

## Streszczenia rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Słonki

*Charakterystyka sejsmiczna górnourajskich budowli węglanowych w  
niecce miechowskiej*

*Seismic characteristics of the Upper Jurassic carbonate buildups in  
the Miechów Trough*

Promotor (Supervisor):

dr hab. inż. Piotr Krzywicz

Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk

### Streszczenie

Przedmiotem rozprawy są górnourajskie budowle węglanowe wraz z ich otoczeniem występujące w rejonie Pińczowa w obrębie niecki miechowskiej. Geometria oraz architektura depozycyjna utworów górnej jury w centralnej części niecki miechowskiej były dotychczas stosunkowo słabiej udokumentowane w porównaniu z sąsiednimi obszarami obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich i Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Związane to jest z tym, iż w przeciwieństwie do wspomnianych dwóch rejonów występowania wychodni skał jurajskich, na przeważającym obszarze niecki miechowskiej utwory jury górnej są przykryte przez sukcesję kredową, a w jej południowej części również przez osady miocenijskie zapadliska przedkarpackiego. Na obszarach pozbawionych odsłoneń niezwykle przydatne w rozpoznaniu wglębnej budowy geologicznej są dane sejsmiczne skalibrowane danymi otworowymi zawierającymi informacje na temat stratygrafii oraz litologii przewierconych skał. Podejście oparte na analizie danych sejsmicznych i otworowych znalazło zastosowanie w przedstawionych w niniejszej rozprawie wynikach badań.

Celem zrealizowanych badań była identyfikacja, charakterystyka sejsmostratygraficzna oraz analiza geometrii i ewolucji górnourajskich budowli węglanowych w oparciu o wyniki interpretacji danych sejsmiki refleksyjnej 2D wsparte analizą danych z otworów wiertniczych. Dane, które posłużyły do realizacji zadania badawczego obejmowały (1) dane otworowe pochodzące z pięciu głębokich otworów kalibrujących zlokalizowanych w rejonie Pińczowa (Chopin-1, Belvedere-1, Michałów-3, Węchadłów-1, Lipówka-1) oraz (2) profile sejsmiczne 2D, obejmujące (a) pomierzoną w pobliżu Pińczowa w 2011 roku siatkę krótkich profili sejsmicznych, oraz (b) dłuższe, archiwalne profile sejsmiczne pomierzone w pierwszej połowie lat 90. W ramach przeprowadzonych badań zastosowano metodykę opartą na interpretacji sejsmiczno-stratygraficznej oraz sejsmiczno-facjalnej, która pozwoliła na dokładną integrację sejsmiki z danymi profilowań geofizyki wiertniczej, danymi stratygraficznymi oraz informacjami na temat wykształcenia litologicznego i facjalnego.

Problematyka badawcza podejmowana w tej pracy dotyczy odpowiedzi na następujące pytania: (a) jaka jest geometria oraz wykształcenie węglanowego systemu depozycyjnego jury górnej na obszarze badań? (b) jaka jest obecna lokalizacja analizowanych budowli węglanowych oraz jakie było ich przestrzenne rozmieszczenie na tle paleogeografii późnej jury w południowej Polsce? (c) jaka była rola kompaktacji i jak wpływała ona na obserwowaną w obrazie sejsmicznym geometrię basenu w późnej jurze oraz w kredzie? (d) jak przebiegała ewolucja węglanowego systemu depozycyjnego, a w szczególności rozwój oraz zanik budowli węglanowych na obszarze badań, a także jakie czynniki (paleośrodowiskowe, paleogeograficzne, paleotektoniczne) miały na nią wpływ? Próbę odpowiedzi na powyższe pytania zawarto w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej, która oparta jest na dwóch powiązanych tematycznie artykułach opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych.

W artykule I zatytułowanym „Upper Jurassic carbonate buildups in the Miechów Trough, southern Poland – insights from seismic data interpretations” przedstawiono pierwszą część wyników badań, a także sformułowano główne wnioski, które były kontynuowane i rozwijane w artykule II. Bardzo istotnym elementem tej pracy była analiza 1D sejsmostratygraficzna przeprowadzona dla dwóch najważniejszych otworów kalibrujących: Chopin-1 i Belvedere-1, dzięki której dokonano korelacji wybranych elementów obrazu falowego ze zmianami litologicznymi oraz facjalnymi w obrębie sukcesji górnourajskiej, umożliwiając w dalszym etapie badań szczegółową interpretację profili sejsmicznych. W publikacji zaprezentowane zostały wyniki interpretacji strukturalnej oraz interpretacji sejsmostratygraficznej, w efekcie której zidentyfikowano szereg budowli węglanowych, opisano ich geometrię oraz dzisiejsze rozmiary. Sumaryczne miąższości tych struktur osiągają nawet kilkaset metrów, kompleksy budowli wykazują również znaczną rozciągłość lateralną, wynoszącą zazwyczaj co najmniej kilkaset metrów, a w niektórych wypadkach sięgającą do około 1 km. Uzyskane wnioski z analizy sejsmicznej wskazały, że główne elementy architektury depozycyjnej górnej jury na badanym obszarze niecki miechowskiej to kompleksy budowli węglanowych oraz mniej lub bardziej rozległe strefy (sub-baseny) zlokalizowane pomiędzy nimi, reprezentowane przez wyraźnie warstwowane osady. Obserwacje te wskazują na podobieństwo sukcesji górnourajskiej w centralnej części niecki

miechowskiej do dobrze udokumentowanego w odsłonięciach na obszarze sąsiedniej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej systemu zespołów budowli węglanowych (reprezentowanych przez utwory wapieni masywnych), otoczonych przez baseny międzybiohermalne (gdzie przeważają utwory wapieni uławiconych).

W artykule II noszącym tytuł „Seismic Characteristics and Development of the Upper Jurassic Carbonate Buildups from the Miechów Trough (Southern Poland)” przedstawiono drugą część wyników badań, stanowiącą bezpośrednią kontynuację problematyki badawczej zaakcentowanej w pierwszej publikacji, a także istotne jej uzupełnienie i rozszerzenie. Przeprowadzona analiza facji sejsmicznych oraz atrybutów sejsmicznych umożliwiła bardziej szczegółowe rozpoznanie wybranych elementów architektury depozycyjnej górnej jury. Zidentyfikowano cztery charakterystyczne typy facji sejsmicznych (A–*warstwowane*, B–*stożkowe/kopcowe*, C–*zaburzone*, D–*chaotyczne*), które powiązano z wybranymi elementami górnourajskiego systemu depozycyjnego, udokumentowanymi na sąsiednich obszarach wychodni tych utworów. Uzyskane wyniki wskazują, że facje sejsmiczne typu B i C są związane z utworami wapieni masywnych tworzącymi budowle węglanowe, facje sejsmiczne typu A reprezentują osady sub-basenów pomiędzy budowlami, a facje sejsmiczne typu D mogą być powiązane z utworami spływów grawitacyjnych bądź osadami talusa depozycyjnego. W publikacji zaproponowany został zgeneralizowany model depozycyjny sukcesji górnourajskiej na omawianym obszarze, obejmujący etapy inicjacji, rozwoju oraz zaniku budowli węglanowych. W artykule przedstawiono mapę szczegółowego rozmieszczenia budowli węglanowych oraz potencjalnych sub-basenów międzybiohermalnych w rejonie Pińczowa. Przeanalizowana została również rola zróżnicowanej kompaktacji osadów węglanowych, która miała miejsce w późnej jurze oraz w późnej kredzie, i wpływała na ukształtowanie obserwowanej w zapisie sejsmicznym architektury depozycyjnej tej części basenu.

Wyniki uzyskane w ramach prezentowanej rozprawy wnoszą znaczący postęp do rozpoznania przestrzennego wybranych elementów architektury depozycyjnej górnej jury na obszarze centralnej części niecki miechowskiej i wskazują mało dotąd znaną strefę występowania systemu budowli węglanowych w rejonie Pińczowa. Geometria i rozmiary tych struktur sugerują, że ich ewolucja odbywała się w zasadniczo podobnych warunkach środowiska sedymentacyjnego co w sąsiednich obszarach basenu późnourajskiego, znajdujących się obecnie w obrębie południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i Wyżyny Krakowsko Częstochowskiej. Wyniki w sposób istotny uzupełniają informacje na temat paleogeografii późnej jury w południowo-centralnej Polsce, wskazując, że zasięg występowania budowli węglanowych w tej części basenu był szerszy niż dotąd prezentowany w literaturze, opartej w dużej mierze na badaniach odsłoneń. Świadczy to o tym, że odpowiednie warunki paleobatymetryczne, paleośrodowiskowe, oraz inne czynniki warunkujące inicjację i rozwój budowli organicznych nie były ograniczone swoim zasięgiem jedynie do dobrze już rozpoznanych stref – obejmujących przeważnie dzisiejsze obszary wychodni utworów górnej jury – ale występowały one również w obrębie innych części basenu późnourajskiego w południowo-centralnej Polsce. Przedstawione rezultaty badań mogą w przyszłości stanowić punkt wyjścia do szczegółowych analiz

stratygraficzno-sedymentologicznych sukcesji górnourajskiej na obszarze badań, jak również mogą być wykorzystane w ramach prac o charakterze regionalnym obejmujących górną jurę południowej i centralnej Polski. Uzyskane wyniki będą mogły być również wykorzystywane jako punkt odniesienia do interpretacji danych sejsmicznych obrazujących budowę węglanowe z innych basenów sedymentacyjnych.

## **Abstract**

This doctoral dissertation addresses the Upper Jurassic carbonate buildups and surrounding deposits located in the Pińczów area within the Miechów Trough. The geometry and depositional architecture of the Upper Jurassic deposits in the central part of the Miechów Trough have so far been relatively less documented, in comparison to adjacent areas of the Mesozoic margin of the Holy Cross Mountains and the Kraków-Częstochowa Upland. In contrast to the two above-mentioned regions, the predominant area of the Miechów Trough lacks Jurassic outcrops. The Upper Jurassic rocks are covered by the Cretaceous succession and the Miocene deposits of the Carpathian Foredeep in the southern part of the Miechów Trough. In areas lacking outcrops, seismic data - calibrated by data from wells that provide information about stratigraphy and lithology of the drilled rock complexes - are extremely useful for the investigation of a subsurface geology. Such an approach, based on analysis of seismic and well data, has found its application in the results presented by this PhD thesis.

The aim of this study was seismostratigraphic identification and characterization of the Upper Jurassic carbonate buildups, as well as the analysis of their geometries and evolution. The research was based on seismic data interpretation supported by analysis of data from deep calibration wells. Data used in this study involved (1) borehole data from five wells located in the Pińczów area (Chopin-1, Belvedere-1, Michałów-3, Węchadłów-1, Lipówka-1), and (2) two types of 2D seismic data, including (a) grid of short seismic profiles acquired in 2011 near Pińczów, and (b) longer legacy profiles acquired in the early 1990s. Seismic-stratigraphic and seismic facies interpretations have been performed, which allowed for an accurate integration of seismic and well log data with the information concerning stratigraphy, lithology and facies.

The research problems raised in this thesis addresses the following questions: (a) what is the geometry and architecture of the Upper Jurassic carbonate depositional system in the study area? (b) what is the current location and the spatial distribution of the carbonate buildup system, with respect to the Late Jurassic paleogeography in southern Poland? (c) what was the role of compaction processes, and what was its impact on seismic-derived geometry of the basin in the Late Jurassic and Cretaceous? (d) what was the evolution of the carbonate depositional system in the study area, in particular development and demise of the carbonate buildups, and which factors (including paleoenvironment, paleogeography, paleotectonics) have impacted these processes? The attempts to answer all these

questions have been included in the presented dissertation, which is based on the two thematically related articles published in peer-reviewed scientific journals.

In the first article entitled 'Upper Jurassic carbonate buildups in the Miechów Trough, southern Poland – insights from seismic data interpretations' (hereafter called article I), the first part of the results has been presented, and the main conclusions have been formulated. These conclusions were continued and developed in the second article. An essential element of this work was the 1D seismic stratigraphic analysis which was carried out for the key calibration wells: Chopin-1 and Belvedere-1. This part of the research allowed a precise correlation between the seismic image and the lithological and facies changes within the Upper Jurassic succession, which in turn allowed a detailed interpretation of seismic profiles. Article I shows the results of structural- and stratigraphic interpretation of seismic data, which resulted in the identification of a number of carbonate buildups, together with the description of their geometries and current size. The total thickness of the particular structures might reach up to several hundred meters; the lateral extent of carbonate buildup complexes varies from at least a few hundred meters to 1km. The analysis of seismic data revealed that main elements of depositional architecture of the Upper Jurassic succession in the Miechów Trough are large carbonate buildups and intra- or inter-buildup areas (sub-basins) of well-stratified deposits located among them. These observations indicate the similarity of the Upper Jurassic succession in the central Miechów Trough to the well-documented system known from the outcrops in the adjacent area of Kraków-Częstochowa Upland in which the carbonate buildups (represented by massive limestones) are surrounded by intra- or interbiohermal basins (where bedded limestones prevailed).

The second article entitled 'Seismic Characteristics and Development of the Upper Jurassic Carbonate Buildups from the Miechów Trough (Southern Poland)' (herein called article II) presents the second part of the results, which is a continuation of the research presented in the first publication. Seismic facies analysis and seismic attribute analysis allowed for more detailed description of the Upper Jurassic depositional architecture. The four characteristic seismic facies have been identified (A–bedded, B–mound-shaped, C–contorted-chaotic, D–chaotic), and were correlated with the main elements of the Upper Jurassic depositional system (which are well-documented from the outcrops in the adjacent areas). The results show that seismic facies B and C are related to massive limestones that formed carbonate buildups. Seismic facies A represent bedded limestones of the intra- or inter-buildup sub-basins, and seismic facies D can be associated with deposits of gravity mass-flows or talus sediments. The publication proposes a generalized, depositional model for the Upper Jurassic succession, including the stages of initiation, development and decay of the carbonate buildups. The article presents a map of detailed distribution of carbonate buildups and potential interbiohermal sub-basins in the vicinity of Pińczów. Also, the role of differential compaction of carbonate sediments was analyzed indicating two stages of compaction – the Late Jurassic and then in the Late Cretaceous. Both of them have influenced the geometry and depositional architecture within this part of the basin, and these effects can be clearly observed in the seismic image.

Results of this study improve the understanding of the spatial distribution of various elements of the Upper Jurassic depositional architecture in the central part of the Miechów Trough. The study provided additional insights into a lesser-known system of carbonate buildups in the Pińczów area. The geometry and size of these structures suggest that their evolution took place in similar sedimentary conditions as in the adjacent areas of the Late Jurassic basin (currently situated within the south-western margin of the Holy Cross Mountains and the Kraków-Częstochowa Upland). This study filled the gaps on the Late Jurassic paleogeography in southern and central Poland, indicating that distribution of carbonate buildups in this part of the basin was more extensive than previously proposed in the literature based mainly on outcrops studies. This proves that the appropriate paleobathymetrical, paleoenvironmental conditions, and other factors determining the initiation and development of organic buildups, have not only been limited to so far well-recognized zones – mostly associated with the outcrop areas – but seem to have also existed in other parts of the Late Jurassic basin in south-central Poland. The results of this work may be a good starting point for more detailed stratigraphical or sedimentological analyses of the Upper Jurassic succession in the study area; they can also be used in some regional studies dedicated to the Upper Jurassic rocks of southern and central Poland. The results obtained may be a good reference point for seismic interpretations of carbonate buildups in other sedimentary basins.