

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. Piotra Majewskiego pt.:

AKUSTYCZNE ROZPOZNANIE FORM WYSTĘPOWANIA GAZONOŚNYCH OSADÓW W BAŁTYKU POŁUDNIOWYM

Informacja ogólna o przedmiocie i celu badań

Dno morskie stanowiące ponad 70% powierzchni Ziemi jest obszarem zbadanym w niewielkim jeszcze stopniu. Niespotykane na przykład w badaniach łądów trudności spowodowały, że systematyczna eksploracja głębin morskich jest prowadzona zaledwie od kilkudziesięciu lat, ale dopiero rozwój technik zdalnych, nieinwazyjnych a zwłaszcza akustycznych dał narzędzia do poznawania topografii dna na dużych obszarach i w dużej skali oraz warstw geologicznych z wysoką rozdzielczością powierzchniową i wglębną. Trwający od ponad trzydziestu lat szybki rozwój technik cyfrowych spowodował znaczący postęp w rejestracji i przetwarzaniu informacji gromadzonych przy użyciu tzw. metod bezinwazyjnego badania dna będących między innymi przedmiotem recenzowanej dysertacji.

Przedstawiona do recenzji rozprawa porusza ważne problemy dotyczące różnych aspektów występowania gazu w skorupie ziemskiej. Wiedza na temat form występowania gazu, a zwłaszcza metanu pod dnem morskim ma ogromne znaczenie w poszukiwaniu i wydobywaniu węglowodorów, od których w dużej mierze zależy rozwój naszej cywilizacji a z innej strony jest niezbędna do oszacowania bilansu gazów cieplarnianych zagrażających temu rozwojowi.

W walce ze zmianami klimatycznymi niezmiernie istotna jest dokładna znajomość wszystkich czynników naturalnych i antropogenicznych biorących udział w obiegu węgla w przyrodzie, a zwłaszcza w oceanach odgrywających ważną rolę w tym procesie (oceany pochłaniają 40% węgla pochodzenia antropogenicznego). Kluczową rolę odgrywają tu morza szelfowe, których powierzchnia, chociaż stanowi jedynie 7% powierzchni oceanu światowego i 0.5 % jego objętości, bierze udział w produkcji 20% materii organicznej. Natomiast aż 80%

materii organicznej zdeponowanej w osadach przypada na morza szelfowe. Szczególną rolę odgrywa tu Morze Bałtyckie, silnie zeutrofizowane i o wynikającej stąd dużej produkcji pierwotnej.

Występowanie gazu w osadach bałtyckich jest w niewielkim stopniu rozpoznane. Poza kilkoma niewielkimi obszarowo poligonami badawczymi jak np. Zat. Eckernförde, dotychczas nie przedstawiono obszernych wyników badań jakościowych i ilościowych zalegania gazu w dnie Morza Bałtyckiego. Praca Pana mgr. Piotra Majewskiego w pewnym stopniu wypełnia tę lukę. Podjął się on w niej ambitnego zadania **rozpoznania występowania oraz określenia rozmieszczenia różnorodnych form osadów nasyconych gazami jak również obszarów wypływu gazu z osadów do toni wodnej w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej Morza Bałtyckiego**. W tym celu opracował spójną metodologię akustycznej klasyfikacji osadów dennych przeznaczoną do poszukiwania i rozpoznawania różnych form występowania gazu w dnie. Posłużył się w swojej pracy sprzętem hydroakustycznym stosując do badania powierzchni dna i płytko zalegających warstw poddennych echosondy jednowiązkowe jedno- i wieloczęstotliwościowe oraz echosondę o możliwości emitowania sygnałów szerokopasmowych lub modulowanych częstotliwościowo (tzw. sygnałów świergotowych) a także echosondę parametryczną (obie echosondy skonstruowane w Pracowni Akustyki Morza IOPAN). Innymi użytymi do badań powierzchni dna przyrządami były echosonda wielowiązkowa oraz sonar boczny. Warstwy dna głęboko zalegające były badane za pomocą boomera i subbottom profilera.

Praca powstała w oparciu o obszerny materiał pomiarowy zgromadzony w latach 2008 – 2013 przez mgr. Majewskiego w ośmiu wydzielonych obszarach morskich głównie położonych w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej, a łączna długość przekrojów akustycznych wyniosła ok. 3500 Mm. Dysertacja składa się z 11 rozdziałów (w tym Wstęp, Podsumowanie i Wnioski) oraz spisu literatury i rysunków, obejmuje 170 stron. Autor powołał się w pracy na 181 pozycji bibliograficznych, z czego 2 pozycje są współautorstwa mgr. Piotra Majewskiego, gdzie jest on pierwszym autorem. W rozprawie umieszczono 1 tabelę i 55 rysunków. Stronę edytorską dysertacji oceniam wysoko pomimo zauważonych nielicznych błędów składniowych i licznych interpunkcyjnych takich np. jak nagminny brak przecinka przed spójnikiem „który” oraz nierozdzielanie znakami interpunkcyjnymi kolejnych przytaczanych wzorów. W dysertacji także brakuje jej streszczenia w języku angielskim oraz spisu oznaczeń i symboli.

Układ dysertacji jest prawidłowy. W jej wstępie przedstawiono cel pracy i motywację do prowadzenia badań. W rozdziale 2 omówiono pochodzenie gazu w dnie i jego formy występowania a w rozdziale 3 scharakteryzowano obszar badań. Następny rozdział (4) jest poświęcony teoretycznym podstawom fizyki rozpraszania dźwięku na pofałdowanym i uwarstwowionym dnie zawierającym gaz w postaci pęcherzyków. Rozdział 5 przedstawia opis narzędzi akustycznych – echosond, sonarów, boomerów i subbottom profilerów użytych do

badania, których wyniki przedstawiono w dysertacji. Następny rozdział teoretyczny przedstawia parametry klasyfikacyjne obwiedni sygnałów echa, obliczane dla danych zarejestrowanych przez echosondy jednowiązkowe – podstawowe narzędzia autora do badań gazu w dnie. Rozdziały 7, 8, 9 i 10 to w założeniu właściwa analiza materiału badawczego, próby uogólnień i opis realizacji głównego celu pracy podanego w rozdziale pierwszym. I tak w rozdziale 7 przedstawiono metody klasyfikacji akustycznej osadów dennych ze względu na przejawy obecności gazu, w ósmym – analizę obrazów cyfrowych zarejestrowanych przez sonar boczny (tzw. analizę tekstur). Dziewiąty rozdział został poświęcony zastosowaniu transformacji Hilberta-Huanga do detekcji warstw gazonośnych w zapisach z echosond jednowiązkowych wieloczęstotliwościowych i szerokopasmowej oraz boomera. Wyniki zastosowanych technik pomiarowych i cyfrowej obróbki sygnałów są szeroko omówione w rozdziale 10, gdzie obok przetworzonych cyfrowo echogramów przykładowych form zalegania gazu w dnie przedstawiono mapy z zaznaczonymi miejscami ich występowania oraz ich gęstością w badanych obszarach Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej Bałtyku.

Ocena celów badawczych

Główny cel badawczy pracy polegający na akustycznym rozpoznaniu występowania oraz określenia rozmieszczenia różnorodnych form osadów nasyconych gazami został przez autora dysertacji osiągnięty. Aby tego dokonać, Pan mgr Piotr Majewski podjął się wyzwania zbudowania systemu akustycznej klasyfikacji sygnałów zarejestrowanych przez systemy jednowiązkowe, sonar boczny i boomer oraz subbottom profiler. Dla pierwszego rodzaju urządzeń zastosował parametryzację obwiedni echa obliczając 106 różnych jego cech, takich jak: parametry widmowe, falkowe, fraktalne i statystyczne. Ponieważ część parametrów jest ze sobą skorelowana, posłużył się metodami wielowymiarowej analizy statystycznej – analizą składowych głównych i analizą czynnikową do redukcji wzajemnie zależnych od siebie parametrów. Otrzymane w wyniku analiz, zredukowane zbiory liniowych kombinacji parametrów – czynników były zbiorem wejściowym do algorytmu klasyfikacyjnego – k-średnich oraz algorytmu c-średnich bazującego na logice rozmytej. Autor dysertacji otrzymał zadawalające wyniki klasyfikacji stosując analizę składowych głównych, natomiast dla tych samych zbiorów danych otrzymał wyniki niezadawalające przy zastosowaniu analizy czynnikowej. Uważam, że duża różnica w wynikach klasyfikacji może być spowodowana nieodpowiednim doбором przez autora parametrów wewnętrznych analizy czynnikowej. Wyniki tego typu analizy są bardzo czułe na odpowiednie dopasowanie tzw. rotacji macierzy czynników. Choć metody klasyfikacyjne przedstawione w dysertacji są znane z literatury lub z pracy systemów komercyjnych (np. VBT firmy BioSonics lub QTC IMPACT firmy Quester Tangent), to stworzenie nowego, różniącego się od poprzednich doбором parametrów i sposobem klasyfikacji systemu rozpoznawania osadów zawierających gaz zasługuje na uwagę.

Do rozpoznawania wycieków gazu z dna zarejestrowanych za pomocą sonaru bocznego, autor dysertacji zastosował algorytmy analizy tekstur. Dla zarejestrowanych sonogramów w oknie przesuwным obliczał parametry statystyczne pierwszego i drugiego rzędu, które następnie były zbiorami wejściowymi do algorytmu klasyfikacyjnego k-średnich. Jest to już klasyczne zastosowanie analizy obrazów do rozgraniczania form ukształtowania powierzchni dna znane np. z systemu TexAn autorstwa Philippe Blondela z Uniwersytetu w Bath, Wielka Brytania. Należy jednak zauważyć odpowiednie przygotowanie wstępne sonogramów – korekcje histogramów jasności obrazów i właściwy dobór parametrów do analizy. Otrzymano zadawalające wyniki segmentacji obrazów przy użytej skomplikowanej i czułej metodzie na wstępne przygotowanie danych.

Trzecią grupą algorytmów zastosowanych tym razem do poprawy wykrywalności form gazowych zalegających pod powierzchnią dna i widocznych na echogramach była transformacja Hilberta – Huanga użyta do sygnałów zarejestrowanych za pomocą boomera i niskoczęstotliwościowych echosond jednowiązkowych. Echogramy zbudowane z kolejnych tzw. modów (IMF) sygnałów poddanych transformacji powinny odzwierciedlać formy występowania gazu w dnie. Nieotrzymanie przez autora w pełni zadawalających wyników jest prawdopodobnie skutkiem nie podjęcia prób zastosowania kombinacji odpowiednich modów i residuów sygnałów poddanych transformacji.

Reasumując, do najważniejszych i oryginalnych osiągnięć autora przedstawionych w dysertacji należą:

- rozwój metod klasyfikacji danych zarejestrowanych przez nisko- i wysokoczęstotliwościowe echosondy jednowiązkowe do rozpoznawania obszarów o występowaniu gazu w dnie,
- zoptymalizowanie metody analizy tekstur zastosowanej do zobrazowań sonarowych dna i służących do wykrywania wycieków gazu z jego powierzchni,
- przetestowanie algorytmu transformacji Hilberta - Huanga do wykrywania różnych form struktur osadów nasyconych gazem,
- identyfikacja miejsc występowania struktur gazowych w dnie wraz z określeniem ich rodzajów i wielkości – łączna powierzchnia rozmaitych struktur gazowych wyniosła 587 km².

Należy zaznaczyć, że zaproponowane przez autora metody badań dna z użyciem różnorodnych przyrządów hydroakustycznych i nowoczesne przetwarzanie danych mają duże znaczenie praktyczne i mogą znacznie ułatwić proces eksploracji środowiska morskiego.

Uwagi polemiczne i krytyczne (część mniej istotnych uwag zaznaczyłem w tekście dysertacji przedłożonym do recenzji)

Chociaż merytorycznie dysertację oceniam pozytywnie, to jednak znalazłem w niej pewne nieścisłości i niedociągnięcia. Dotyczą one w większości niefortunnych stwierdzeń lub

zagadnień metodologicznych związanych z przygotowaniem sygnałów echa do ich przetwarzania i klasyfikacji.

1. Str.31. – „W przeciwieństwie do toni wodnej, cząsteczki dna są elastyczne, co umożliwia propagację fali akustycznej w postaci fal ścinających jak również fal ciśnieniowych...”. Przytoczone stwierdzenie jest nieprawdziwe, ponieważ gdyby woda nie była elastyczna (sprężysta) to nie mogłaby być propagowana w niej żadna fala mechaniczna. Także używanie pojęcia fal ścinających zamiast fal poprzecznych, chociaż poprawne, nie jest używane powszechnie w fizyce osadów morskich. Użycie terminu „fala ścinająca” wynika z prostego tłumaczenia z j. angielskiego terminu „shear wave”.
2. Str.33. – „Wśród badaczy nie ma jednoznacznej odpowiedzi jakie mechanizmy dominują w rozpraszaniu na dnie”. – Uważam takie stwierdzenie za nieuprawnione. Mechanizmy zostały dogłębnie zbadane i na ich podstawie powstały modele jednoznacznie symulujące numerycznie kształty impulsów rozproszonych wstecz na pofałdowanym, uwarstwionym dnie (np. model BORIS – SACLANT Undersea Research Centre).
3. Str.38. - Powoływanie się na wzory z nieoryginalnych prac. Np. wzory 4.4.1 – 4.4.4 zacytowano z artykułu Jacksona i in. z roku 2007 a potem podano, że były one podstawą obliczenia objętościowego przekroju czynnego na rozpraszanie i zacytowano pracę Stewarta i in. z roku 1992.
4. Str.50. - „Ruch jednostki badawczej do której zamontowany jest przetwornik (np. obroty i kołysania statku względem osi XYZ...” – kołysania statku też są obrotami. Kadłub statku porusza się w 6 stopniach swobody, na które składają się 3 obroty względem osi XYZ i 3 przesunięcia. Stąd powinno być nie kołysania a przesunięcia lub translacje.
5. Str.50. - „W związku z faktem, że zależność długości echa od odległości pomiędzy przetwornikiem a fragmentem dna dla analizowanych sygnałów nie ma charakteru liniowego, zrezygnowana z korekcji kształtu echa” – autor tłumaczy dalej, że batymetria w badanych obszarach zmieniała się w niewielkich granicach i stąd wpływ tzw. korekcji głębokości na wynik klasyfikacji akustycznej osadów byłby niewielki. Nie zgadzam się z tym stwierdzeniem. Obszary badań miały dużą powierzchnię i były zróżnicowane batymetrycznie. Stąd wynikała potrzeba korekcji długości sygnałów rozproszonych wstecz. Nie zrobienie korekcji dla sygnałów odbitych od dna o dużych gradientach głębokości mogło znacznie wpłynąć na wartości parametrów obwiedni echa i w konsekwencji na poprawność akustycznej klasyfikacji osadów. Wszystkie komercyjne systemy klasyfikacji dna są wyposażone w tego typu korekcję.
6. Str.51. – „ S_v – objętościowa siła rozpraszania” – powinno być „objętościowa siła rozpraszania wstecz”.

7. Str.59. – „NL opisuje poziom rewerberacji”. NL (Noise Level) jest inaczej poziomem szumów i w większości literatury przedmiotu rewerberacje są uważane za sygnały rozproszone i rejestrowane przez odbiornik ale nie przez szumy.
8. Str.64. – „Echosonda emituje 160 wiązek” – zastosowana do pomiarów echosonda wielowiązkowa Konsberg EM3002 emituje jedną wiązkę o szerokości 130 stopni w kierunku poprzecznym do ruchu statku. Natomiast rejestruje sygnały echa systemem 160 wirtualnych wiązek odbiorczych. Tak są zbudowane wszystkie echosondy wielowiązkowe – nadawana jest jedna lub dwie wiązki – odbiór sygnału echa następuje za pomocą kilkuset wirtualnych wiązek.
9. Str.78. – „Zmiana parametru a równoznaczna jest ze zmianą częstotliwości falki” – jest to niefortunne stwierdzenie. Analiza falkowa jest analogią analizy Fouriera ale funkcje falkowe nie mogą zmieniać częstotliwości, tylko swoje rozmiary.
10. Str.78. – „brak precyzyjnych wskazań literaturowych pozwalających jednoznacznie określić jakiego rodzaju falki najlepiej nadają się do analizy ech akustycznych od ośrodków uwarstwionych ...”. Zasada ogólna jest taka, że dobieramy do analizy funkcje falkowe najbardziej zbliżone kształtem do analizowanego sygnału. W programie Matlab istnieje specjalna procedura sprawdzająca, które falki są najlepiej dopasowane kształtem do danego sygnału.
11. Str.82. – „Duża korelacja pomiędzy parametrami nie wnosi istotnej informacji przydatnej podczas klasyfikacji,...”. Autor prawdopodobnie chciał stwierdzić, że parametry skorelowane nie wnoszą istotnej informacji.
12. Str.84-85. Użycie słowa „wyjaśnić” nieadekwatne do opisywanych problemów matematycznych. Np. „Składowe główne określa się jako kombinacje liniowe zmiennych, które *wyjaśniają* kolejno coraz mniejsze części całkowitej wariancji”. Zamiast terminu „wyjaśniają” należało użyć „stanowią”. Ten sam błąd jest w zdaniu „Każda następna składowa główna *wyjaśnia* taką część zmienności danych, której nie *wyjaśnity* poprzednie składowe” i dalej „do analizy wykorzystano n pierwszych składowych głównych, które wspólnie *wyjaśnity* co najmniej 85% wariancji”.
13. Str.91. Użycie terminu „korekcja skośności” jest kolokwializmem wynikający z prostego tłumaczenia z j. angielskiego terminu „slant range correction”. Należało użyć na przykład określenia „skorygowanie zasięgu sygnałów transmitowanych pod różnymi kątami padania”.
14. Str.99. Rysunek 27 (dolny). Podczas transformacji Hilberta – Huanga wyznacza się obwiednie na podstawie lokalnych maksimów i minimów sygnału. Niezbędnym warunkiem jest przechodzenie sygnału przez zero. Na rysunku cały sygnał jest dodatni a jego średnia wartość wynosi ok 1600. Należało odjąć od sygnału jego średnią wartość przed wyznaczeniem obwiedni. Ta sama uwaga dotyczy rysunku 28.
15. Str.121-124. Wyniki klasyfikacji otrzymane stosując analizę czynnikową są zdecydowanie gorsze od wyników przy zastosowaniu analizy składowych głównych. Z mojego doświadczenia wynika, że dobranie odpowiednich parametrów sterujących

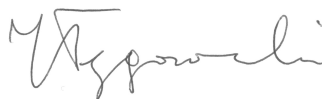
analizą czynnikową może w sposób diametralny poprawić wynik klasyfikacji. Prawdopodobnie autor dysertacji nie podjął takiego wyzwania.

16. Str.127. – „za pomocą sygnałów typu chirp”. W języku polskim sygnały o modulacji częstotliwościowej są nazywane sygnałami świergotowymi.

Wniosek końcowy

Pomimo uwag krytycznych uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. Piotra Majewskiego nie zawiera istotnych błędów merytorycznych. Biorąc pod uwagę szeroki zakres pracy oraz fakt, że postawione cele dotyczące zagadnień o dużym znaczeniu poznawczym i praktycznym zostały w pełni zrealizowane z wykorzystaniem właściwych metod badawczych, oceniam rozprawę pozytywnie. Uważam także, że wnosi ona wartościowy wkład w rozwój nowych metod wykorzystania hydroakustyki w badaniach środowiska morskiego.

Reasumując stwierdzam, że wszystkie postawione cele pracy zostały w pełni osiągnięte i w świetle obowiązujących przepisów praca mgr. Piotra Majewskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie o jej dopuszczenie do kolejnych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.



Jarosław Tęgowski