.1) oraz techniki dwuczęstotliwościowych profilowań refleksyjnych. Na etapie przetwarzania echogramów zastosowałem zaawansowane procedury (Załącznik nr 6 – Rozdział 4), a interpretacja rozkładu anomalii prowadzona była w układzie 3D oraz nowatorską techniką analizy przestrzenno-czasowej (4D – tj. x-y-z-t).

Uzupełniając badania techniką otworową naturalne spękania w górotworze występujące na głębokościach większych niż maks. zasięg anten powierzchniowych. Opisane w pracy habilitacyjnej georadarowe badania otworowe tzn. profilowanie refleksyjne (Załącznik nr 6 – Fig. 6.51 i 6.54) oraz tomografia prędkościowa i tłumieniowa (Załącznik nr 6 – Fig. 6.58) były jednymi z pierwszych badań tego typu w Polsce, a wyniki tych badań wskazywały na duże możliwości detekcji spękań techniką GPR oraz wskazywały na możliwość określenia medium wypełniającego spękania.

Rozwiązania zaproponowane w pracy habilitacyjnej do badania stref spękań górotworu można łatwo zaimplementować do badania naturalnie powstających stref spękań ośrodka geologicznego, np. w rejonach występowania zjawisk krasowych.

W dalszej części Autoreferatu wypunktowałem i opisałem główne elementy pracy habilitacyjnej, które pozwoliły zwiększyć zdolności detekcyjne metody GPR przy poszukiwaniu i monitoringu „obiektów stochastycznych”.

1. Analizy teoretyczne zaprezentowane w pracy habilitacyjnej (Załącznik nr 6 – Rozdział 2.2) pozwoliły określić dwa zjawiska fizyczne, które powodują, że nawet małe „obiekty stochastyczne” o rozmiarach porównywalnych z granicą detekcyjną metody

GPR mogą być wykrywane w ośrodkach o niewielkim stopniu niejednorodności; są to zjawiska: odbicia i rozpraszania fal elektromagnetycznych, gdzie drugie zjawisko było, jak dotychczas, bardzo rzadko analizowane w literaturze geofizycznej, w kontekście badań techniką GPR. Oba zjawiska będą powodować re-emisję energii fali w kierunku anteny odbiorczej w miejscach występowania „obiektów stochastycznych”, co pozwoli na detekcję i monitoring czasowy takich obiektów.

W przypadku dużej ilości małych obiektów rozłożonych losowo w ośrodku geologicznym i przy odpowiedniej przestrzennej dystrybucji tych obiektów, zjawiskiem dominującym będzie proces rozpraszania fal elektromagnetycznych.

W części teoretycznej pracy habilitacyjnej przedyskutowałem również, rzadko analizowane jak dotychczas w metodzie GPR, zjawisko tzw. tłumienia rozproszeniowego. Analizy te pokazały, że w przypadku detekcji „obiektów stochastycznych”, których rozmiarów i dystrybucji w ośrodku geologicznym nie znamy, zdolność detekcyjną metody GPR można zwiększyć stosując anteny o niższych częstotliwościach. Wyniki tych analiz wykorzystałem przy doborze częstotliwości anten pomiarowych do badań terenowych, a wyniki pomiarów GPR potwierdziły założenia teoretyczne, gdzie nieco lepsze rezultaty przy detekcji spękań uzyskałem dla anten o częstotliwości 250 MHz aniżeli 500 MHz (*Załącznik nr 6 – Fig. 6.12, 6.21 i 6.22*), pomimo, że poszukiwane były bardzo małe spękania indukowane działalnością górniczą.

W przypadku okresowego łączenia się plam LNAPL w większe plamy, w wyniku przepływu wód gruntowych w ośrodku geologicznym, czy też w przypadku powiększania się spękań i rozluźnień na skutek procesów sufozji i kongelifrakcji dominującym zjawiskiem będzie odbicie fali elektromagnetycznej od „obiektów stochastycznych”, a zjawisko to jest dobrze rozpoznane i jest podstawą georadarowej techniki refleksyjnej (*Załącznik nr 6 – Rozdział 3.2*).

2. Analizy teoretyczne (*Załącznik nr 6 – Rozdział 2.2*), potwierdzone symulacjami komputerowymi (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4.7*), pozwoliły sformułować tezę o zwiększeniu zdolności detekcyjnych techniki GPR przy wykrywaniu i monitoringu „obiektów stochastycznych”, poprzez wykorzystanie „naturalnego markera wodnego”. Markerem takim będą słodkie wody wsiąkowe (z deszczu i topniejącego śniegu), które przenikając do spękań i rozluźnień w ośrodku geologicznym będą powodować zwiększenie kontrastów parametrów elektromagnetycznych pomiędzy spękaniami

i litym ośrodkiem. Również w przypadku skażeń typu LNAPL wody wsiąkowe zwiększą kontrast pomiędzy plamami węglowodorów a otaczającym je ośrodkiem zawodnionym, co w efekcie ułatwi detekcję plam LNAPL.

Teoretyczna koncepcja wzrostu możliwości detekcji „obiektów stochastycznych” metodą GPR w ośrodku zawodnionym została potwierdzona wynikami badań terenowych. Za przykłady mogą posłużyć wyniki detekcji skażeń typu LNAPL przedstawione w *Załączniku nr 6*, w *Rozdziale 7.2*, gdzie pokazałem wyniki badań GPR wykonanych wzdłuż tego samego profilu, w 3 sesjach pomiarowych, przy różnym nasyceniu ośrodka wodami wsiąkowymi (*Fig. 7.9*); więcej przykładów potwierdzających powyższą tezę można znaleźć w opracowaniu książkowym (*Załącznik nr 3 – poz. 1.2*). Innym spektakularnym przykładem mogą być echogramy zarejestrowane podczas badań wałów przeciwpowodziowych (*Załącznik nr 6 – Rozdział 5*), gdzie w okresach, gdy wał był silnie nasycony wodami opadowymi uzyskiwałem znaczącą poprawę jakości rejestracji w stosunku do okresów suchych; przykładem mogą być echogramy zarejestrowane wzdłuż tego samego profilu, tą samą aparaturą i przy identycznych ustawieniach akwizycyjnych, w okresie suchym (*Fig. 5.13*) i po opadach (*Fig. 5.10*) lub zestawienie echogramów na *Fig. 5.19* i *5.20*.

Zarówno analizy teoretyczne (*Załącznik nr 6 – Rozdział 2.2*), jak i wyniki symulacji komputerowych (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4.7*) wskazywały, że obecność słodkiej wody wsiąkowej w ośrodku geologicznym będzie powodować wzrost rozdzielczości badań, co jest istotne przy detekcji małych obiektów stochastycznych. Obecność słodkiej wody w ośrodku wpływać będzie nieznacznie na wzrost przewodności elektrycznej, a więc i tłumienia, co powinno pozwolić w badaniach terenowych na uzyskanie relatywnie dużych zasięgów głębokościowych. Oba założenia teoretyczne zostały potwierdzone wynikami badań terenowych, gdzie np. podczas badań spękań w górotworze, prowadzonych w ośrodku zawodnionym, uzyskiwałem duże zasięgi głębokościowe dla metody GPR i wysokie rozdzielczości (*Załącznik nr 6 – Rozdział 6.4*).

3. Symulacje komputerowe (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4.7*) pozwoliły na przeanalizowanie przydatności atrybutów sygnałów georadarowych do detekcji analizowanych w pracy habilitacyjnej „obiektów stochastycznych”. Spośród atrybutów chwilowych, wyznaczanych z transformaty Hilberta z echogramów syntetycznych, jedynie amplituda chwilowa, którą można korelować z energią sygnałów GPR, dała pozytywne wyniki

w okonturowaniu stref występowania „obiektów stochastycznych” na echogramach syntetycznych. W wybranych sytuacjach pomocnym atrybutem wydaje się być częstotliwość chwilowa, lecz atrybut ten nie jest tak jednoznaczny jak amplituda chwilowa. Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych trudno jednoznacznie ocenić przydatność fazy chwilowej przy detekcji „obiektów stochastycznych”. Do symulacji komputerowych przygotowywałem modele numeryczne z uwzględnieniem pewnego stopnia niejednorodności ośrodka geologicznego, co pozwoliło na analizę modeli zbliżonych do rzeczywistych warunków geologicznych.

Jak pokazałem w pracy habilitacyjnej, wykorzystując odpowiednie wizualizacje rozkładu energii sygnałów GPR (*Załącznik nr 6 – Rozdziały 5,6 i 7*), którą wytypowałem na bazie rozważań teoretycznych i numerycznych jako atrybut stabilny i uniwersalny, udało się na etapie interpretacji echogramów pomiarowych dokładnie wyznaczyć rejony występowania „obiektów stochastycznych”. W ten sposób znacznie zredukowałem niejednoznaczność w interpretacji echogramów.

4. Plamy LNAPL, spękania górotworu czy rozluźnienia w wałach, tworzą układ obiektów o różnych rozmiarach i zróżnicowanym rozkładzie przestrzennym. Układ taki może powodować powstawanie zjawiska rezonansu, na skutek rozpraszania fal elektromagnetycznych (e-m), co będzie obrazować się na echogramach pojawieniem się stref o zwiększonej amplitudzie (energii) sygnałów lub w pewnych sytuacjach mogą pojawić się „strefy cienia” w rejonach występowania „obiektów stochastycznych”. W analizowanych w pracy przypadkach obserwowałem wzrost energii rejestrowanych sygnałów.

Zjawisko rezonansu fal e-m wpływa również na zmiany w widmach mocy rejestrowanych sygnałów GPR, co przeanalizowałem, wraz z prof. H. Marcakiem, dla miejsc skażonych substancjami typu LNAPL (*Załącznik nr 3 – poz. I.2, II.1, II.4, V.9*). Z analiz tych wynikało, że widma mocy sygnałów georadarowych są bardzo czułe na zmiany pojawiające się w ośrodku geologicznym (tj. niejednorodność i anizotropię ośrodka), dlatego ten atrybut sygnałów GPR można jedynie wykorzystywać do detekcji „obiektów stochastycznych” znajdujących się w ośrodkach o nieznacznym stopniu niejednorodności. Dlatego też, informacjami o zmianach w widmach mocy sygnałów GPR wykorzystałem tylko w georadarowej detekcji skażeń typu LNAPL (*Załącznik nr 3 – poz. I.2*) i był to atrybut wspomagający interpretację opartą na analizie map rozkładów energii sygnałów GPR.

5. Echogramy zarejestrowane w miejscach, gdzie poszukiwałem „obiektów stochastycznych” były bardzo trudne do interpretacji po zastosowaniu standardowego przetwarzania. Dopiero zastosowanie odpowiedniego zestawu procedur zaawansowanego przetwarzania echogramów, pochodzących z przetwarzania sejsmicznego, a zwłaszcza procedury z zakresu cyfrowego przetwarzania obrazów, pozwoliły na ekstrakcję użytecznych informacji z echogramów. Opis proponowanych procedur przetwarzania wraz z doбором parametrów dla poszczególnych procedur opisałem dokładnie w *Rozdziale 4 (Załącznik nr 6)*.

Wzrost informatywności rejestracji po zastosowaniu zaawansowanego przetwarzaniem echogramów i wizualizacji w formie map rozkładów energii sygnałów GPR łatwo można potwierdzić analizując rejestracje przedstawione w *Załączniku nr 6*, np.:

- na *Fig. 5.15 (str. 100)*, gdzie zestawilem echogramy uzyskane podczas badania wałów przeciwpowodziowych;
 - na *Fig. 6.35 (str. 163)* i *Fig. 6.39 (str. 170)*, gdzie pokazałem echogramy zarejestrowane w rejonie występowania zapadlisk powierzchniowych oraz
 - porównując *Fig. 7.17A (str. 225)* z *Fig. 7.20 (str. 227)*, gdzie można ocenić wzrost ilości i jakości informacji na *Fig. 7.20*, ponieważ figura ta, po zastosowaniu zaawansowanego przetwarzania, przygotowana została w niestandardowy sposób, tzn. w formie mapy różnicowej energii sygnałów GPR.
6. Jak wspomniałem wcześniej, analizy teoretyczne wskazywały na znaczący wpływ tłumienia rozproszeniowego na jakość rejestracji georadarowych. Fakt ten został potwierdzony wynikami badań terenowych, w których na echogramach zarejestrowanych nad płytko ulokowanymi pustkami (sztolniami) o relatywnie dużych rozmiarach nie zarejestrowały się refleksy od pustek, ze względu na maskujące działanie strefy zwietrzliny przypowierzchniowej oraz spękań indukowanych działalnością górnictwem (*Załącznik nr 6 – Fig. 6.12, 6.21, 6.22*).

Dlatego też dla zwiększenia możliwości detekcji spękań przy pomocy metody GPR, zaproponowałem w pracy habilitacyjnej zastosowanie zaawansowanego przetwarzania rejestracji (*Załącznik nr 6 – Rozdział 4*), a przeprowadzenie badań terenowych w technice pomiarów dwuczęstotliwościowych pozwoliło na opracowanie metodyki konstrukcji tzw. echogramów sumarycznych. Technikę przygotowania echogramów sumarycznych opisałem dokładnie w *Rozdziale 6.2.2 (Załącznik nr 6)*

i polega ona na odpowiednim składaniu informacji z rejestracji uzyskanych dla anten o różnych częstotliwościach. Przy konstrukcji echogramów sumarycznych wykorzystałem m.in. procedurę operacji światło-cieniem oraz technikę inwersji energii, co jest relatywnie rzadko stosowane obecnie w metodzie GPR. Echogramy sumaryczne pozwoliły na znacznie dokładniejsze okonturowanie anomalii na rejestracjach (Załącznik nr 6 – Fig. 6.13 i 6.14, Fig. 6.23÷6.26), co nie było możliwe w przypadku klasycznej techniki wizualizacji echogramów (Załącznik nr 6 – Fig. 6.12, 6.21 i 6.22). Poprawność interpretacji danych georadarowych została potwierdzona wynikami badań mikrograwimetrycznych (Załącznik nr 6 – Fig. 6.11 i 6.20).

7. Na podstawie badań refleksyjno-prędkościowych (Załącznik nr 6 – Fig. 3.1) przeprowadzonych w pracy habilitacyjnej stwierdziłem, że w przypadkach, gdy badane „obiekty stochastyczne” znajdowały się w ośrodku zawadzionym i były relatywnie dużych rozmiarów (więc zachodziło tutaj zjawisko odbicia fali e-m od tych obiektów), to po zastosowaniu standardowego przetwarzania i klasycznej wizualizacji rejestracji można było okonturować strefy anomalne na echogramach. W przypadku, gdy obiekty były małe (więc zachodziło zjawisko rozpraszania fal e-m) i znajdowały się w ośrodku suchym, należało stosować zaawansowane techniki przetwarzania zapisów i niestandardowe techniki wizualizacji echogramów.

Klasyczne badania prędkościowe realizowane podczas profilowań refleksyjno-prędkościowych w większości przypadków nie dawały satysfakcjonujących rezultatów (Załącznik nr 6 – Fig. 5.25 i 6.8), co wynikało z faktu, że w ośrodku, w którym występują „obiekty stochastyczne” nie tworzą się odpowiednio długie granice o wysokich i niezmiennych kontrastach parametrów elektromagnetycznych; dlatego też w pracy zaproponowałem technikę alternatywną do klasycznych badań prędkościowych, nazwaną ZPP, opisaną w następnym punkcie.

8. Analizy teoretyczne (Załącznik nr 6 – Rozdziały 2.2 i 3.2) wskazywały, że obecność wody wsiąkowej w ośrodku wpływała na zmiany prędkości fali e-m w strefach kumulacji wody, tj. w spękaniach i rozluźnieniach ośrodka geologicznego. Fakt ten wykorzystałem przy badaniu wałów przeciwpowodziowych, gdzie zastosowanie opracowanej przeze mnie techniki „Zmodyfikowanego Profilowania Prędkości” (ZPP) pozwoliło na okonturowanie stref silnie rozluźnionych w wale, z wykorzystaniem map prędkości i porowatości (Załącznik nr 6 - str.113). Wykorzystanie wspomnianych map

do detekcji rozluźnień w wałach, było pierwszym takim rozwiązaniem w Polsce, a mapy takie dawały znacznie lepsze wyniki interpretacyjne (*Załącznik nr 6 - Fig. 5.29*) aniżeli echogramy uzyskiwane na tym samym profilu podczas klasycznego profilowania refleksyjnego (*Załącznik nr 6 – Fig. 5.31A*).

9. W *Rozdziale 6.4 (Załącznik nr 6)* zaproponowałem wraz z prof. H. Marcakiem, po raz pierwszy w Polsce, georadarową analizę przestrzenno-czasową (4D), która pozwoliła na predykcję zapadlisk powierzchniowych; predykcja taka byłaby bardzo trudna, a w wielu sytuacjach niemożliwa do przeprowadzenia, gdyby bazować tylko na informacjach uzyskanych ze standardowych badań profilowych wykonywanych w układzie 2D. Poprawność analizy 4D została potwierdzona powstaniem zapadlisk w miejscu wskazanym podczas interpretacji echogramów (*Załącznik nr 6 – Fig. 6.28C,D*); wyniki interpretacji danych georadarowych wskazującej miejsca występowania spękań w górotworze, potwierdzone zostały wynikami badań grawimetrycznych (*Załącznik nr 6 - Fig. 6.34 i 6.38*).

Analiza przestrzenna (3D), która jest jeszcze relatywnie rzadko stosowana w Polsce, pozwoliła na detekcję małych stref spiaszczeń, będących kolektorami dla wody i LNAPL (*Załącznik nr 6 – Fig. 6.12÷6.14 i Fig. 7.23*), a jednoznaczne wyznaczenie takich kolektorów na bazie echogramów z badań 2D byłoby bardzo utrudnione. Analiza 3D pozwoliła również wyjaśnić bardzo nietypowy rozkład skażeń w ośrodku geologicznym (*Załącznik nr 6 – Rozdział 7.2 i 7.3*), co nie było możliwe do wykonania na podstawie badań otworowych.

10. Do badania stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych zaproponowałem wraz z prof. H. Marcakiem oprócz standardowej techniki refleksyjnej (*Załącznik nr 6 – Rozdział 5.3*) również niestandardową technikę zmiennooffsetową (*Załącznik nr 6 – Rozdział 5.2*), która nie była jak dotąd stosowana w Polsce. Badania zmiennooffsetowe prowadziłem w celu określenia, czy w odpowiednich warunkach powstają w wałach fale refrakcyjne. Wyniki badań potwierdziły powstawanie takich fal na granicy pomiędzy przykornową, rozluźnioną i zawodnioną częścią wału a podległym ośrodkiem litym i suchym. Ze względu na ograniczenia aparaturowe nie miałem możliwości pełnego wykorzystania fal refrakcyjnych do badania wałów, tak jak ma to miejsce w sejsmice. Fale refrakcyjne wykorzystałem natomiast do konstrukcji modeli prędkościowo-głębokościowych ośrodka gruntowego, które przygotowywałem

- z wykorzystaniem napisanego przeze mnie programu dopasowującego hodografy syntetyczne do pomiarowych; opis działania programu zamieściłem w *Rozdziale 3.3 (Załącznik nr 6 – str. 51)*.
11. Zastosowanie do badania wałów, opisanego powyżej niestandardowego profilowania zmiennooffsetowego pozwoliło na rozseparowanie na echogramach różnych fal, co w efekcie dawało większe możliwości interpretacyjne. Rozseparowanie bezpośredniej fali gruntowej (BFG) od bezpośredniej fali powietrznej (BFP) pozwoliło mi zastosować specjalną technikę pomiarową bazującą na BFG, do oszacowania zmian prędkości w warstwie przypowierzchniowej (*Załącznik nr 6, str. 91, Fig. 5.8*); zmiany prędkości wynikały z rozkładu wody w badanym ośrodku, a rejony podwyższonej wilgotności wskazywały na istnienie zawodnionych stref rozluźnionych w gruncie.
 12. W pracy habilitacyjnej prowadziłem również analizy przydatności badań zmiennopolaryzacyjnych do detekcji „obiektów stochastycznych”. Dla każdego typu obiektu, tj. dla plam LNAPL, rozluźnień w wałach i dla spękań górotworu, wybrałem po jednym miejscu badań, w którym analizowałem zmiany na echogramach wynikające z zastosowanej polaryzacji układu pomiarowego. Wyniki tych analiz pokazałem na (*Załącznik nr 6*): a) *Fig. 5.31* – badania na wałach przeciwpowodziowych, b) *Fig. 6.45* – badania spękań w górotworze, c) *Fig. 7.10* – detekcja plam LNAPL. Wyniki badań zmiennopolaryzacyjnych wskazywały, że najbardziej uniwersalnym układem anten pomiarowych jest układ równoległy, który wykorzystałem we wszystkich badaniach terenowych prowadzonych podczas realizacji pracy habilitacyjnej. Równoległa polaryzacja anten jest układem uniwersalnym, lecz jak pokazały wyniki analiz, nie optymalnym, więc w przypadkach gdy prowadzi się badania bardzo szczegółowe, należy odpowiednio dobrać polaryzację anten od miejsca badań.
 13. Wykorzystanie macierzowej struktury echogramów pozwoliło mi na wykonanie analizy różnicowej wyników badań uzyskanych przy detekcji skażeń węglowodorowych. Analiza taka pozwoliła wyeliminować te anomalie z rejestracji, które pochodziły od obiektów geologicznych i dokonać ekstrakcji anomalii pochodzących od stref o podwyższonej porowatości, wypełnianych paliwem i wodą gruntową (*Załącznik nr 6 – Fig.19÷22*). Analiza różnicowa pozwoliła na wyznaczenie głównych dróg migracji i kumulacji mediów w strefie aeracji, co wyjaśniło nietypowy rozkład skażeń


w ośrodku, który trudno było wyjaśnić na podstawie badań otworowych.

Wyniki badań georadarowych przeprowadzonych w miejscach skażonych substancjami typu LNAPL dobrze korelowały się z informacjami otworowymi o ilości i rozkładzie skażeń (Załącznik nr 6 – Rozdziały 7.2 i 7.3; Załącznik nr 3 – poz. I.2).

14. Przeprowadzone w ramach realizacji pracy habilitacyjnej georadarowe profilowania refleksyjno-prędkościowe (Załącznik nr 6 – Fig. 7.24B), korelowane z wynikami badań techniką obrazowania elektrooporowego (RI) i profilowań elektromagnetycznych (EMP), wskazywały na niewielkie możliwości detekcyjne techniki GPR przy lokalizacji plamy LNAPL w suchym gruncie (Załącznik nr 6 – Fig. 7.25, 7.26). Jak przedyskutowałem w części teoretycznej pracy i pokazałem w rozdziale dotyczącym modelowania numerycznego, możliwości detekcyjne metody GPR w omawianej sytuacji można zwiększyć wykorzystując „naturalny marker wodny”.

Badania georadarowe skażeń typu LNAPL, oprócz korelacji z technikami RI i EMP (Załącznik nr 3 – poz. V.7), korelowałem również z wynikami pomiarów atmochemicznych (Załącznik nr 3 – poz. I.2), a wymienione techniki badań dobrze uzupełniały się, zwłaszcza w przypadku, gdy plamy węglowodorowe znajdowały się w strefie aeracji.

Pomimo, że badałem trzy typy „obiektów stochastycznych”, to zaproponowana w pracy habilitacyjnej metodyka pomiarowo-interpretacyjna wydaje się być uniwersalną i istnieje duże prawdopodobieństwo, że będzie ona dawać pozytywne wyniki badań również przy detekcji innych obiektów charakteryzujących się losową dystrybucją w ośrodku geologicznym. Teza ta została częściowo potwierdzona, ponieważ wybrane rozwiązania metodyczne proponowane w pracy zastosowałem już z powodzeniem do detekcji innych rodzajów „obiektów stochastycznych” (Załącznik nr 3 – poz. III.1, IV.3, V.14, VI.2, II.3, III.2, IV.6, V.5).


.....
podpis Wnioskodawcy