WYPRAWY I PROGRAMY BADAWCZE

Wojciech Czuba, Tymon Skrzynik, Tomasz Janik, Jarosław Grzyb
Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk
ul. Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa
wojt@igf.edu.pl

SEJSMICZNE BADANIA GEODYNAMICZNE INSTYTUTU GEOFIZYKI PAN W REJONIE SVALBARDU

Archipelag Svalbard i Morze Barentsa położone są w północno-zachodnim skraju euroazjatyckiej płyty kontynentalnej ograniczonej od zachodu pasywną krawędzią kontynentalną (ryc. 1). Spitsbergen jest główną wyspą archipelagu. Region położony dalej na zachód od krawędzi kontynentalnej, jako najmłodszy obszar północnego Atlantyku i Morza Arktycznego, jest kluczowym obszarem dla zrozumienia regionalnej ewolucji tektonicznej. Ryftowanie i towarzyszące mu procesy rozszerzania się dna oceanicznego (spreading), w północnej części Oceanu Atlantyckiego, oraz rozwój oceanicznej strefy spękań (uskoków transformujących) wraz z pasywną krawędzią kontynentalną płyty Morza Barentsa tworzą system, w którym zachodzą procesy kształtujące w tym rejonie współczesne oblicze Ziemi. Oś spreadingu w północnym Atlantyku tworzy asymetryczny, ultrapowolny Grzbiet Knipowicza będący częścią Grzbietu Śródatlantyckiego.

Pasywna krawędź kontynentalna w rejonie archipelagu Svalbard jest badana metodami geofizycznymi od wielu lat, głównie w oparciu o sejsmiczne badania refleksyjne, pomiary grawimetryczne i geomagnetyczne. Granica pomiędzy płytami kontynentalną i oceaniczną w regionie pomiędzy Svalbardem na północy i Skandynawią na południu została stosunkowo dobrze poznana przy użyciu sejsmiki refleksyjnej (patrz np. Gabrielsen i in. 1990; Faleide i in. 2008). Badania te dostarczyły jednak ograniczonych informacji na temat podłoża krystalicznego i głębokiej struktury skorupy ziemskiej w tym obszarze.

Głębokie sondowania sejsmiczne z wykorzystaniem technik refrakcyjnych dostarczają zwykle głębszych informacji na temat podłoża krystalicznego i granicy skorupa-płaszcz (np. Mjelde i in. 2002; Davydova i in. 1985; Faleide i in. 1991; Ljones i in. 2004). Pozwalają one uzyskać istotną wiedzę na temat struktury litosfery, tektoniki w makroskali, a także dynamiki warstw osadowych i ich ewentualnego potencjału eksploracji węglowodorów.

Zakład Sejsmicznych Badań Litosfery Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk zajmuje się głębokimi sondowaniami sejsmicznymi od wielu lat. Jednym z obszarów badań polarnych Zakładu jest rejon Svalbardu i Morza

Barentsa. Poczynając od 1976 roku, a następnie w 1978 (Sellevoll i in., 1991), 1985 (Czuba i in. 1999) i 1999 (Jokat i in. 2000; Ritzmann i in. 2004; Czuba i in. 2005) kilka projektów tego rodzaju (ryc. 1) zostało zrealizowanych we współpracy międzynarodowej. W 2005 roku kilkusetkilometrowy profil głębokich sondowań sejsmicznych zrealizowano w południowej części archipelagu Svalbard. Był to wstęp do dużego międzynarodowego projektu „IPY Plate Tectonics and Polar Gateways" ściśle związanego z Międzynarodowym Rokiem Polarnym (Czuba i in. 2008; Krysiński i in. 2013). Rejon Wyspy Niedźwiedziej był przedmiotem badań w 2008 roku (Czuba i in. 2011). Wyniki tych projektów pokazujące zmienność charakteru struktury pasywnej krawędzi kontynentalnej w rejonie zachodniego Svalbardu i Morza Barentsa. zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach.

W 2016 roku rozpoczęliśmy we współpracy z Alfred Wegener Institute realizację projektu KNIPAS (Knipovich Ridge passive seismic experiment). Podczas jesiennego rejsu statku RV „Horyzont II" posadowiliśmy na dnie 5 oceanicznych szerokopasmowych stacji sejsmicznych, tzw. OBS (Ocean Bottom Seismometer), uzupełniających system pomiarowy złożony z 23 niemieckich OBS-ów (ryc. 2). Nasze urządzenia umieściliśmy na dnie oceanicznym na głębokościach 2000–2700 m. Na ryc. 3 zamieszczone są zdjęcia z pokładu statku podczas ustawiania OBS-ów. Dzięki komunikacji akustycznej mogliśmy metodą triangulacji określić dokładnie współrzędne geograficzne OBS-ów po ich swobodnym opadnięciu na dno.

Celem projektu jest zbadanie metodami sejsmiki pasywnej centrum magmowego Logachev Seamount ultrapowolnego Grzbietu Knipowicza. Do lipca 2017 roku były rejestrowane naturalne trzęsienia Ziemi ze szczególnym uwzględnieniem wstrząsów lokalnych pochodzących z Grzbietu Knipowicza, które generowane są podczas ruchów magmy w obserwowanym centrum spreadingu.

Podczas tego samego rejsu RV „Horyzont II" nasza ekipa zeszła na ląd w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund, gdzie wykonała płytki profil sejsmiczny będący testem przed szerzej zakrojonym projektem badań wiecznej zmarzliny w latach 2017-2018. Źródłem fal sejsmicznych były wielokrotne uderzenia ręcznego młotka, o wadze 6 kg, wzdłuż założonej linii pomiarowej. Moment uderzenia był rejestrowany w laptopie synchronizowanym z odbiornikiem GPS. Energia sejsmiczna była rejestrowana przez 12 lądowych polowych krótkookresowych stacji sejsmicznych typu DATA-CUBE (ryc. 4).

W lipcu roku 2017 nasza ekipa ponownie znalazła się w rejonie badań, tym razem na pokładzie RV „Oceanii". Bez problemów odzyskano 3 stacje, które następnie zostały w Longyearbyen przejęte przez RV „Horyzont II". Dwie stacje

OBS niestety nie zareagowały na sygnały akustyczne polecające wypłynięcie na powierzchnię. W rejsie jesiennym 2017 r. „RV Horyzont II” ponownie znalazł się w rejonie posadowienia OBS-ów, kiedy to stacje powinny podjąć zaprogramowaną awaryjną próbę wynurzenia. Niestety i ta próba nie powiodła się. Naszych stacji nie udało się odnaleźć. Ostatnim etapem prac pomiarowych było wykonanie przez ekipę niemiecką aktywnych sondowań sejsmicznych centrum magmowego Logachev Seamount wzdłuż założonych linii. Użyto „airgunów”, urządzeń będących sztucznymi źródłami fal sejsmicznych wykorzystującymi energię sprężonego powietrza. W październiku 2017 statek AWI zakończył kampanię pomiarową projektu KNIPAS. Na podstawie otrzymanych sekcji sejsmicznych, stosując metody modelowania sejsmicznego, w tym tomografię, zostanie określona struktura skorupy ziemskiej w tym rejonie.

Dalszym uzupełnieniem projektu pasywnego będzie wykonanie planowanego w niedalekiej przyszłości profilu głębokich sondowań sejsmicznych. Przewidywany na rok 2019 projekt nosi tytuł „Struktura Grzbietu Knipowicza na podstawie badań sejsmicznych (KNIPSEIS)”. Wezmą w nim udział co najmniej zespoły badawcze z Norwegii oraz Polski dysponujące stacjami typu OBS. Celem badań jest określenie modeli sejsmicznych struktury skorupy ziemskiej i górnego płaszcza w rejonie młodego grzbietu śródoceanicznego. Badania skoncentrują się wokół aktywnego centrum magmowego na obszarze ryftu Grzbietu Knipowicza, na zachód od archipelagu Svalbard oraz strefy przejścia między skorupą oceaniczną a kontynentalną Morza Barentsa (ryc. 1, żółty pasek). Jest to przedłużenie wcześniej wykonanego profilu (Hermann i Jokat 2013). Pomoże to wyjaśnić związek procesów magmowych z występowaniem trzęsień ziemi w pobliżu archipelagu Svalbard. Wyniki proponowanych badań poszerzą naszą wiedzę o rozwoju Oceanu Atlantyckiego, Morza Barentsa, Svalbardu i Grenlandii w szczególności, a w szerszej perspektywie, powiększą naszą wiedzę na temat rozwoju Ziemi, jak i innych planet.

Oczekiwanym rezultatem eksperymentów KNIPAS i KNIPSEIS będą sekcje oraz modele sejsmiczne przecinające Grzbiet Knipowicza wraz z doliną aktywnego ryftu. Studia obejmą tektoniczną historię otwierania się dna morskiego i współczesnej kinematyki płyt tektonicznych, czyli procesu przyrastania płyty oceanicznej i wpływu tych zmian na strefę kontaktu płyty oceanicznej z kontynentalną w rejonie archipelagu Svalbard. Pozwoli to opracować nowe wnioski geotektoniczne, istotne dla badania ewolucji całego Oceanu Atlantyckiego. Dane zarejestrowane podczas realizacji tych projektów mogą być także wykorzystane w petrologii, wulkanologii, oceanografii, a nawet w biologii morza.

Tematyka projektu nawiązuje do programu Europejskiej Rady Polarnej (European Polar Board) oraz do Programu HORIZON 2020 Annex 4, rozdział: Environmental and Earth Sciences (Research infrastructures for terrestrial research in the Arctic).

Podziękowania. *Dziękujemy kapitanom i załogom statków RV „Horyzont II" oraz „RV Oceania" za nieocenione wsparcie podczas operacji morskich. Praca ta jest częściowo finansowana w ramach działań statutowych No 3841/E-41/S/2017 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Polski. Publikacja jest częściowo finansowana ze środków Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego otrzymanych przez Centrum Studiów Polarnych na okres 2014-2018.*

Literatura

CZUBA W., GRAD M., GUTERCH A. 1999. Crustal structure of north-western Spitsbergen from DSS measurements. *Polish Polar Research* 20(2): 131–148.

CZUBA W., RITZMANN O., NISHIMURA Y., GRAD M., MJELDE R., GUTERCH A., JOKAT W. 2005. Crustal structure of northern Spitsbergen along the deep seismic transect between the Molloy Deep and Nordaustlandet. *Geophysical Journal International* 161: 347–364.

CZUBA W., GRAD M., GUTERCH A., MAJDAŃSKI M., MALINOWSKI M., MJELDE R., MOSKALIK M., ŚRODA P., WILDE-PIÓRKO M., NISHIMURA Y. 2008. Seismic crustal structure along the deep transect Horsted'05, Svalbard. *Polish Polar Research* 29 (3): 279 –290.

CZUBA W., GRAD M., MJELDE R., GUTERCH A., LIBAK A., KRÜGER F., MURAI Y., SCHWEITZER J., THE IPY PROJECT GROUP 2011. Continent-ocean-transition across a trans-tensional margin segment: off Bear Island, Barents Sea. *Geophysical Journal International* 184: 541–554 DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04873.x

DAVYDOVA N.I., PAVLENKOVA N.I., TULINA YU.V., ZVEREV S.M. 1985. Crustal structure of the Barents Sea from seismic data. *Tectonophysics* 114: 213–231.

FALEIDE JI, GUDLAUGSSON S.T., ELDHOLM O, MYHRE A.M., JACKSON H.R. 1991 Deep seismic transects across the western Barents Sea continental margin. *Tectonophysics* 189: 73–89.

FALEIDE J.I., TSIKALAS F., BREIVIK A.J., MJELDE R., RITZMANN O., ENGEN Ø., WILSON J., ELDHOLM O. 2008. Structure and evolution of the continental margin off Norway and the Barents Sea. *Episodes* 31(1): 82–91.

GABRIELSEN R.H., FÆRSETH R.B., JENSEN L.N., KALHEIM J.E., RIIS F. 1990. Structural elements of the Norwegian continental shelf, Part I: The Barents Sea Region. *NPD-Bulletin* 6: 1–33, Oljedirektoratet.

HERMANN T., JOKAT W. 2013. Crustal structures of the Boreas Basin and the Knipovich Ridge, North Atlantic. *Geophysical Journal International* 193: 1399–1414, doi: 10.1093/gji/ggt048.

JOKAT W., CZUBA W., DZEWAS J., EHRHARDT A., GIERLICHS A., KÜHN D., MARTENS H., LENSCH N., NICOLAUS M., NISHIMURA Y., RITZMANN O., SCHMIDT-AURSCH M., ŚRODA P., WILDEBOER-SCHUT E. 2000. Marine Geophysics, [w:] JOKAT W. (red) The Expedition ARKTIS-XV/2 of "Polarstern" 1999. *Berichte zur Polarforschung* 368: 8–26,

KRYSIŃSKI L., GRAD M., MJELDE R., CZUBA W. and GUTERCH A. 2013. Seismic and density structure of the lithosphere−asthenosphere system along transect Knipovich Ridge−Spitsbergen−Barents Sea – geological and petrophysical implications. *Polish Polar Research* 34(2): 111–138, doi: 10.2478/popore-2013-0011.

LJONES F., KUWANO A., MJELDE R., BREIVIK A., SHIMAMURA H., MURAI Y., NISHIMURA Y. 2004. Crustal transect from the North Atlantic Knipovich Ridge to the Svalbard Margin west of Hornsund. *Tectonophysics* 378: 17–41.

MJELDE R., BREIVIK A.J., ELSTAD H., RYSETH A.E., SKILBREI J.R., OPSAL R.R., SHIMAMURA H., MURAI Y., NISHIMURA Y. 2002. Geological development of the Sørvestsnaget Basin,

SW Barents Sea, from ocean bottom seismic, surface seismic and potential field data. *Norwegian Journal of Geology* 82: 183–202.

RITZMANN O., JOKAT W., CZUBA W., GUTERCH A., MJELDE R., NISHIMURA Y. 2004. A deep seismic transect in northwestern Svalbard at Kongsfjorden (Ny Ålesund) and the implications for the Cenozoic break-up from Greenland: A sheared margin study, *Geophysical Journal International* 157: 683–702.

SELLEVOLL M.A., DUDA S.J., GUTERCH A., PAJCHEL J., PERCHUĆ E., THYSSEN F. 1991. Crustal structure in the Svalbard region from seismic measurements. *Tectonophysics* 189: 55–71.

Fotografie dostępne na płycie CD

ryc. 1. Przybliżona lokalizacja planowanego profilu sejsmicznego (żółty pasek) na przedłużeniu już wykonanego profilu niemieckiego (szary pasek ze strzałką) (Hermann i Jokat 2013) wraz z mapą wcześniej wykonanych profili sejsmicznych z udziałem Instytutu Geofizyki PAN (1976-2008) w strefie przejścia ocean-kontynent w rejonie zachodniego Svalbardu i Morza Barentsa, na tle topografii i batymetrii z głównymi elementami tektonicznymi. Czerwony prostokąt – obszar badań pasywnych KNIPAS. Gwiazdki i trójkąty – odbiorniki, cienkie linie i kropki – odpowiednio źródła typu airgun i chemiczne (TNT). HFZ – Hovgård Fracture Zone, MFZ – Molloy Fault Zone, MR – Molloy Ridge, SFZ – Spitsbergen Fault Zone.

ryc. 2. Szczegółowa batymetria w obszarze badań wokół Grzbietu Knipowicza wraz z pozycjami stacji OBS: fioletowe – niemieckie; żółte - polskie.

ryc. 3. Przykładowe zdjęcia z pokładu statku podczas instalacji OBSów.

ryc. 4. Generacja fal sejsmicznych podczas pomiarów lądowych.

Piotr Dolnicki
Kierownik XXXVI Wyprawy Polarnej PAN na Spitsbergen
Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie
Instytut Geografii
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków

XXXVI WYPRAWA POLARNA PAN (2013-2014) DO POLSKIEJ STACJI POLARNEJ IM. STANISŁAWA SIEDLECKIEGO W HORNSUNDZIE

Uczestnicy XXXVI Wyprawy Polarnej PAN dotarli w dwóch etapach do Polskiej Stacji Polarnej im. Stanisława Siedleckiego, położonej nad brzegiem Zatoki Białego Niedźwiedzia w południowej części Spitsbergenu. Grupa letnia (techniczna wraz z kucharzem) przyleciała samolotem do Longyearbyen, zaś drogę morską od stolicy Svalbardu do Hornsundu przebyła na pokładzie jachtu „Eltanin", którego kapitanem w tym sezonie był Jarosław Czyżek. Niestety już pierwszy etap podróży grupy letniej zapisał się smutnym wydarzeniem dla całej XXXVI Wyprawy. Nasz kolega, kierownik grupy technicznej Wiesław Kołodziejski zmarł w Longyearbyen. Stało się to podczas jego pierwszego, długo wyczekiwanego spaceru po arktycznej ziemi. Wiesiek brał udział w licznych wyprawach polarnych do Stacji im H. Arctowskiego, pracował także na Pustyni