

Dr hab. Piotr Such  
Instytut Nafty i Gazu – PIB  
Kraków, ul.Lubicz 25a

Kraków. 16.11.2023

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Grzegorza Łukaszewskiego pt. „Wykorzystanie systemów samouczących w sejsmofacjalnej i strukturalnej analizie danych sejsmicznych w strefach potencjalnego występowania konwencjonalnych i niekonwencjonalnych złóż węglowodorów” wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. Anny Świerczewskiej. Promotorem pomocniczym jest dr Paweł Pomianowski

Recenzowana praca składa się ze Wstępu i ośmiu rozdziałów. Bibliografia to 207 pozycji literaturowych. Dodatkowo Doktorant zamieścił spis rycin oraz aneks w którym zestawiono anglojęzyczne skróty i terminy. W tekście zastosowano nomenklaturę anglojęzyczną z uwagi na powszechność stosowania w branży lub brak odpowiedników w języku polskim.

Doktorant rozpoczyna rozprawę od omówienia celowości podjętych prac, przypomina że według statystyk przemysłowa analiza sejsmiki 3D jest w zasadzie równoznaczna z wykorzystaniem jedynie 10% wolumenu amplitudowego. Kolejnym przedstawionym problemem jest uzasadnienie wyboru obiektu badań. Geneza tej pułapki nie została jasno określona, a zróżnicowane parametry eksploatacyjne w poszczególnych otworach nie są spójne z wynikami analiz atrybutów sejsmicznych. Wybrany interwał związany jest z fragmentem sukcesji środkowej części utworów sarmatu. Przedmiotem badań Doktoranta jest obiekt geologiczny zidentyfikowany przy analizie zdjęcia 3D, znajdujący się bezpośrednio poniżej horyzontu X (spójność nazw z dokumentacją przemysłową) w strefie eksploatowanej akumulacji gazu ziemnego.

Rozdział 3 to opis budowy geologicznej polskiej części zapadliska przedkarpackiego. Jest to wielowątkowa analiza obejmująca tektonikę, historię geologiczną, litostratygrafię wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. Następnym etapem jest model geologiczny rejonu badań (przy wykorzystaniu analizy wyników zdjęcia 3D). Wizualizacja obejmuje Ryc. 3.12 – 3.30. Rozdział 4 to historia badań sejsmicznych od pierwszych prób na tych terenach do współczesnych zdjęć sejsmiki 3D. Tu Doktorant opisuje postęp technologiczny (przejście do technik cyfrowych) i interpretacyjny (postęp w typowaniu potencjalnych pułapek, powiązanie

geologii z wynikami badań sejsmicznych. Rozdział kończy się sformułowaniem problemów przed którymi aktualnie stoją interpretatorzy wyników badań sejsmicznych. Są to problemy związane z detekcją złóż o charakterze niekonwencjonalnym i problem efektywnego wykorzystania ogromnej ilości posiadanych danych cyfrowych.

Kolejny rozdział (piąty) poświęcony jest atrybutem sejsmicznym. Co to jest i jak to można wykorzystać. W tym rozdziale Doktorant przechodzi do systemów samouczących. Stwierdza, że współczesne analizy (mimo wysokiej rozdzielczości) często nie są nośnikami kompletnej informacji geologicznej. Twierdzi, że zastosowanie wieloatrybutowej analizy umożliwia uzyskanie bardziej kompletnej informacji. Wskazuje również, że łatwo jest wygenerować fałszywe korelacje, toteż cały proces wymaga odpowiedniego przygotowania i ciągłej kontroli. W rozdziale 6 Doktorant przechodzi do omówienia metodyki prowadzonych badań. Zaczyna od schematu prowadzonych badań z wykorzystaniem technik uczenia maszynowego. Prezentuje graficznie trzy główne fazy realizacji projektu: przygotowanie i edycję danych, następnie uczenie maszynowe i interpretację. Ocenia, że przygotowanie i edycja danych to 75% realizacji fazy projektu. Doktorant wymienia wszystkie narzędzia interpretacyjne, które zastosował w projekcie (obok oprogramowania komercyjnego są to również własne aplikacje Doktoranta w języku Python dotyczące realizacji elementów procedur (analizy, wizualizacje). Następnie opisuje co należy wykonać w każdym z etapów. Doktorant, generuje i przygotowuje zestaw atrybutów, analizuje oryginalne dane atrybutowe, analizuje ich rozkłady, odrzuca wartości niepożądane, by po przeprowadzeniu transformacji (stosując formułę Boxa-Coxa) otrzymać poprawę zobrazowania. Kolejnym elementem jest analiza PCA (składowych głównych). Analiza umożliwiła redukcję danych wejściowych (selekcja atrybutów sejsmicznych o największym znaczeniu dla danej składowej głównej). Wszystkie te elementy są wystarczająco zilustrowane wykresami czy rozkładami otrzymanych wielkości ( Ryc.6-25. - składowe PC1, PC2, PC3).

. W rozprawie zastosowano nienadzorowane metody sztucznej inteligencji, przy czym Doktorant pokazał jak dużą pracę trzeba wykonać by późniejsze badania miały sens.

W sumie zastosował: nienadzorowaną klasyfikację facji sejsmicznych z wykorzystaniem sieci neuronowych, nienadzorowaną klasyfikację facji sejsmicznych z zastosowaniem algorytmu k-średnich oraz nienadzorowaną klasyfikację facji sejsmicznych z wykorzystaniem samoorganizujących się map (klasyfikacje Kohonena). Generalnie do badań wykorzystywano grupę atrybutową PC1 przy czym również przeprowadzono prace badawcze z pozostałymi grupami. Wykorzystano je również komplementarnie przy interpretacji geologicznej wygenerowanych modeli. Doktorant szczegółowo omawia wyniki otrzymane dla

poszczególnych metod, ilustrując swoje przemyślenia prezentowanymi wizualizacjami (badania przy pomocy poszczególnych metod, zastosowane dane wejściowe, zdjęcia 2D, zdjęcie 3D, badania z PC1, PC2, PC3). Rozdział kończy zgeneralizowany schemat prowadzenia prac interpretacyjnych z zastosowaniem uczenia maszynowego.

Rozprawę kończy geologiczna interpretacja wyników badań. Szczegółowa analiza wyczerpująco ilustrowana wizualizacjami zawiera jeden podstawowy wniosek: „Podstawowa różnicą pomiędzy rezultatami pogłębionej analizy sejsmicznej z wykorzystaniem ML, a wynikami analiz w ujęciu klasycznym jest zdefiniowanie przez te pierwsze przyczyny anomalii opisywanej przez te drugie”.

Oceniając rozprawę Doktoranta należy stwierdzić:

1. Rozprawa jest długa i chwilami wydaje się być zbyt szczegółowa, lecz dzięki temu

Doktorantowi udało się spełnić dwa warunki:

- po pierwsze dokładność analiz geologiczno - geofizycznych i metodyk zastosowanych systemów samouczących. Dzięki temu możliwe było płynne przejście od wyników badań ML do rozważań geologicznych
- po drugie, dzięki szczegółowej analizie (szczególne atrybutów) wyniki pracy w opinii recenzenta udało się zgeneralizować. Zastosowany schemat badawczy można przenieść na wolumeny sejsmiczne pochodzące z innych basenów sedymentacyjnych.

2. Doktorant pokazał, że systemy samouczące mogą dostarczyć informacji do tej pory nieosiągalnej dla klasycznej interpretacji sejsmicznej.

3. Bardzo dobry wybór i generowanie wolumenów atrybutowych, dobra analiza PCA (Ryc.6-25), oraz rozważania o redukcji wielowymiarowości.

4. Poprawny wybór interwału sejsmicznego (pozycja czasowa horyzontu X)

5. Doktorant zastosował systemy nienadzorowane pokazując również niebezpieczeństwa ich stosowania (możliwości popełnienia błędów grubych), wskazał jak ich uniknąć oraz ile pracy wstępnej (data preconditioning i optymalizacja parametrów już po analizie atrybutowej) należy włożyć by dobrze działały

6. Należy się zgodzić z wnioskiem nr.7 że prezentowany w rozprawie produkt (bo tak go można określić) spełnia dwa wymagania: skuteczność i szybkość działania.

Pewnym problemem są nieopisane autorsko rysunki. Jest to efekt udostępnienia przez ORLEN szeregu materiałów. Będzie to problem przy wydaniu tej pracy jako publikacji (można np. wpisać jako pozycję nr taki a taki w spisie literatury jako –„Niepublikowane

materiały Grupy ORLEN”). Można bardziej jednoznacznie podać nazwę koncesji lub zdjęcia 3D

Czynnikiem, który w pewien sposób zaburza czytanie rozprawy jest zbyt duża ilość wizualizacji graficznych. W tekście Doktorant stwierdza, że żadna wizualizacja nie jest w stanie oddać tego co daje forma cyfrowa. I tu zgoda, gdyby rysunki były dwa razy mniejsze teza ta byłaby dwa razy bardziej prawdziwa (to pół żartem, natomiast do publikacji trzeba ograniczyć ich liczbę).

Można skrócić wstępne rozważania geologiczne i sejsmiczne (rys historyczny).

Są to wszystko uchybienia redakcyjne nie mające wpływu na wartość merytoryczną pracy.

Reasumując:

-Rozprawa jest spójną i logiczną całością, w której geologia, sejsmika i metody samouczące zajmują porównywalną pozycję

-Rozprawa pokazała nowe możliwości interpretacyjne sejsmiki oparte o metody samouczące

-Doktorant zastosował metody samouczące do analizy atrybutów. Mają one również charakter uniwersalny. Jest to znaczące osiągnięcie naukowe.

- Praca oprócz czysto naukowego ma również charakter użyteczny. Metody zastosowane w rozprawie mogą być zastosowane w analizie innych rejonów perspektywicznych.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych dyscyplinie „Nauki o Ziemi i Środowisku”, zaś dobór metod badawczych, ich interpretacja oraz powiązanie ze stanem badań na świecie w tej dziedzinie świadczy o ogólnej wiedzy teoretycznej. Rozprawa spełnia wszystkie warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742) Recenzent wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Mariusza Grzegorza Łukaszewskiego do dalszej części przewodu doktorskiego.

