

Proterozoiczne podłoże krystaliczne polskiej części Bałtyku w świetle badań strukturalnych

Zbigniew Cymerman¹



A structural study of the Precambrian crystalline basement in the Polish sector of the Baltic Sea. Prz.Geol., 63: 228–238

Abstract. This paper presents structural data and regional correlations based on drill cores from 8 boreholes (B2-1/80, B3-1/81, B4-1/81, B6-1/82, B6-2/85, B7-1/91, B16-1/85 and B21-1/95) penetrating Precambrian crystalline rocks in the Polish part of the Baltic Sea. The crystalline rocks from the from these boreholes were compared to cores from several wells in Eastern Pomerania, and the Kashubian and Warmia regions and above all with the Mesoproterozoic granitoids and metamorphic rocks of Bornholm and Southern Sweden. The pre-existing basement map of the Southern Baltic, showing Palaeoproterozoic or even Archaean granitoid massifs and narrow north-south fold belts is questioned. Instead, in the present interpretation, the studied area of the Polish part of the Southern Baltic Sea is underlain by a fragment of the Mesoproterozoic (ca. 1.47–1.43 Ga) Danopolonian („Hallandian”) orogeny, comprising mainly regional-scale ductile shear zones, which, striking probably in W–E to WNW–ESE directions, are characterized by the predominance of a thrust to transpressional strain regime with tectonic transport top-to-the S or SSW. The structural kinematic and lithological interpretations of these shear zones are based on comparison with the other parts of the East European Craton that are exposed in Bornholm and the Blekinge and Skåne regions in Southern Sweden.

Keywords: crystalline rocks, tectonic structures, boreholes, Danopolonian orogeny, East European Craton, Southern Baltic Sea

Dziesięć lat temu w Przeglądzie Geologicznym (Prz. Geol., 52: 593–602) przedstawiono wyniki badań strukturalnych z Bornholmu (Cymerman, 2004a), gdzie odsłaniają się prekambryjskie skały krystaliczne kratonu wschodnioeuropejskiego (*East European Craton* – EEC) (np. Berthelsen, 1989; Gravesen, 1996; Obst i in., 2004; Zariņš & Johansson, 2009; Waight i in., 2012). W efekcie, na Bornholmie rozpoznano liczne strefy ścinania podatnego, ustalono kierunek zwrotu transportu tektonicznego, a także charakter deformacji skał krystalicznych (Cymerman, 2004a). Wyniki tej analizy odniesiono do danych z archiwalnych otworów wiertniczych z Pomorza Wschodniego i Kaszub (Cymerman, 2004a, b). Badania porównawcze pozwoliły pośrednio określić charakter protolitu skał metamorficznych odsłoniętych w południowej części tarczy bałtyckiej, a także przedstawić nowy model rozwoju podłoża prekambryjskiego na Pomorzu Wschodnim i Kaszubach (*op. cit.*). Jednak nie obejmowały one analizy rdzeni wiertniczych z otworów wykonanych w polskiej części strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego (ryc. 1, 2). Dlatego głównym celem niniejszego artykułu jest dostarczenie brakujących danych strukturalnych ze wspomnianej części Morza Bałtyckiego. Było to możliwe w wyniku zbadania w 2006 r. materiału wiertniczego z 8 otworów firmy „Petrobaltic” (ryc. 1, 2; tab. 1). Rdzenie z tych otworów są przechowywane w magazynie Przedsiębiorstwa Poszukiwań i Eksploatacji Złóż Ropy i Gazu „Petrobaltic” Sp. z o.o. w Gdańsku – Starym Dworze (od 2010 r. – jako LOTOS Petrobaltic S.A.).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ PODŁOŻA KRYSTALICZNEGO POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU

Budowa geologiczna podłoża krystalicznego południowego Bałtyku nie była znana do połowy lat 70. ubiegłego

wieku. Dopiero Dąbrowski i Uhrynowski (1976) przedstawili pierwszą, schematyczną mapę podłoża krystalicznego południowego Bałtyku, opartą na interpretacji obrazu magnetycznego. Dane magnetyczne wykorzystali do próby kartograficznego zróżnicowania litologicznego podłoża krystalicznego EEC. Przyjęli oni, że dominujące na południowym Bałtyku obszary pozbawione lokalnych anomalii magnetycznych odpowiadają strefom granitoidów o małej podatności magnetycznej. Natomiast owalne lub wrzecionowate w formie, dodatnie anomalie magnetyczne miałyby wskazywać na domeny skał metamorficznych (*op. cit.*).

Ryka (1993, 1995) ten schematyczny obraz kartograficzny uszczegółowił o dane petrograficzne z nielicznych otworów. Założył on (1993), że na Bałtyku występują granitoidy paleoproterozoiczne, a w części południowo-wschodniej i północno-wschodniej – granitoidy podobne do rapakiwi, te ostatnie stanowiąc miały kontynuację transskandynawskiego pasma granitowego o wieku 1,81–1,75 mld lat (np. Kornfölt & Vaasjoki, 1999). W 1995 r. Ryka ograniczył występowanie granitoidów rapakiwi jedynie do obszaru Zatoki Gdańskiej. Na północ od Rozewia, tj. na Mierzei Helskiej, przebiegać miała południkowa, preswekofenno-karelska strefa fałdowa z enderbitami i gnejsami piroksenowymi, jako kontynuacja tzw. kompleksu kaszubskiego (Kubicki & Ryka, 1982). „Gotyjski” wiek charnokityzacji, migmatytyzacji i anateksis tłumaczono quasi-orogenezą hallandzką (*sensu* Hubbard, 1975; Ryka, 1993, 1995).

Niestety, w przeciwieństwie do sąsiednich państw, od prawie 20 lat nie opublikowano żadnych danych na temat krystalicznego podłoża polskiej części Bałtyku. Na terenie południowego Bałtyku podłoże krystaliczne odsłania się na Bornholmie. Zariņš i Johansson (2009) oraz Waight i in. (2012) nie stwierdzili swekofeńskiego podłoża na Bornholmie, ani żadnych dowodów na jego przeobrażenie

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław; zbigniew.cymerman@pgi.gov.pl.

Tab. 1. Podstawowe dane o otworach wiertniczych z południowej części Morza Bałtyckiego (polska strefa ekonomiczna)
Table 1. Basic borehole data from the southern part of the Baltic Sea (Polish Exclusive Economic Zone)

Nazwa otworu (rok wiercenia) <i>Borehole name (year of drilling)</i>	Wysokość stołu wiertniczy <i>Well table elevation</i>	Głębokość stropu krystaliniku <i>Depth to the top of crystalline rocks</i>	Głębokość zakończenia otworu <i>Total well depth</i>	Mięższość krystaliniku <i>Thickness of the crystalline rocks</i>	Głębokość odcinka rdzeniowanego <i>Drill core interval depth</i>	Mięższość zachowanego rdzenia w skrzy- niach ze skałami krystalicznymi <i>Thickness of preserved core of crystalline rocks in well boxes</i>
–	[m n.p.m.] [m a.s.l.]	[m] [m p.p.m.] [m] [m b.s.l.]	[m] [m p.p.m.] [m] [m b.s.l.]	[m] [m]	[m] [m p.p.m.] [m] [m b.s.l.]	[m] (ilość skrzynek) [m] (number of boxes)
B2-1/80 (1980)	26,4	2907,0 2880,6	2944,0 2917,6	37,0	2940,0–2944,0 [2913,6–2917,6]	2,8 (3 skrzynki) / (3 boxes)
B3-1/81 (1981)	27,0	1733,5 1706,5	1790,0 1763,0	56,5	1738,5–1741,9 1767,2–1773,0 [1682,0–1685,4] [1710,7–1716,5]	1,5 1,6 (4 skrzynki – połówki i ćwiartki) (4 boxes – drill core halves and quadrants)
B4-1/81 (1981)	26,3	1452,5 1426,2	1507,0 1480,7	54,5	1502,7–1507,0 [1476,4–1480,7]	3,2 (4 skrzynki) / (4 boxes)
B5-1/01 (2001)	27,0	2263,0 2236,0	2288,0 2261,0	25,0	2267,0–2267,9 2284,0–2288,0 [2240,0–2240,9] [2257,0–2261,0]	0,9 4,0 wg opisu: Domżański i in. (2002) (description is available in Domżański et al. 2002)
B6-1/82 (1982)	28,4	1831,5 1803,1	1868,9 1840,5	37,4	1865,0–1868,9 [1836,6–1840,5]	3,1 (4 skrzynki) / (4 boxes)
B6-2/85 (1985)	28,5	1831,0 1802,5	1860,0 1831,5	29,0	1857,0–1860,0 [1828,5–1831,5]	2,4 (3 skrzynki) / (3 boxes)
B7-1/91 (1991)	26,0	2681,5 2655,5	2739,0 2713,0	57,5	2732,0–2739,0 [2706,0–2713,0]	2,5 (3 skrzynki) / (3 boxes)
B8-1/83 (1983)	27,0	2501,0 2474,0	2550,5 2523,5	49,5	2547,0–2550,5 [2520,0–2523,5]	brak skrzyń; nie zbadany lack of boxes; not examined
B16-1/85 (1985)	28,1	2408,5 2380,4	2431,0 2402,9	22,5	2427,0–2431,0 [2398,9–2402,9]	3,2 (4 skrzynki) / (4 boxes)

podczas młodszych wielkoskalowych zjawisk tektonicznych. Bogdanova i in. (2008) oraz Waight i in. (2012) sugerowali, że magmatyzm mezoproterozoiczny (ok. 1,45 mld lat) był związany z deformacjami niekoaksjalnymi i ścinaniem wzdłuż wielkoskalowych stref ścinania o biegach w kierunku E–W do NW–SE. Takie strefy zwykle są łączne z rozwojem syntektonicznych granitoidów. Synchroniczność deformacji i magmatyzmu może być charakterystyczna dla przynajmniej części podłoża krystalicznego południowego Bałtyku, o czym świadczą dane z Bornholmu (*op. cit.*). Granitoidy Bornholmu oparte na diagramach dyskryminacyjnych wskazują na ich klasyfikację jako typ A lub granity wewnątrzpłytkowe (np. Obst i in., 2004), co prowadzi do ich rozpatrywania jako granitoidy anorogeniczne. W rzeczywistości jednak, ich pozycja tektoniczna wskazuje na ich synkinematyczny rozwój (Čečys & Benn, 2007).

DANE LITOLOGICZNE I STRUKTURALNE Z OTWORÓW W POLSKIEJ CZĘŚCI EKONOMICZNEJ MORZA BAŁTYCKIEGO

Od 1980 r. wykonano w polskiej części ekonomicznej Morza Bałtyckiego 13 otworów (ryc. 2), dzięki którym odkryto niewielkie fragmenty prekambryjskiego podłoża krystalicznego EEC (Ryka, 1993; 1995; Domżański i in., 2002; Pokorski, 2010). Spośród nich zbadano, pod kątem

strukturalnym i kinematycznym, rdzenie wiertnicze z 8 otworów: B2-1/80, B3-1/81, B4-1/81, B6-1/82, B6-2/85, B7-1/91, B16-1/85 i B21-1/95 (ryc. 2; tab. 1). Poniżej przedstawiono ich charakterystyki strukturalne i litologiczne oraz dokonano próby ich korelacji litostratygraficznych z sąsiednimi terenami (tab. 2). Prekambryjskie podłoże krystaliczne w polskiej strefie Morza Bałtyckiego nawiercono na głębokości od ponad 1400 m p.p.m. (otwór B4-1) do prawie 2900 m p.p.m. (otwór B2-1). Ku południowi podłoże to zanurza się coraz głębiej i na lądzie w otworze Żarnowiec IG 1 znajduje się na głębokości ponad 3200 m p.p.m.

Otwór B2-1/80 był pierwszym wierceniem w polskiej części Bałtyku (ryc. 2; tab. 1). Z tego otworu jest zachowanych około 2,8 m rdzenia z amfibolitami laminowanymi i gnejsami amfibolowymi (tab. 2; ryc. 3A). Ryka (1993) zaliczył je do pasma gnejsów i amfibolitów, choć na podstawie analiz chemicznych sklasyfikowano je jako enderbity, później włączył je do pasa granulitów i enderbitów (Ryka, 1995). Litologicznie mogą być one korelowane z gnejsami amfibolowymi i amfibolitami z otworu Żarnowiec IG 1.

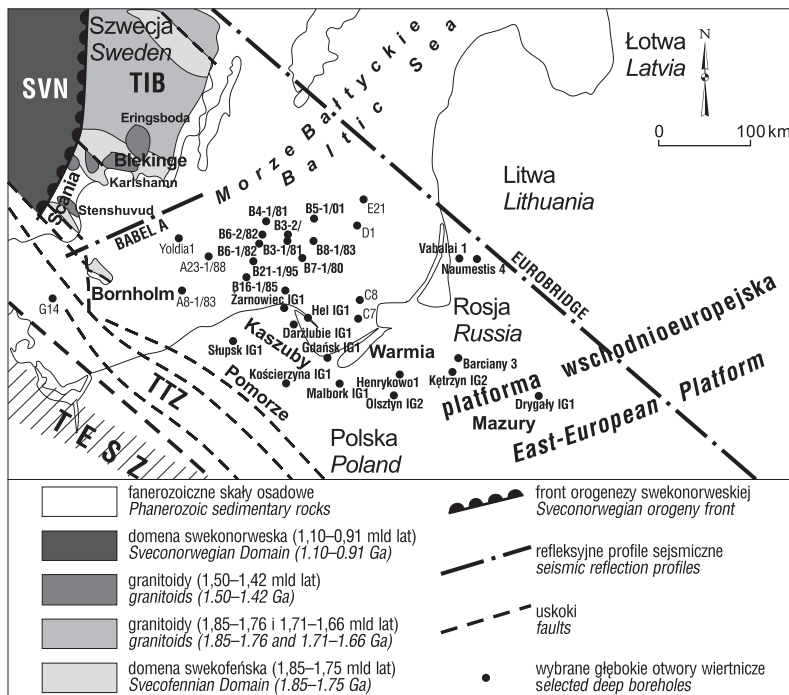
W otworze tym jest dobre wykształcona foliacja mylonityczna S_M typu S-C oraz silnie zrekrystalizowana lineacja ziarna mineralnego L_M , nachylona pod kątem ok. 60–75° na powierzchniach C zapadających pod bardzo stromymi kątami. Wskaźniki ścinania prostego, głównie struktury mylonityczne typu S-C, porfiroklasty typu σ , skośność

więzby i „rybie miki” dokumentują nasuwczy reżim deformacji w warunkach podatnych.

W otworze B3-1/81 (ryc. 2), który znajduje się na terenie złoża ropy naftowej B3 (Kotarba, 2010), rdzeniowano

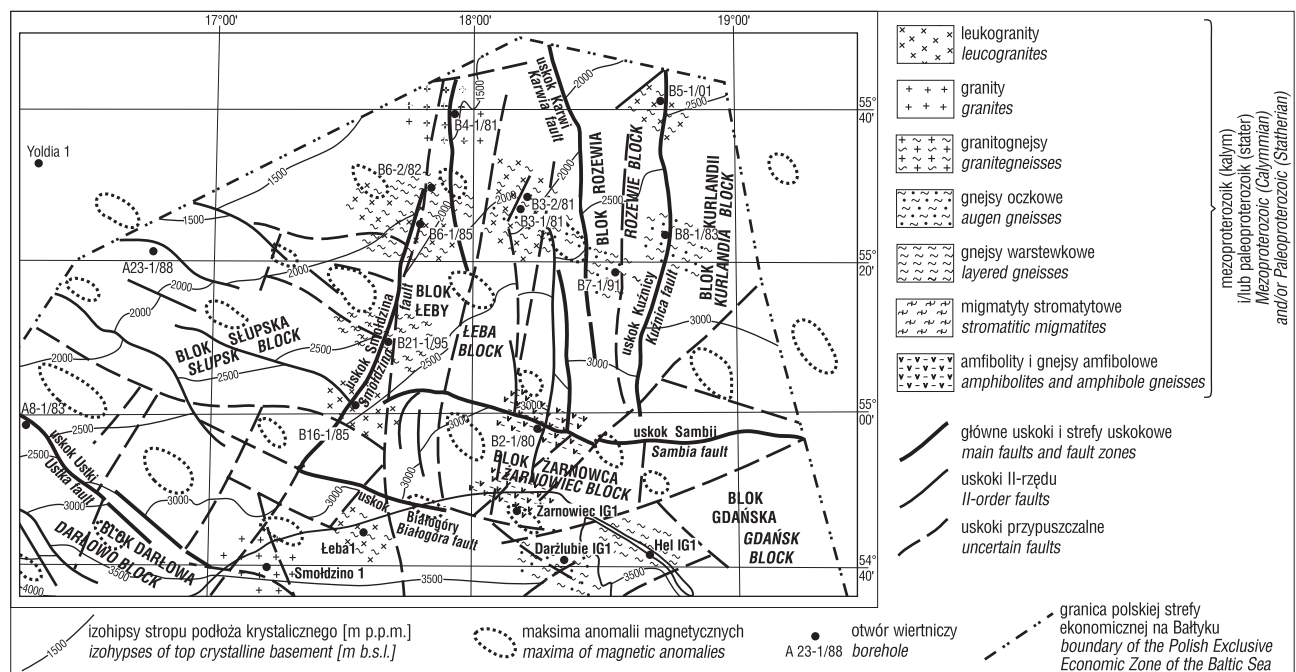
dwa odcinki: 1738,5–1741,9 m i 1767,2–1773,0 m (tab. 1). W pierwszym interwale występują szare, drobnokrystaliczne granitoidy (tonality, ewentualnie enderbity?) (ryc. 3B). Megaskopowo przypominają one tonality Rønne z Bornholmu (Zarińś & Johansson, 2009) i enderbity z otworu Kościerzyna IG 1. W drugim interwale są zachowane grubokrystaliczne granitognejsy (blasto-mylonity) (ryc. 3C). Można je korelować z granitognejsami z otworu Henrykowo 1 i częściowo z otworu Żarnowiec IG 1 (Cymerman, 2004b), a także z czerwonymi ortognejsami z Bornholmu (Zarińś & Johansson, 2009) i heteroklastycznym protomylonitem typu 3 granitoidu Karlshamn z Blekinge (Čečys, 2004; Čečys & Benn, 2007). Ryka (1993) zaliczył je do pasma gnejsów i łupków krystalicznych, ale potem włączył je do nierozdzielonych granulitów i enderbitów (Ryka, 1995).

Z elementów strukturalnych dominuje foliacja mylonityczna S_M typu S-C, dobrze wyrażona w licznych strefach ścinania podatnego (tab. 3). Foliacja S_M jest prawdopodobnie nałożona współplanarnie na pierwotną foliacją magmową S_0 . Silnie zrekrytalizowana lineacja ziarna mineralnego L_M jest na ogół nachylona pod kątem ok. 40° na powierzchniach ścinania C, o kątach upadu ok. 40° . Powierzchnie S zapadają pod kątami ok. $20-25^\circ$. Obserwacje mikroskopowe na orientowanych płytkach cienkich, w przekroju prostopadłym do foliacji S_M i równoległym do lineacji L_M , z różnymi typami wskaźników kinematycznych dokumentują złożone reżimy deformacji, od dominującego ekstensyjnego



Ryc. 1. Schematyczny szkic tektoniczny południowej części Morza Bałtyckiego z lokalizacją wybranych otworów wiertniczych (Cymerman, 2004b; zmodyfikowany). SVN – domena swekonorweska; TESZ – strefa szwu transeuropejskiego; TIB – magmowe pasmo transskandynawskie; TTZ – strefa Tornquista-Teisseyre’a

Fig. 1. Tectonic sketch-map of the southern part of the Baltic Sea with the localities of selected boreholes (Cymerman, 2004b; modified). SVN – Sveconorwegian Domain; TESZ – TransEuropean Suture Zone; TIB – Transscandinavian Igneous Belt; TTZ – Tornquist-Teisseyre Zone



Ryc. 2. Szkic tektoniczny z uproszczoną litologią w polskiej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego (uskoki i bloki tektoniczne wg Dadleza, 1995; zmodyfikowane)

Fig. 2. Tectonic sketch-map with simplified lithology of the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea (faults and tectonic blocks after Dadleza, 1995; modified)

Tab. 2. Dane o litologii w otworach wiertniczych z polskiej strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego
Table 2. Lithology data of boreholes from the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea

Nazwa otworu (rok wiercenia) <i>Borehole name (year of drilling)</i>	Litologia wg Ryki (1993) <i>Lithology according to Ryka (1993)</i>	Litologia wg Ryki, [W]: Atlas geologiczny Południowego Bałtyku, 1995 <i>Lithology by Ryka, In: Geological Atlas of Southern Baltic Sea, 1995</i>	Litologia wg Cymermana, aktualne ustalenia <i>Lithology according to Cymerman, this paper</i>	Korelacje litologiczne z Bornholmem (Bor) Szwecją SE (Blekinge – Ble) i Szwecją S (Scania – Sca) <i>Lithological correlation with Bornholm (Bor) SE Sweden (Blekinge – Ble) and S Sweden (Scania – Sca)</i>	Korelacje litologiczne z rdzeniami z otworów z Kaszub, Pomorza i Warmii <i>Lithological correlation with well-cores from Kashubia, Pomerania and Warmia</i>
B2-1 /80 (1980)	gnejsy i amfibolity (wg dwóch analiz chemicznych enderbity) <i>gneisses and amphibolites (two chemical analyses - enderbites)</i>	granulity i enderbity <i>granulites and enderbites</i>	amfibolity laminowane <i>laminated amphibolites</i>	brak ustaleń <i>not established</i>	w części rdzeni (ok. 15%) gnejsy amfibolowe: Żarnowiec IG 1 <i>part of core represented (ca 15%) by amphibole gneisses: Żarnowiec IG 1</i>
B3-1 /81 (1981)	gnejsy i łupki krystaliczne <i>gneisses and crystalline schists</i>	granulity i enderbity <i>granulites and enderbites</i>	w stropie – Rønne tonality (Bor) <i>at the top – Rønne tonalites (Bor)</i> ----- w spągu – grubokrystaliczne granitognejsy <i>at the base - coarse-grained granite-gneisses</i>	Rønne tonality (Bor) <i>Rønne tonalites (Bor)</i> ----- czerwone ortognejsy (Bor); heteroklastyczny protomylonit typ 3 granitoidu Karlshamn (Ble) <i>red orthogneisses (Bor); heteroclastic protomylonite of 3-type Karlshamn granitoids (Ble)</i>	dioryty: Kościerzyna IG 1 <i>diorites: Kościerzyna IG 1</i> ----- granitognejsy: Henrykowo 1, Żarnowiec IG 1 (w części rdzeni) granodioryty: Kościerzyna IG 1 <i>granite-gneisses: Henrykowo 1, Żarnowiec IG 1 (in partly of the cores); granodiorites: Kościerzyna IG 1</i>
B4-1 /81 (1981)	granitoidy podobne do rapakiwi <i>rapakivi-like granitoids</i>	łupki krystaliczne <i>crystalline schists</i>	granity porfirowate i grubokrystaliczne <i>porphyritic and coarse-grained granites</i>	granity porfirytowe Stenshuvud (Sca); typ 1 granitoidu Karlshamn (Ble) <i>Stenshuvud porphyritic granites (Sca); Karlshamn 1-type granitoids (Ble)</i>	granitoidy porfiroklastyczne: Barciany 3, Kętrzyn IG 2, Malbork IG 1 <i>porphyroclastic granitoids: Barciany 3, Kętrzyn IG 2, Malbork IG 1</i>
B5-1 /01 (2001)	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre) Svecofennian-Karelian</i>	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre) Svecofennian-Karelian</i>	granitognejsy [wg Domżałski i in.(2002)] <i>granite-gneisses [after Domżałski et al., 2002]</i>	brak ustaleń <i>not established</i>	brak ustaleń <i>not established</i>
B6-1 /82 (1982)	granitoidy podobne do rapakiwi <i>rapakivi-like granitoids</i>	granitoidy i porfiry pasma transkandynawskiego <i>granitoids and porphyries of the Transscandinavian Belt</i>	granitognejsy szare do gnejsów warstewkowych <i>gray-gneisses layered to gneisses</i>	granodioryty porfirytowe Vang (Bor); protomylonit typ 2 granitoidu Karlshamn (Ble) <i>Vang porphyritic granodiorites (Bor); protomylonite of 2-type Karlshamn granitoids (Ble)</i>	gnejsy granodiorytowe: Drygały IG 1 (Mazury) <i>granodioritic gneisses: Drygały IG 1 (Mazurian)</i>
B6-2 /85 (1985)	gnejsy i amfibolity <i>gneisses and amphibolites</i>	gnejsy i amfibolity <i>gneisses and amphibolites</i>	gnejsy warstewkowe <i>layered gneisses</i>	szare ortognejsy (Bor); protomylonit typ 3 granitoidu Karlshamn (Ble) <i>gray orthogneisses (Bor); protomylonite of 3-type Karlshamn granitoids (Ble)</i>	gnejsy: Hel IG 1, w części rdzeni: Żarnowiec IG 1, Kościerzyna IG 1 <i>gneisses: Hel IG 1, in part of cores: Żarnowiec IG 1, Kościerzyna IG 1</i>
B7-1 /91 (1981)	granitoidy podobne do rapakiwi <i>rapakivi-like granitoids</i>	gnejsy i amfibolity <i>gneisses and amphibolites</i>	gnejsy warstewkowe i oczkowe <i>layered and augen gneisses</i>	czerwone ortognejsy (Bor); mylonity granitoidu Karlshamn (Ble) <i>red orthogneisses (Bor); mylonites of Karlshamn granitoids (Ble)</i>	gnejsy: / gneisses: Hel IG 1, Darżlubie IG 1

Tab. 2. Dane o litologii w otworach wiertniczych z polskiej strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego (cd.)
Table 2. Lithology data of boreholes from the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea (cont.)

Nazwa otworu /rok wiercenia <i>Borehole name /year of drilling</i>	Litologia wg Ryki (1993) <i>Lithology according to Ryka (1993)</i>	Litologia wg Ryki, [W]: Atlas Geologiczny Południowego Bałtyku, 1995 <i>Lithology by Ryka, In: Geological Atlas of Southern Baltic Sea, 1995</i>	Litologia wg Cymermana, aktualne ustalenia; <i>Lithology according to Cymerman</i>	Korelacje litologiczne z Bornholmem (Bor) Szwecją SE (Blekinge – Ble) i Szwecją S (Scania – Sca) <i>Lithological correlation with Bornholm (Bor) SE Sweden (Blekinge – Ble) and S Sweden (Scania – Sca)</i>	Korelacje litologiczne z rdzeniami z otworów z Kaszub, Pomorza i Warmii <i>Lithological correlation with well-cores from drilling in Kashubian, Pomerania and Warmia</i>
B8-1 /83 (1983)	granitoidy podobne do rapakiwi <i>rapakivi-like granitoids</i>	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre-) Svecofennian-Karelian</i>	niebadane; brak zachowanego rdzenia <i>not established; lack of preserved cores</i>	brak ustaleń <i>not established</i>	brak ustaleń <i>not established</i>
B16-1 /85 (1985)	granitoidy podobne do rapakiwi <i>rapakivi-like granitoids</i>	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre-) Svecofennian-Karelian</i>	leukogranity równoziarniste <i>equal-grained leucogranites</i>	granit Almindingen (Bor) <i>Almindingen granites (Bor)</i>	granity leukokratyczne: Olsztyn IG 2 (Mazury) <i>leucocratic granites: Olsztyn IG 2 (Mazurian)</i>
B21-1 /95 (1995)	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre-) Svecofennian-Karelian</i>	granitoidy (?pre-) swekofenno-karelskie <i>granitoids (?pre-) Svecofennian-Karelian</i>	migmatyty typu lit-par-lit <i>lit-par-lit - type migmatites</i>	migmatyty Paradiskabakkerne (Bor) <i>Paradiskabakkerne migmatites (Bor)</i>	migmatyty: Gdańsk IG 1, Słupsk IG 1 <i>migmatites: Gdańsk IG 1, Słupsk IG 1</i>

* otwór wiertniczy nie był jeszcze wtedy wykonany

* borehole has not yet been made

po transesyjny, ale lokalnie także reżim nasuwczy (ryc. 4) do przesuwczego.

W otworze B4-1/81 rdzeniowano ostatni marsz wiercenia od 1502,7 do 1507,0 m p.p.m. (tab. 1). Nawiercono tam czerwone granity porfirowate z przejściami w granity grubokryształiczne (tab. 2; ryc. 3D). Przypominają one czerwone porfiroklastyczne granitoidy z otworów na Warmii: Barciany 3, Kętrzyn IG 2 i Malbork IG 1 (Cymerman, 2004b), a także granity porfirytowe Stenshuvudu i typ 1 granitoidu Karlshamn z Blekinge (Čečys, 2004; Čečys & Benn, 2007). Ryka (1993) zaliczył je do granitoidów podobnych do rapakiwi.

W granitach tych praktycznie nie występują elementy strukturalne, stwierdzono w nich jedynie umiarkowanie lub stromo zapadającą foliację magmową S_0 .

Z otworu B6-1/82 jest zachowanych 3,1 m rdzeni z szarymi granitognejsami, które są blastomylonitami z przejściami do gnejsów laminowanych (tab. 2; ryc. 3E). Makroskopowo są one prawie takie same, jak mylonity granodiorytowe z otworu Drygały IG 1 na Mazurach (Cymerman, 2004b) oraz granodioryty porfirytowe typu Vang na Bornholmie (Zariņš & Johansson, 2009) i protomylonity typu 2 granitoidu Karlshamn (Čečys, 2004; Čečys & Benn, 2007). W 1993 r. Ryka zaliczył je do granitoidów podobnych do typu rapakiwi, ale w 1995 r. włączył je do granitoidów pasma transskandynawskiego.

Z elementów strukturalnych dominująca jest foliacja mylonityczna S_M typu S-C (tab. 3). Prawdopodobnie jest ona nałożona współplanarnie na pierwotną foliację magmową S_0 . Foliacja S_M jest zmiennie wykształcona w zależności od stopnia mylonityzacji granitoidów. Wybitnie zrekrystalizowana lineacja ziarna mineralnego L_M jest prawie horyzontalna lub łagodnie nachylona pod kątem ok. 20° na

powierzchniach C, nachylonych pod kątem ok. 40–50°. Powierzchnie S zapadają pod kątem 50–60°. Dane te oraz asymetryczne porfiroklasty typu σ , i homotetyczne, lewoskrętne pasemka ścinania typu C' (ryc. 5) dokumentują głównie przesuwczy (prawoskrętny?) po transesyjny i nasuwczy reżim deformacji podatnej.

W zachowanych rdzeniach z otworu B6-2/85 stwierdzono gnejsy warstewkowe, mylonityczne (tab. 2; ryc. 3F). Makroskopowo są one zbliżone do gnejsów z otworu Hel IG 1 i Darżlubia IG 1, ale także do części rdzeni z otworu Żarnowiec IG 1 i Kościerzyna IG 1 (Cymerman, 2004b), do szarych ortognejsów z Bornholmu (Zariņš & Johansson, 2009) i protomylonitów typ 3 z granitoidu Karlshamn (Čečys, 2004; Čečys & Benn, 2007) (tab. 2). Ryka (1993, 1995) zaliczył je do pasma gnejsów i amfibolitów.

Z elementów strukturalnych najlepiej jest wykształcona foliacja mylonityczna typu S-C (tab. 3). Silnie zrekrystalizowana lineacja ziarna mineralnego L_M ma orientację prawie równoległą do kierunku upadu powierzchni C, o stromym kącie upadu, na ogół ok. 60–75°. Powierzchnie S zapadają pod kątami ok. 80–90°. Dane te oraz porfiroklasty typu σ i obserwacje mikroskopowe (skośność więźby i „rybie miki”) dokumentują nasuwaczy reżim deformacji.

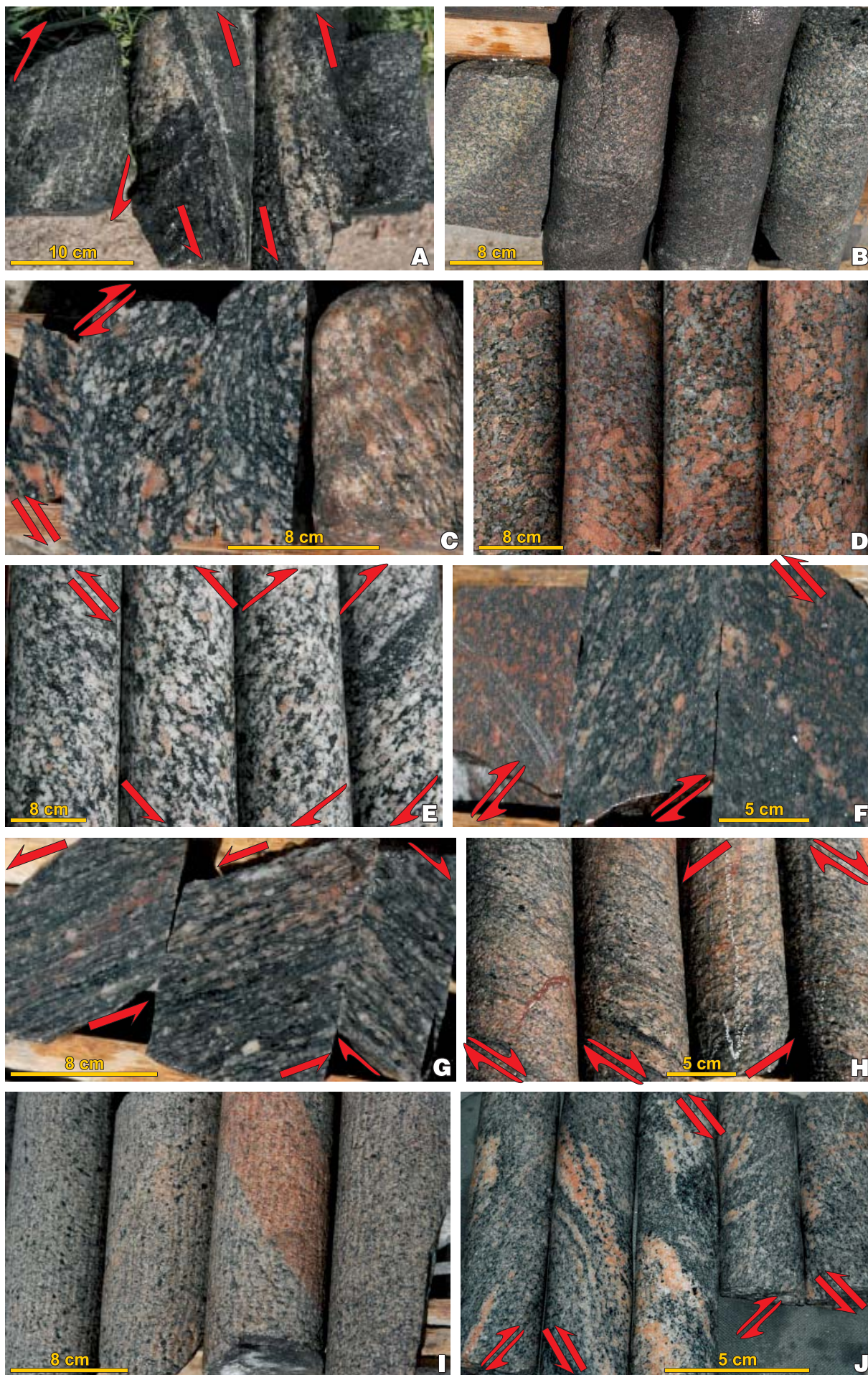
W otworze B7-1/91 rozpoznano mylonity i gnejsy blastomylonityczne (tab. 2; ryc. 3G, H). Przypominają one miejscami gnejsy z otworów: Hel IG 1 i Darżlubie IG 1 (Cymerman, 2004b). Z makroskopowej analizy wynika, że są one najbardziej zbliżone do czerwonych ortognejsów z Bornholmu (Zariņš & Johansson, 2009) i mylonitów z granitoidu Karlshamn (Čečys, 2004; Čečys & Benn, 2007). Wcześniej Ryka (1993) uznał je za granitoidy podobne do typu rapakiwi, ale potem włączył je do pasma gnejsów i amfibolitów (Ryka, 1995).

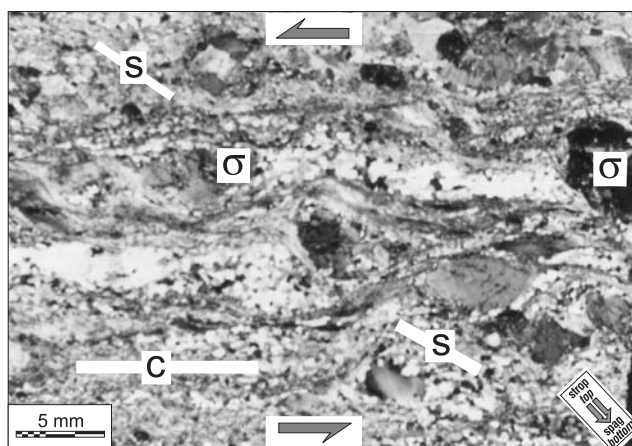
Tab. 3. Dane strukturalne i kinematyczne z otworów polskiej strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego
Table 3. Structural and kinematic data of boreholes from the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea

Nazwa otworu <i>Borehole name</i>	Struktury podatne <i>Ductile structures</i>	Kąty upadu foliacji S_M i (lub) S_O [°] <i>Dip angles of S_M and/or S_O foliation [°]</i>	Nachylenie lineacji [°] <i>Plunge of lineation [°]</i>	Reżim deformacji <i>Deformation regime</i>	Wskaźniki kinematyczne /kąty upadu powierzchni S i C [°] <i>Kinematic indicators (dip angles of S and C [°])</i>	Struktury kruche <i>Brittle structures</i>	Uwagi <i>Comments</i>
B 2-1 /80	S_O i S_M (S-C) penetratywne strefy ścinania <i>S_O and S_M (S-C) penetrative shear zones</i>	S_M/S_O ~60–75	~55–65	TH	S-C (S~80–90; C~60–75) R, F, σ	strome U z L_S prawie horyzontalnymi <i>U steep with sub-horizontal L_S</i>	
B 3-1 /81	S_O i S_M (S-C) lokalnie liczne strefy ścinania <i>S_O and S_M (S-C) locally numerous shear zones</i>	S_M/S_O ok. 40 lok. do 60 <i>locally to 60</i>	~30	EX do TE; lokalnie TH do SS (D?) <i>EX to TE; locally TH to SS (D?)</i>	S-C (S~20–25; C~40–45) R, F, σ	brak <i>lack</i>	
B 4-1 /81	S_O	40–80	brak danych <i>lack of data</i>	nie ustalono <i>not determined</i>	brak danych <i>lack of data</i>	rzadko spękania <i>rare fractures</i>	
B 5-1 /01	S_M	05–30	05–30	nie ustalono <i>not determined</i>	nie podano <i>not reported</i>	rzadko U; prawie pionowe spękania <i>U rare; almost vertical fractures</i>	wg opisu: Domżański i in. (2002) <i>as described by Domżański et al. (2002)</i>
B 6-1 /82	S_O i S_M (S-C) wskaźniki ścinania <i>S_O and S_M (S-C) shearing indicators</i>	S_M/S_O ~ 40–50 lok. do 70 <i>locally to 70</i>	prawie horyzontalna lub ~10–20 <i>almost horizontal or ~ 10–20</i>	SS (D?) do TR <i>SS (D?) to TR</i>	S-C (S~50–60; C~40) R, F, σ	brak <i>lack</i>	L//P, P skośnie do antytetycznie do S_O <i>P obliquely to homothetic to S_M</i>
B 6-2 /85	S_O i S_M (S-C) penetratywne strefy ścinania <i>S_O and S_M (S-C) penetrative shear zones</i>	S_M/S_O ~ 60–75	~60–75	TH	S-C (S~75–90 C~60–75) R, F, σ	brak <i>lack</i>	
B 7-1 /91	S_O i S_M (S-C) lokalnie liczne strefy ścinania <i>S_O and S_M (S-C) locally numerous shear zones</i>	S_M/S_O ~ 40 lok. do 60 <i>locally to 60</i>	~ 40	EX do TE; lokalnie TH do SS (D?) <i>EX to TE; locally TH to SS (D?)</i>	S-C (S~25–30 C~40) R, F, σ	strome U z L_S prawie horyzontalnymi <i>U steep with sub-horizontal L_S</i>	
B 8-1 /83	brak rdzenia – brak danych / <i>lack of cores – no data</i>						
B 16-1 /85	S_O	~40–50	słabo wykształcona prawie horyzontalna <i>slightly developed, almost horizontal</i>	nie ustalono <i>not determined</i>	brak <i>lack</i>	brak <i>lack</i>	homotetyczne P względem S_O ; 2 systemy spękań <i>P homothetic to S_O; 2 systems of fractures</i>
B 21-1 /95	S_M	~60 lok. do 70 <i>locally to 70</i>	słabo wykształcona; zmienna <i>slightly developed, variable</i>	SS (D?) do T <i>SS (D?) to T</i>	rzadko wskaźniki kinematyczne – σ <i>rare kinematic indicators – σ</i>	brak <i>lack</i>	P antytetyczne i homotetyczne względem S_M <i>P antithetic and homothetic to S_M</i>

D – prawoskrętny zwrot przemieszczeń; EX – ekstensyjny reżim deformacji; F – skośność więzby; L//P – leucosom równoległe do pegmatytu; P – pegmatyty; R – „rybie miki”; S_M – foliacja metamorficzna; S_O – foliacja magmowa (z płynięcia magmy); S_M/S_O – foliacja metamorficzna równoległa do foliacji magmowej; σ – asymetryczne porfiroklasty typu σ ; SS – przesuwczy reżim deformacji; TE – transtensyjny reżim deformacji; TH – nasuwczy reżim deformacji; TR – transpresyjny reżim deformacji; U – uskoki

D – dextral (clockwise) sense of displacements; EX – extensional regime of deformation; F – fabric obliquity; L//P – leucosome parallel to pegmatite; P – pegmatites; R – „mica fishes”; S_M – metamorphic foliation; S_O – magmatic foliation (magma flowing); S_M/S_O – metamorphic foliation parallel to magmatic foliation; σ – asymmetric σ – type porphyroclasts; SS – strike-slip regime of deformation; TE – transtensional regime of deformation; TH – thrusting regime of deformation; TR – transpressional regime of deformation; U – faults



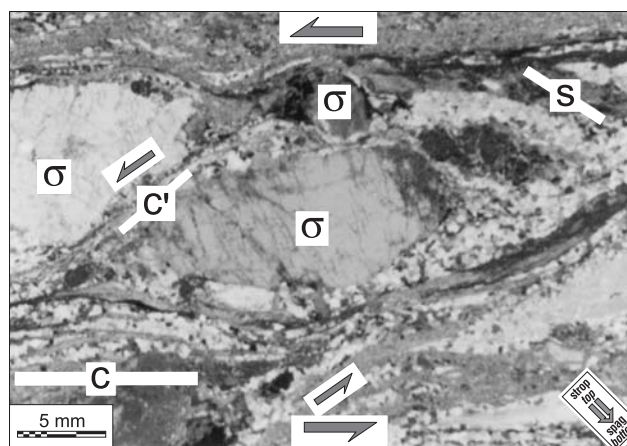


Ryc. 4. Mikrofotografia gnejsu z różnymi typami wskaźników kinematycznych: mylonityczne struktury typu S-C, skośność mikrowięźby, asymetryczne porfiroklasty typu σ oraz dynamicznie zrekrystalizowane podziarna kwarcowe i skaleniowe; lewoskrętny zwrot ścinania – strop ku górze otworu; przekrój prostopadły do foliacji S_M i równoległy do lineacji L_M ; otwór B3-1; głęb. 1745,4 m p.p.m.; nikole skrzyżowane; strzałki wskazują zwroty przemieszczeń tektonicznych

Fig. 4. Microphotograph of gneiss with different types of kinematic indicators: S-C-type mylonitic structures, oblique microfabric, asymmetric σ -type porphyroclasts and dynamically recrystallized subgrains of quartz and feldspars; sinistral sense of shear – with displacements to the top of borehole; section perpendicular to S_M foliation and parallel to L_M lineation; B3-1 borehole; depth 1745.4 m b.s.l.; crossed nicols; arrows show sense of tectonic displacements

Foliacja mylonityczna S_M typu S-C jest dobrze wykształcona w licznych strefach intensywnego ścinania podatnego (tab. 3). Lineacja ziarna mineralnego L_M , głównie biotyty, jest nachylona przeważnie pod kątem ok. 40° na powierzchniach C, które zapadają pod kątem ok. 40° . Powierzchnie S wykazują kąty upadu ok. $20\text{--}25^\circ$. Skośność więźby (struktury typu S-C) razem z porfiroklastami typu σ dokumentują złożone reżimy deformacji, od dominującego ekstensyjnego po transtensyjny (ryc. 3G, H), ale lokalnie także reżim nasuwczy do transpresyjnego ze składową przesuwczą (prawoskrętną?).

Z otworu B16-1/85 jest zachowanych 3,2 m rdzenia z gra-



Ryc. 5. Mikrofotografia granitognejsu; asymetryczne porfiroklasty typu σ i dynamicznie zrekrystalizowane podziarna kwarcowe i skaleniowe, mylonityczne struktury typu S-C i homotetyczne, lewoskrętne pasemka ścinania typu C'; lewoskrętny zwrot ścinania – strop ku górze otworu; przekrój prostopadły do foliacji S_M i równoległy do strzałki wskazują zwroty przemieszczeń tektonicznych lineacji L_M ; otwór B6-1; głęb. 1840,0 m p.p.m.; nikole skrzyżowane; strzałki wskazują zwroty przemieszczeń tektonicznych

Fig. 5. Microphotograph of granite-gneiss; asymmetric σ -type porphyroclasts and dynamically recrystallized subgrains of quartz and feldspars, SC-type mylonitic structures and homothetic sinistral C'-type shear bands; sinistral sense of shear – displacements to the top of borehole; section perpendicular to S_M foliation and parallel to L_M lineation; B6-1 borehole; depth 1840.0 m b.s.l.; crossed nicols; arrows show sense of tectonic displacements

nitami i tonalitami równoziarnistymi (sjenogranitami?) (tab. 2; ryc. 3I). Makroskopowo przypominają one leukogranity z otworu Olsztyn IG 2 (Cymerman, 2004b), ale także granity typu Almindingen z Bornholmu (Zariņš & Johansson, 2009). Ryka (1993, 1995) zaliczył je do granitoidów podobnych do rapakiwi. W rdzeniach stwierdzono tylko słabo wykształconą foliację magmową S_0 o umiarkowanych kątach upadu (tab. 3).

W rdzeniowym odcinku otworu B21-1/95 występują migmatyty typu lit-par-lit (tab. 2; ryc. 3J). Makroskopowo zbliżone są do migmatytów z otworów Gdańsk IG 1 i Słupsk IG 1 (Cymerman, 2004b) oraz migmatytów typu Paradyska-

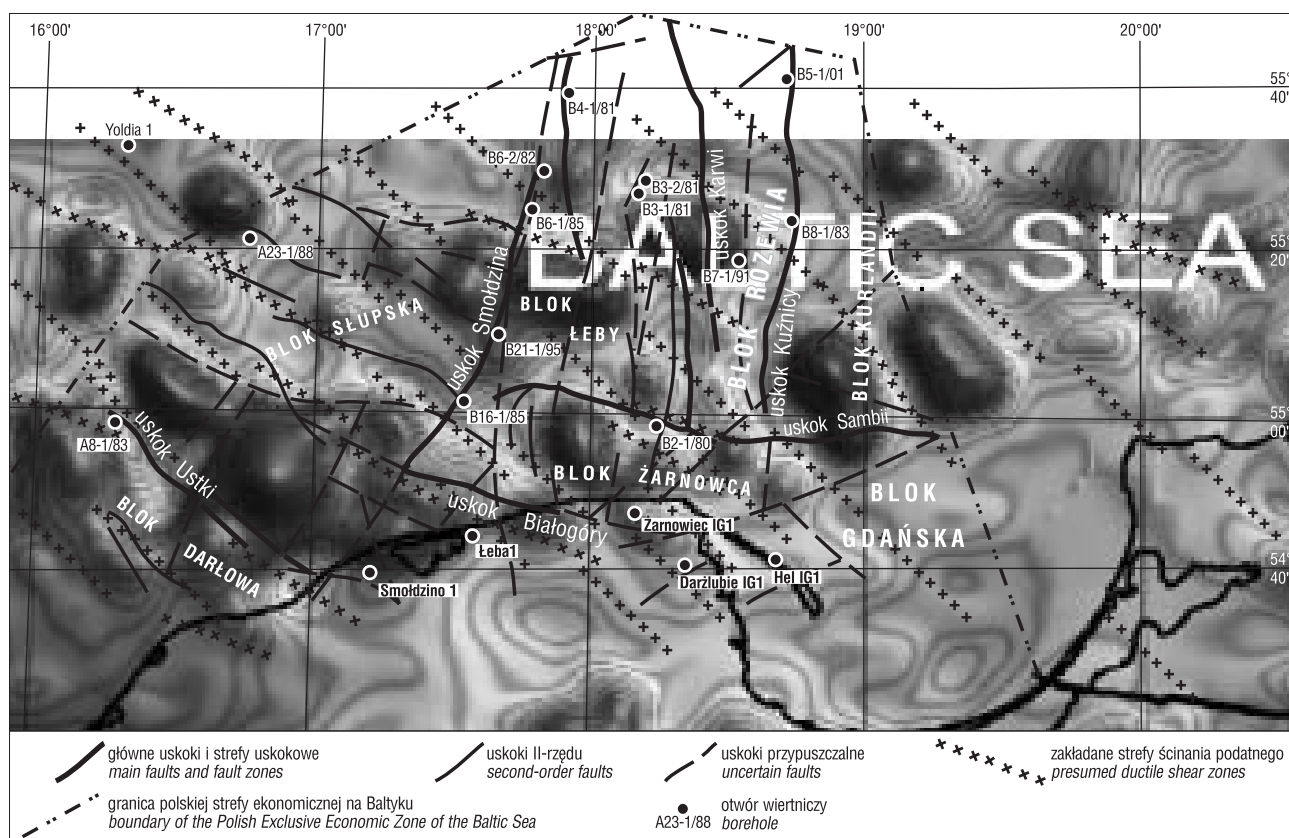
←

Ryc. 3. Fotografie wybranych fragmentów rdzeni z otworów z polskiej strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego. Czerwone strzałki wskazują zwroty przemieszczeń tektonicznych w płaszczyźnie prostopadłej do foliacji S_M i równoległej do lineacji ziarna mineralnego L_M . Strop rdzeni jest na górze wszystkich fotografii.

A – amfibolity laminowane i gnejsy amfibolowe; otwór B2-1; gł. 2917,1–2917,6 m p.p.m.; **B** – tonality; otwór B3-1; gł. 1711,5–1714,9 m p.p.m.; **C** – granitognejsy grubokrystaliczne; otwór B3-1; gł. 1740,2–1746,0 m p.p.m.; **D** – granity porfirowate i grubokrystaliczne; otwór B4-1; gł. 1474,4–1480,7 m p.p.m.; **E** – granitognejsy i gnejsy warstewkowe; otwór B6-1; gł. 1838,0–1840,5 m p.p.m.; **F** – gnejsy warstewkowe; otwór B6-2; gł. 1829,5–1831,5 m p.p.m.; **G** – gnejsy warstewkowe i oczkowe; otwór B7-1; gł. 2706,0–2707,5 m p.p.m.; **H** – gnejsy warstewkowe i oczkowe; otwór B7-1; gł. 2709,0–2710,5 m p.p.m.; **I** – leukogranity; otwór B16-1; gł. 2400,9–2402,9 m p.p.m.; **J** – migmatyty; otwór B21-1; gł. 2248,6–2250,1 m p.p.m.

Fig. 3. Photographs of the selected fragments of boreholes cores from the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea. Red arrows show sense of tectonic displacements in the plane perpendicular to S_M foliation and parallel to L_M mineral lineation. The top of drill-cores is always at the uppermost part of all photographs.

A – laminated amphibolites and amphibole gneisses; B2-1 borehole; depth 2917.1–2917.6 m b.s.l.; **B** – tonalites; B3-1 borehole; depth 1711.5–1714.9 m b.s.l.; **C** – coarse-grained granite-gneisses; B3-1 borehole; depth 1740.2–1746.0 m b.s.l.; **D** – porphyritic and coarse-grained granites; B4-1 borehole; depth 1474.4–1480.7 m b.s.l.; **E** – granite-gneisses to layered gneisses; B6-1 borehole; depth 1838.0–1840.5 m b.s.l.; **F** – layered gneisses; B6-2 borehole; depth 1829.5–1831.5 m b.s.l.; **G** – layered and augen gneisses; B7-1 borehole; depth 2706.0–2707.5 m b.s.l.; **H** – layered and augen gneisses; B7-1 borehole; depth 2709.0–2710.5 m b.s.l.; **I** – leucogranites; B16-1 borehole; depth 2400.9–2402.9 m b.s.l.; **J** – migmatites; B21-1 borehole; depth 2248.6–2250.1 m b.s.l.



Ryc. 6. Szkic tektoniczny z zakładanymi strefami ścinania podatnego (krzyżyki) na tle mapy anomalii magnetycznych w polskiej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego (uskoki i bloki tektoniczne, wg Pokorskiego, 2010; zmodyfikowane)

Fig. 6. Tectonic sketch-map with assumed ductile shear zones (small crosses) against the map of magnetic anomalies in the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea (faults and blocks tectonic by Pokorski, 2010; modified)

bakkerne z Bornholmu (Zariņš & Johansson, 2009). Według założeń Ryki (1993, 1995) miały tam występować granitoidy, zbliżone do typu rapakiwi.

Wyrażna foliacja S_M typu złupkowania rekrytalizacyjnego zapada najczęściej pod kątem około 60° (tab. 3). Lineacja ziarna mineralnego L_M , głównie biotyty jest zmiennie wykształcona, ale tam gdzie została rozpoznana, jest prawie horyzontalna. Reżim deformacji przesuwowej (o zwrocie prawoskrętnym?) do transpresyjnej jest w tym otworze zbliżony do reżimu ustalonego w rdzeniach z otworu B6 (tab. 3).

Oprócz rdzeni z ośmiu zbadanych otworów, wykorzystano opis skał krystalicznych z otworu B5-1/01 (Domżałski i in., 2002). Rozpoznano tam ortognejsy ciemno-szaroróżowe, o strukturze granoblastycznej (tab. 2). Dodatkowo podano, że te „granitognejsy są złożone głównie z kwarcu oraz biotyty, z domieszką skaleni potasowych oraz plagioklazów” (s. 580, *op. cit.*). Stwierdzono też, że lineacja jest nachylona od ok. 5 do 30° ; niestety nie podano orientacji foliacji. Można podejrzewać, że penetrywna foliacja SM wykazuje podobne kąty upadu. W takich mylonitycznych granitoidach powinny być dobrze wykształcone asymetryczne wskaźniki kinematyczne; niestety nie ma żadnej wzmianki o takich strukturach w cytowanej publikacji (*op. cit.*). Z otworu B8-1/83 prawdopodobnie nie zachował się już żaden materiał wiertniczy, chociaż rdzeniowano tam około 3,5 m skał krystalicznych (tab. 1). W przypadku tego otworu dokonano korelacji z sąsiednim otworem B7-1/91. Było to uzasadnione, ponieważ rdzenie z obu otworów były podobnie opisane, jako granitoidy zbliżone do rapakiwi (Ryka, 1993).

W wyniku korelacji zaliczono je do mylonitów i gnejsów blasto-mylonitycznych (tab. 2; ryc. 2).

DYSKUSJA

W świetle danych strukturalnych i korelacji regionalnych dla różnych obszarów z otoczenia południowego Bałtyku (Kornfölt & Vaasjoki, 1999; Söderlund i in., 2002; Johansson i in., 2004, 2006; Obst i in., 2004; Bogdanova i in., 2006; Motuza i in., 2006; Čečys & Benn, 2007; Brander & Söderlund, 2009; Zariņš & Johansson, 2009) można kwestionować dotychczasowy obraz kartograficzny przedstawiany dla podłoża polskiej części Bałtyku (Dąbrowski & Uhrynowski, 1976; Ryka, 1993, 1995). Kluczowe znaczenie ma tu interpretacja obrazu magnetycznego (Dąbrowski & Uhrynowski, 1976; Dalez, 1995; Wybraniec, 1999). Obraz anomalii magnetycznych z południowego Bałtyku (ryc. 6) jest zbliżony do obrazu z Warmii i Mazur, a także z rejonu Kaliningradu, zachodniej Litwy i południowej Szwecji (Wybraniec, 1999). Obraz ten różni się wyraźnie od tego z terenów Pomorza Wschodniego, Kujaw i Mazowsza, czyli obszarów pozbawionych wybitnych anomalii magnetycznych (*op. cit.*). Elipsoidalne lub wrzecionowate w formie dodatnie anomalie magnetyczne, uznane za domeny skał metamorficznych, są w większości wydłużone w kierunku NW–SE lub WNW–ESE (*op. cit.*). Taki obraz anomalii magnetycznych zaczyna się na zachodzie od frontu orogenu swekonorweskiego i kontynuuje dalej ku wschodowi aż poza granice Obwodu Kaliningradzkiego z Litwą.

Dane geofizyczne w powiązaniu z pomiarami orientacji regionalnej foliacji SM, od Szwecji Południowej i Bornholmu (Berthelsen, 1989; Cymerman, 2004a) aż po południowo-zachodnią i zachodnią Litwę (Motuza i in., 2006; Cymerman, 2007), wskazują na dominację biegu regionalnej foliacji SM w kierunku zbliżonym do NW–SE i WNW–ESE (Cymerman, 2006). Taką prawdopodobną orientację regionalnej foliacji SM oraz na tej podstawie granic geologicznych na obszarze południowego Bałtyku, przedstawiono na schematycznej mapie geologiczno-strukturalnej (ryc. 2). Przy poprawności ustaleń orientacji regionalnej foliacji SM kierunek transportu tektonicznego byłby zbliżony do NE–SW i NNE–SSW z dominującym zwrotem przemieszczeń ku SW i SSW na obszarze południowo-zachodniej części EEC (Čečys, 2004; Cymerman, 2004a, 2006, 2007; Čečys & Benn, 2007).

Deformacje z rozwojem prawie równoleżnikowo przebiegającej foliacji S_M w warunkach metamorfizmu regionalnego odbywały się synchronicznie z magmatyzmem o wieku 1,47–1,45 mld lat (Söderlund i in., 2002; Čečys & Benn, 2007; Zariņš & Johansson, 2009). Postmagmowe i (lub) postmetamorficzne ochłodzenie kontynuowało się do 1,43 mld lat, co dokumentują datowania tytanitu (Zariņš & Johansson, 2009). Niezdeformowane i niezmetamorfizowane dajki maficzne o wieku 1,33 mld lat (Holm i in., 2005), które przecinają gnejsy i granity na Bornholmie, wskazują na brak młodszego metamorfizmu i deformacji swekonorweskich w rejonie południowego Bałtyku.

Dane geochronologiczne dokumentują syntektoniczny plutonizm, intensywne deformacje ścięciowe i regionalny, wysokotemperaturowy metamorfizm w okresie 1,47–1,45 mld lat na obszarze odkrytej południowo-zachodniej części EEC (Čečys i in., 2002; Söderlund i in., 2002; Johansson i in., 2004; Obst i in., 2004; Čečys & Benn, 2007; Zariņš & Johansson, 2009; Waight i in., 2012). Bogdanova (2001) zaproponowała dla tych procesów termin *Danopolonian Orogeny*, który można tłumaczyć jako „orogeneza duńsko-polska” lub „orogeneza duńsko-polska”. Procesy te pokrywają się ze „zjawiskiem tektono-termalnym Hallandianu” w południowo-zachodniej Skandynawii (Hubbard, 1975; Andersson i in., 2002; Söderlund i in., 2002). Na podstawie danych palaeomagnetycznych i korelacji regionalnych, Bogdanova (2005) sugerowała, że kolizja EEC (Baltiki) z innym kontynentem (Amazonią) spowodowała tektonikę nasuwczą i reaktywowanie skorupy kontynentalnej południowo-zachodniej części EEC podczas orogenezy duńsko-polskiej (ok. 1,47–1,43 mld lat). Pozycja szwu z orogenezy duńsko-polskiej w SW części EEC jest słabo zdefiniowana, prawdopodobnie z powodu nałożenia się tam efektów mezoproterozoicznej kolizji na starsze struktury tektoniczne z orogenezy swekofeńskiej, a także z szeroko rozpowszechnionym magmatyzmem granitoidowym związanym z procesami magmowego podklejania.

Czas powstania granitoidów i ortognejsów na Bornholmie waha się od 1,47 do 1,44 mld lat, a odziedziczone cyrkony o wieku ok. 1,70–1,80 mld lat wskazują, że w magmach granitowych jest zachowany także stateriański materiał skorupowy (Zariņš & Johansson, 2009). W otworze Słupsk IG 1 udokumentowano protolit ortognejsów wieku ok. 1,74 mld lat (Krzemińska i in., 2010).

WNIOSKI

Wyjaśnienie prawdopodobnie złożonego (poligenicznego?) rozwoju tektono-metamorficzno-magmowego południowego Bałtyku wymaga wykonania oznaczeń izotopowych wszystkich zachowanych rdzeni wiertniczych z krystalicznego podłoża dna tej części Bałtyku, a także rdzeni z terenu Kaszub i Warmii. Obecnie, przy braku takich danych możliwe są trzy interpretacje budowy geologicznej krystaliniku południowego Bałtyku:

1. kontynuacja swekofeńskiego (staterskiego) transskandynawskiego pasma magmowego ku południowemu wschodowi;
2. przedłużenie kalymskiej duńsko-polskiej (halladyńskiej) strefy orogenicznej ku wschodowi i południowemu wschodowi;
3. skały krystaliczne związane z orogenezą duńsko-polską mogą występować na ograniczonej skalę wśród skorupy swekofeńskiej.

W świetle danych strukturalnych z analizy rdzeni ośmiu otworów wiertniczych z polskiej strefy Morza Bałtyckiego oraz danych geofizycznych, korelacji regionalnych i opublikowanych oznaczeń radiometrycznych z Bornholmu, południowej Szwecji i zachodniej Litwy, pierwsza interpretacja wydaje się niewłaściwa. Obszar krystaliniku południowego Bałtyku stanowi zakryty fragment najprawdopodobniej mezoproterozoicznego (kalymskiego) orogenu duńsko-polskiego z rozwojem regionalnych stref ścinania podatnego. Te strefy zlokalizowanej deformacji niekoaksjalnej wykazują prawdopodobnie dominujące przebiegi w kierunkach od W–E do WNW–ESE, jak można zakładać z korelacji regionalnych z Bornholmu i z rejonu Blekinge oraz danych geofizycznych. Przy poprawności tych założeń można wnioskować o złożonym reżimie nasuwczym i (lub) transpresyjnym, z transportem tektonicznym skierowanym głównie ku S i SSW podczas orogenezy duńsko-polskiej.

Przedstawione wyniki badania rdzeni wykonano wiosną 2006 r. w magazynie ówczesnego Przedsiębiorstwa Poszukiwań i Eksploatacji Złóż Ropy i Gazu „Petrobaltic” Sp. z o.o. w Gdańsku – Starym Dworze, po uzyskaniu zgody Pana Prezesa Andrzeja Schulza i Pana Dyrektora Krzysztofa Sułeckiego, którym dziękuję za umożliwienie mi zbadania rdzeni. Pomocy technicznej udzielił mi zastępca kierownika Działu Geologii – Pan Cezary Zarębski, a ustnych informacji – Pan Jerzy Domżański. Obydwu Panom z przedsiębiorstwa LOTOS Petrobaltic S.A. serdecznie dziękuję. Za recenzję tej pracy dziękuję Panu dr. hab. Stanisławowi Mazurowi i anonimowemu Recenzentowi.

LITERATURA

- ANDERSSON J., MÖLLER C. & JOHANSSON L. 2002 – Zircon geochronology of migmatite gneisses along the Mylonite zone (S Sweden): a major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic shield. *Precamb. Res.*, 114: 121–147.
- BERTHELSEN A. 1989 – Bornholms geologi III: Grundfjeldet. *Varv*, 1989 (1): 1–40.
- BOGDANOVA S.V. 2001 – Tectonic Setting of 1.65–1.4 Ga AMCG Magmatism in the Western East European Craton (Western Baltica). *Abstracts of EUG*, 11: 767.

- BOGDANOVA S.V. 2005 – The East European Craton: some aspects of the Proterozoic evolution in its south-west. Mineral. Soc. of Poland, Spec. Pap.; 26: 18–24.
- BOGDANOVA., S.V., GORBATCHEV R., GRAD M., JANIK T., GUTERCH A., KOZŁOWSKAYA E. MOTUZA G., SKRIDLAITE G., STAROSTENKO I., TARAN L. & EUROBRIDGE AND POLONAISE WORKING GROUP 2006 – EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of East European craton. [W:] Gee D.G., Stephenson R.A. (red.), European Lithosphere Dynamics, vol. 32. Geol. Soc., London: 599–625.
- BOGDANOVA S.V., BINGEN B., GORBATSCHEV R., KHERASKOVA T.N., KOZLOV V.I., PUCHKOV V.N. & VOLOZHY U.A. 2008 – The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. Precamb. Res., 160: 23–45.
- BRANDER L. & SÖDERLUND U. 2009 – Mesoproterozoic (1.47–1.44 Ga) orogenic magmatism in Fennoscandia; Baddeleyite U-Pb dating of a suite of massif-type anorthosite in S. Sweden. Intern. J. Earth Sci., 98: 499–516.
- ČEČYS A. 2004 – Tectonic implications of ca. 1.45 Ga granitoid magmatism at the southwestern margin of the East European Craton. PhD thesis, Department of Geology, Lund University.
- ČEČYS A. & BENN K. 2007 – Emplacement and deformation of the ca. 1.45 Ga Karlshamn granitoid pluton, southeastern Sweden, during ENE–WSW Danopolonian shortening. Intern. J. Earth Sci., 96: 397–414.
- ČEČYS A., BOGDANOVA S., JANSON CH., BIBIKOVA E. & KORNFÄLT K.-A. 2002 – The Stenshuvud and Tåghusa granitoids: new representatives of Mesoproterozoic magmatism in southern Sweden. Geol. Fören. Stockholm Förhandl., 124: 149–162.
- CYMERMAN Z. 2004a – Prekambryjskie struktury Bornholmu i ich odniesienia do regionu Kaszub. Prz. Geol., 52 (7): 593–602.
- CYMERMAN Z. 2004b – Prekambryjskie platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski: tektonika i rozwój skorupy. Pr. Państw. Inst. Geol., 180: 1–129.
- CYMERMAN Z. 2006 – Interpretacja geologiczna wyników głębokich sondowań sejsmicznych eksperymentu POLONAISE'97 dla polskiej części kratonu wschodnioeuropejskiego. Pr. Państw. Inst. Geol., 188: 167–202.
- CYMERMAN Z. 2007 – Czy istnieje mazurska, prawoskrętna strefa podatnego ścinania? Prz. Geol., 55 (2): 157–167.
- DADLEZ R. 1995 – Szkic tektoniczny. (Tablica III). [W:] Atlas Geologiczny Południowego Bałtyku 1 : 500 000 (red. Mojski E.J.). Państw. Inst. Geol., Sopot-Warszawa.
- DĄBROWSKI A. & UHRYNOWSKI A. 1976 – Budowa podłoża krystalicznego południowego Bałtyku w świetle wyników zdjęcia magnetycznego z lat 1971–1972. Kwart. Geol., 20 (3): 473–483.
- DOMŻAŁSKI J., POKORSKI J., MAUREK A., ANOLIK P. & WAGNER R. 2002 – Nowy otwór wiertniczy na Bałtyku B5-1/01. Prz. Geol., 50 (7): 589–591.
- GRAVESEN P. 1996 – Geologisk set Bornholm. Geografforlaget, Brenderup; 1–208.
- HOLM P.M., HEAMAN L.M. & PEDERSEN L.E. 2005 – First direct age determination for the Kelseaa Dolerite Dyke, Bornholm, Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, 52: 125–130.
- HUBBARD F.H. 1975 – The Precambrian crystalline complex of southwestern Sweden. The geology and petrogenetic development of the Varberg Region. Geol. Fören. Stockholm Förhandl., 97: 223–236.
- JOHANSSON Å., BOGDANOVA S.V. & ČEČYS A. 2006 – A revised geochronology for the Blekinge Province, southern Sweden. Geol. Fören. Stockholm Förhandl., 128: 287–302.
- JOHANSSON Å., BOGDANOVA S., CLAESON S. & TARAN L. 2004 – Gneisses and granitoids of Bornholm. Abstract, 26th Nordic geological winter meeting, Uppsala, Sweden. Geol. Fören. Stockholm Förhandl., 126: 24.
- KOTARBA M.J. 2010 – Geology, ecology and petroleum of the lower Paleozoic strata in the Polish part of the Baltic region. Geol. Quart., 54: 103–108.
- KORNFÖLT K.-A. & VAASJOKI M. 1999 – U-Pb zircon datings of Småland and Karlshamn granites from southeasternmost Sweden. Sver. Geol. Undersökning, C 831: 32–41.
- KUBICKI S. & RYKA W., 1982 – Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. Wyd. Geol., Warszawa.
- KRZEMIŃSKA E., WILLIAMS I.S., WISZNIEWSKA J. & KRZEMIŃSKI L. 2010 – Regional correlation of the Precambrian basement across the Baltic Sea (N Poland): Evidence from U-Pb dating of accessory zircon. Geochim. Cosmochim. Acta, 74, 12, A542, Supp.
- MOTUZA G., ČEČYS A., KOTOV A.B. & SALNIKOVA E.B. 2006 – The Žemaičių Naumiestis granitoids: new evidences for Mesoproterozoic magmatism in western Lithuania. Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., 128: 243–254.
- OBST K., HAMMER J., KATZUNG G. & KORICH D. 2004 – The Mesoproterozoic basement in the southern Baltic Sea: insights from the G14-1 off-shore borehole. Intern. J. Earth Sci., 93: 1–12.
- POKORSKI J. 2010 – Geological section through the lower Paleozoic strata of the Polish part of the Baltic region. Geol. Quart., 54: 123–130.
- RYKA W. 1993 – Crystalline basement of the Polish part of the Baltic Sea. Kwart. Geol., 37: 329–344.
- RYKA W. 1995 – Podłoże krystaliczne (Tablica IV). [W:] Atlas Geologiczny Południowego Bałtyku 1 : 500 000 (red. Mojski E.J.). Państw. Inst. Geol., Sopot-Warszawa.
- SÖDERLUND U., MÖLLER C., ANDERSSON J., JOHANSSON L. & WHITEHOUSE M. 2002 – Zircon geochronology in polymetamorphic gneisses in the Sveconorwegian orogeny, SW Sweden: ion microprobe evidence for 1.46–1.42 and 0.98–0.96 Ga reworking. Precamb. Res., 113: 193–225.
- WRIGHT T.E., FREI D. & STOREY M. 2012 – Geochronological constraints on granitic magmatism, deformation, cooling and uplift on Bornholm, Denmark. Biull. Geol. Soc. Denmark, 60: 23–46.
- WYBRANIEC S. 1999 – Transformation and visualization of potential field data. Pol. Geol. Inst. Spec. Pap., 1: 1–88.
- ZARIŃŠ K. & JOHANSSON Å. 2009 – U-Pb geochronology of gneisses and granitoids from the Danish island of Bornholm: new evidence for 1.47–1.45 Ga magmatism at the southwestern margin of the East European Craton. Intern. J. Earth Sci., 98: 1561–1580.

Praca wpłynęła do redakcji 24.11.2011 r.
Akceptowano do druku 20.11.2014 r.