

Summary

In Poland, the Eastern European Craton (EEC) crust of Fennoscandian and Sarmatian affinity is concealed under a thick Phanerozoic platform cover. The exact character of the Paleoproterozoic suture between these two major crustal components still remains speculative. Most of the inferences regarding the architecture of the EEC crust rely on the results of the wide-angle reflection and refraction (WARR) soundings, which show a relatively simple structure with a typical three-layer cratonic crust. ION Geophysical PolandSPAN™ regional seismic programme data, acquired over the marginal part of the EEC in Poland, offered a unique opportunity to derive a detailed image of the deeper crust. The main scope of the thesis is to apply extended correlation processing to the PolandSPAN™ regional profiles in order to extend the nominal record length of the acquired data from 12 to 22 s (from ca. 30 to ca. 60 km of depth). To facilitate the processing scheme and the interpretation of the derived results, the machine learning tools are also adapted here to be used with seismic data.

In the thesis, a basic methodology is presented for processing reflection seismic data focused on enhancing deeper reflectivity. The processing workflow features a novel algorithm for automatic first break picking, which is described in great detail to show its superiority over the other single-channel machine learning-based solutions as well as the more conventional ones. Subsequently, the applicability of the unsupervised clustering algorithms is demonstrated for deriving a unified visual appearance of the seismic images. The clustered seismic sections not only highlight the crustal-scale reflection distributions better than the regular amplitude-based counterparts but also allow to conduct a comprehensive quantitative analysis of the reflectivity patterns.

In terms of the interpretation part, first, the investigation of the PolandSPAN™ profiles in NE Poland revealed reflectivity patterns associated with the Paleoproterozoic crust formed during the Svekofennian (Svekobaltic) orogeny. The mid- to lower-crustal part of these seismic sections is dominated by occurrence of two sets of structures, which are interpreted as a kilometre-scale ductile S-C' fabric associated with the interplay of foliation and shear bands. Second, the integration of the reprocessed PolandSPAN™ profiles in SE Poland with both magnetic and WARR data allowed to infer more about the nature of the contact zone between Sarmatia and Fennoscandia, which is defined here as a diffuse cryptic suture zone.

The complete reprocessing of the PolandSPAN™ survey provided unprecedented high-resolution imaging of the whole crust in the marginal part of the EEC. The application of the extended correlation techniques in combination with the customized coherency filtering and unsupervised learning allowed to reveal and trace deep tectonic features down to the Moho discontinuity and upper mantle. The outcomes

of this research contribute significantly to advance our understanding of geological processes in a large part of Poland.

Streszczenie w języku polskim

Podłoże krystaliczne platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski tworzą dwa bloki skorupowe: Fennoscandia i Sarmacja, zalegające pod miąższym nadkładem fanerozoicznej pokrywy osadowej. Charakter paleoproterozoicznego szwu oddzielającego te dwa komponenty skorupowe wciąż pozostaje nieznanym. Wiedza na temat budowy wnętrza platformy wschodnioeuropejskiej opiera się w głównej mierze na wynikach głębokich sondowań sejsmicznych, które ujawniły w tym rejonie stosunkowo prostą strukturę trzywarstwowej skorupy kratonicznej. Regionalny program badań sejsmicznych PolandSPAN™, zrealizowany przez firmę ION Geophysical w rejonie brzeżnej części platformy wschodnioeuropejskiej, stworzył unikalną szansę na uzyskanie szczegółowego obrazu głębokiej skorupy ziemskiej oraz możliwość jego skonfrontowania z wcześniejszymi badaniami. Głównym zakresem pracy była aplikacja metody poszerzonej korelacji do przetwarzania regionalnych profili sejsmicznych pochodzących z projektu PolandSPAN™, która pozwoliła na wydłużenie danych z 12 s (nominalnie) do 22 s, co w przybliżeniu przekłada się na głębokość około 60 km. Wśród poruszanych zagadnień badawczych znajdują się także przykłady adaptacji technik uczenia maszynowego do analizy danych sejsmicznych w celu usprawnienia sekwencji przetwarzania oraz interpretacji uzyskanych wyników.

W pracy zaprezentowano podstawowy schemat przetwarzania refleksyjnych danych sejsmicznych ukierunkowany na zwiększenie widoczności głębokiej refleksyjności. Schemat ten uwzględnia również autorski algorytm do automatycznego znakowania pierwszych wstąpień, któremu poświęcono sporo uwagi w pracy dla zobrazowania jego wyższości nad pozostałymi jednokanałowymi rozwiązaniami opartymi na idei uczenia maszynowego, jak również nad konwencjonalnymi narzędziami. W dalszej kolejności zademonstrowano aplikację nienadzorowanych (unsupervised) algorytmów do analizy skupień (clusters) na potrzeby opracowania zunifikowanej wizualizacji sekcji sejsmicznych. Sekcje sejsmiczne poddane klasteryzacji nie tylko efektywniej uwidaczniają rozkład refleksów skorupowych w zestawieniu ze standardowymi sekcjami amplitudowymi, ale także umożliwiają przeprowadzenie kompleksowej analizy ilościowej obserwowanej refleksyjności.

Część interpretacyjna pracy, w pierwszej kolejności omawia obrazy sejsmiczne otrzymane wzdłuż profili PolandSPAN™ zlokalizowanych w północnowschodniej Polsce, które ujawniły charakter refleksyjności typowy dla paleoproterozoicznej skorupy ziemskiej o sfekofeńskim wieku konsolidacji. Obrazy sejsmiczne wzdłuż tych profili wykazują zdominowanie środkowej i dolnej części skorupy przez dwa rodzaje struktur będących efektem oddziaływania przesuwczej strefy ścinania oraz foliacji. Następnie, integracja przetworzonych profili PolandSPAN™ z południowowschodniej Polski z wynikami głębokich sondowań sejsmicznych oraz anomaliami pola magnetycznego pozwoliły na zaproponowanie nowej interpretacji dotyczącej natury strefy kontaktu pomiędzy Fennoskandią a Sarmacją, którą definiuje się w niniejszej

pracy jako szeroką strefę zdeformowanego szwu kontynentalnego.

Kompleksowe przetworzenie danych PolandSPAN™ umożliwiło bezprecedensowe wysokorozdzielcze zobrazowanie pełnej skorupy ziemskiej w rejonie brzeżnej części platformy wschodnioeuropejskiej. Zastosowanie metody poszerzonej korelacji w połączeniu z nowatorską techniką poprawy koherencji sygnału oraz nienadzorowanego uczenia maszynowego pozwoliło na ujawnienie oraz śledzenie struktur tektonicznych do głębokości występowania strefy nieciągłości Moho i górnego płaszcza ziemskiego. Wyniki niniejszych badań wnoszą znaczący wkład w rozwój naszej wiedzy na temat procesów geologicznych na terenie Polski.