

## Najpłytsze podłoże krystaliczne polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej w strefie podlaskiej

Zbigniew Cymerman<sup>1</sup>



**The shallowest crystalline basement of the Polish part of the East European Platform in the Podlasie Belt.** Prz. Geol., 65: 1529–1535.

*Abstract.* The intensive development of studies on the crystalline basement of the Polish part of the East European Platform started only in the mid-1950s. These studies were based on geophysical research that preceded planned deep drilling projects. Twenty-five drill holes were located along four sections called: Białowieża, Kruszyniany, Sokółka and Krasnopol. The aim of this article is to re-evaluate drilling materials in the light of a variety of data, mainly structural data obtained from 20 boreholes from the first three “drilling sections”. All these sections were located on the Belarus-Lithuanian Elevation where the crystalline basement occurs at the shallowest depths. Special attention was paid to the recognition of ductile shear zones,  $S_M$  foliation,  $L_M$  mineral lineation and kinematic indicators. The results of the studies made it possible to identify the direction of tectonic transport, mainly with the top-to-SW, S and W, and deformation regimes in the boreholes of the Podlasie Belt. The main deformations have been related to a compressional regime in the amphibolite and granulite facies of regional metamorphism during the Svecofennian orogeny. It is suggested for the future to combine the research efforts of specialists from different fields of geological sciences. However, due to the scarcity of core material from old drillings, the most important are new deep boreholes that will provide a lot of drilling material to explain the geological structure and the evolution of the Proterozoic basement of NE Poland.

**Keywords:** boreholes, structures, Proterozoic, crystalline basement, Podlasie Belt, NE Poland

Prekambryjskie podłoże krystaliczne zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej, o powierzchni prawie 100 tys. km<sup>2</sup>, na terytorium Polski rozciąga się od Kaszub i południowego Bałtyku aż po dorzecze Bugu (Kubicki, Ryka, 1982; Cymerman, 2004). Od 1954 r., kiedy rozpoczęto wykonywanie trzech pierwszych wierceń docierających do skał krystalicznych (otwory: Krynki 1, Ostrów Mazowiecka 1 i Ełk 1), aż do 1991 r. odwiercono 268 otworów, w których osiągnięto strop krystalicznego podłoża platformy wschodnioeuropejskiej. Łącznie przewiercono ponad 201 tys. metrów w skałach krystalicznych, przy czym 2/3 tego metrażu, czyli ok. 158 tys. m, wykonano na terenie złóż Fe-Ti-V Krzemianka i Udryń w suwalskim masywie anoritozytowym.

Na pierwszej mapie strukturalno-tektonicznej z morfologią stropu podłoża prekambryjskiego Polski NE (Sokołowski, Znosko, 1959) zaznaczono m.in. wyniesienie mazursko-suwańskie, będące zachodnim przedłużeniem wyniesienia białorusko-litewskiego (ryc. 1). Podstawę do wykonania (w latach 1957–1961) 25 otworów w strefie podlaskiej stanowiło stwierdzenie płytkiego występowania stropu krystalicznego podłoża platformy wschodnioeuropejskiej na wyniesieniu białorusko-litewskim (mazursko-suwańskim). Wynikało to z rozpoznania stropu tego podłoża już na głębokości 361,5 m w otworze Krynki 1 (Tyski, 1957). Jest to dotychczas najpłycej nawiercony strop krystalicznego podłoża platformy wschodnioeuropejskiej na terenie Polski NE.

Strefa podlaska stanowi SW fragment tzw. podlasko-białoruskiego pasa granulitowego na zakładanym pograniczu płyt litosfery Fennoskandii i Sarmacji, co powoduje, że prawidłowo rozpoznana budowa strukturalna tej strefy, także na terenie Polski NE, ma szczególne znaczenie dla interpretacji regionalnych modeli geotektonicznych, przyjmowanych dla całego kratonu wschodnioeuropejskiego (np. Bogdanova i in., 2008, 2015).

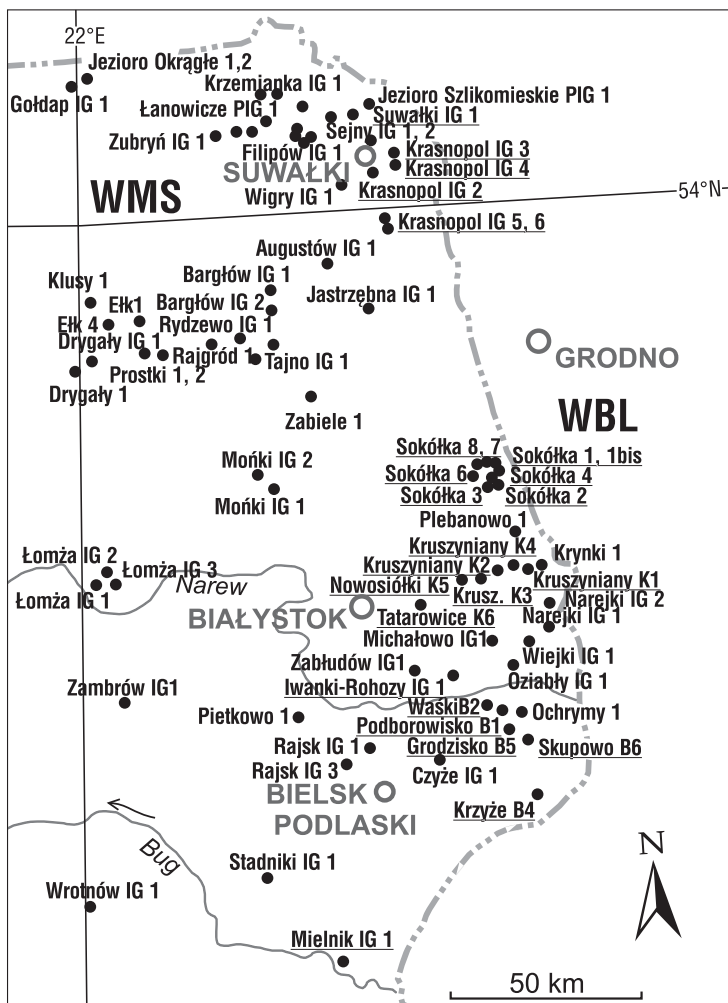
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników szczegółowych analiz, głównie strukturalnych i kinematycznych, archiwalnych materiałów wiertniczych z lat 50. i 60. XX w. z 20 otworów w strefie podlaskiej (ryc. 2), wzdłuż trzech tzw. przekrojów wiertniczych: Białowieża 1–6, Kruszyniany 1–6 i Sokółka 1–8 (w pracy tej nie uwzględniono „przekroju wiertniczego” Krasnopol 1–5, wyznaczonego na Suwalszczyźnie). Szczegółowy opis struktur tektonicznych rozpoznanych na podstawie wymienionych 20 otworów wiertniczych znajduje się w monografii Cymermana (2004). W tym artykule przedstawiono jedynie najważniejsze wnioski wynikające z tamtych badań tektonicznych.

### „PRZEKRÓJ WIERTNICZY” SOKÓŁKA 1–8

Jest to grupa 8 otworów wiertniczych, usytuowanych w okolicy Sokółki w formie wieńca o średnicy kilku kilometrów, prawie w połowie odległości między Białymstokiem a Grodnem (ryc. 1, 2). Wiercenia te wykonano w latach 1958–1961. W pobliżu otworu Sokółka 1, najgłębiej nawiercającego skały krystaliczne (199,7 m w podłożu krystalicznym), wykonano otwór Sokółka 1bis (66,6 m w podłożu krystalicznym). Po uwzględnieniu 452,2 m zlikwidowanego rdzenia z otworu Plebanowo 1 do dalszych badań powinno pozostać aż 1163,1 m rdzeni. Niestety, w magazynach Narodowego Archiwum Geologicznego Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego zachowało się z tych 8 otworów zaledwie 5,5 m rdzeni – z 710,9 m przewierconych w skałach krystalicznych. Dodatkowo, w promieniu ok. 50 km od Sokółki od lat 60. XX w. nie wykonano żadnego otworu, pomimo płytkiego występowania podłoża krystalicznego w tym rejonie – na głębokości od ok. 350 do 450 m p.p.t.

Według Znoski (1960b) w otworze Sokółka IG 1 do głęb. 471,3 m występują granitoidy, a poniżej aż do końca otworu dominują gnejsy i łupki krystaliczne. Te ostatnie

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



**Ryc. 1.** Lokalizacja otworów zakończonych w podłożu krystalicznym w regionach Podlasia i Suwalszczyzny, oprócz suwalskiego masywu anortozytowego. WBL – wyniesienie białorusko-litewskie; WMS – wyniesienie mazursko-suwałskie. Podkreślono nazwy otworów należących do opisanych w tym artykule tzw. przekrojów wiertniczych

**Fig. 1.** Map of boreholes that bottomed out in the crystalline basement of the Podlasie and Suwałki regions, excluding the Suwałki Anorthosite Massif. WBL – Belarus-Lithuanian Elevation; WMS – Mazury-Suwałki Elevation. Names of boreholes (so-called well sections) discussed in this article are underlined

zostały silnie przeobrażone dynamicznie, wraz z wykształceniem mylonitów i kataklazytów. Obserwacje fragmentów rdzenia (ok. 0,7 m) umożliwiły rozpoznanie jedynie głównych elementów strukturalnych i ustalenie kinematyki (Cymerman, 2004). Dobrze wykształcona foliacja mylonityczna ( $S_M$ ) zapada pod kątem ok. 30–45°. Lineacja mylonityczna ( $L_M$ ) ziarna mineralnego (głównie biotytowa) jest prawie równoległa do kierunku upadu foliacji  $S_M$ , co stwierdzono we wszystkich zbadanych otworach z Sokółki. Nieliczne wskaźniki kinematyczne (porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$ ) wskazują na podatne deformacje ekstensyjne (ryc. 3). W pobliskim otworze Sokółka IG 1bis dominują gnejsy biotytowe i granitognejsy, rzadziej łupki biotytowe i migmatyty (Znosko, 1961a). Obserwacje ok. 80 cm rdzenia wskazują na upad regionalnej foliacji  $S_M$  pod kątem w zakresie 65–85°. Wskaźniki kinematyczne (liczne formy porfiroklastów typu  $\sigma$ ) dokumentują zarówno ekstensywne, jak i nasuwczce procesy ścinania podatnego.

W otworze Sokółka IG 2 opisano kataklazyty oraz zmylonityzowane gnejsy, granitoidy, migmatyty i gnejsy kwarcowo-biotytowe, gnejsy amfibolowe oraz nierozdzielone amfibolity i migmatyty (Znosko, 1958a). W zachowanym materiale wiertniczym (ok. 0,5 m rdzenia) w gnejsach biotytowych foliacja  $S_M$  charakteryzuje się upadem pod kątem 75–80°. Brak tu jednak wiarygodnych wskaźników kinematycznych. Podobnie są wykształcone elementy strukturalne w otworze Sokółka IG 3, gdzie występują gnejsy, migmatyty i skały piroksenowe (Ryka, 1961a).

W otworze Sokółka IG 4 nawiercono gnejsy warstewkowe, migmatyty z granitoidami i łupki chlorytowe (Zawadzka i in., 1960). Z odwiertu w skałach krystalicznych (82,1 m) została zachowana jedna skrzynka z rdzeniem. Foliacja  $S_M$  zapada pod kątem w granicach 45–60°. Wskaźniki kinematyczne (porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$ , pasemka ścinania typu C' i rzadkie struktury mylonityczne typu S-C) świadczą o ekstensyjnym reżimie deformacji rotacyjnej (ryc. 3).

W profilu otworu Sokółka IG 6 występują głównie gnejsy i migmatyty (Ryka, 1961b). W zachowanym rdzeniu stwierdzono upady foliacji  $S_M$  pod kątem ok. 75°. Wskaźniki kinematyczne wskazują na nasuwczy typ deformacji w warunkach podatnych. Tylko cztery pomiary skrzywienia osi otworu w skałach krystalicznych wykazały trymetrowe odchylenie ku NE. Dane te mogą wskazywać na bieg foliacji  $S_M$  w kierunku NW–SE i jej upad ku SW. Jeśli założenie to jest poprawne, to transport tektoniczny odbywał się ku NE, w reżimie kontrakcyjnym (ryc. 3).

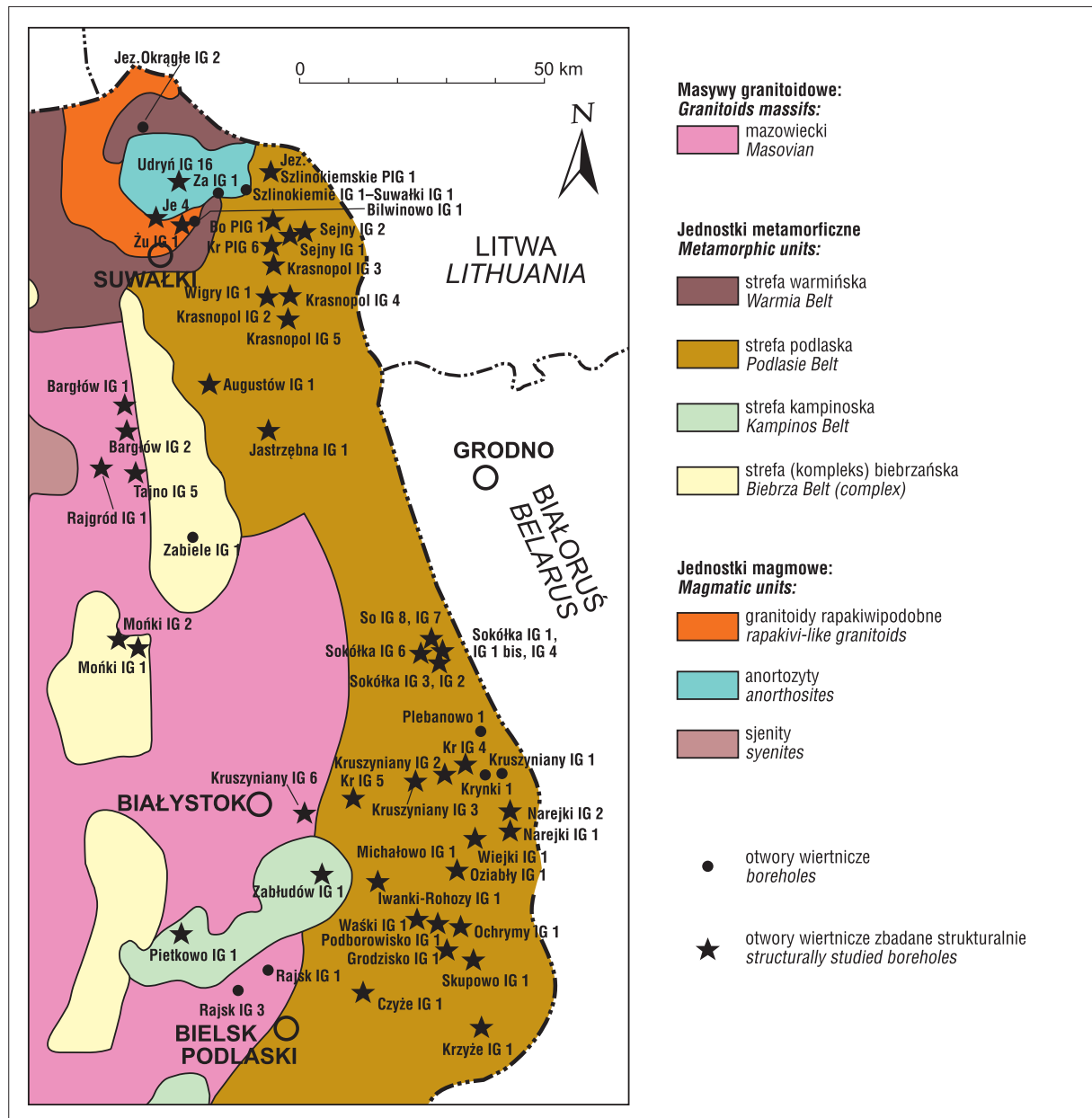
W otworze Sokółka IG 7 opisano gnejsy i migmatyty (Ryka, 1961c). Obserwacje 80 cm rdzenia wykazują upad foliacji  $S_M$  pod kątem 80–85°. Rzadkie wskaźniki kinematyczne, o dużym stopniu niepewności wskazują na normalne, podatne zwroty ścinania, a miejscami także przemieszczenia nasuwcze.

W otworze Sokółka IG 8 dominują gnejsy biotytowe, biotytowo-hornblendowe i granitognejsy (Stańczyk, Znosko, 1961a). Foliacja  $S_M$  jest dobrze rozwinięta i zapada pod kątem ok. 50°. W zachowanym rdzeniu nie rozpoznano wiarygodnych wskaźników kinematycznych.

## „PRZEKRÓJ WIERTNICZY” KRUSZYNIANY 1–6

Tzw. przekrój wiertniczy Kruszyniany 1–6 o długości prawie 35 km jest zorientowany w kierunku WSW–ENE, od otworu Tatarowice K6 (Kruszyniany IG 6) po Kruszyniany IG 1 (ryc. 1, 2). Otwory w tym „przekroju” zlokalizowano prostopadle do południkowego przebiegu dodatniej anomalii magnetycznej. Niestety, z większości wierceń zachowały się tylko jedna lub dwie skrzynki z rdzeniem, natomiast z otworu Kruszyniany IG 1 (Zawadzka, Znosko, 1961a) nie uchował się żaden materiał wiertniczy.

W otworze Kruszyniany IG 2 występują silnie skataklazowane gnejsy (Znosko, 1960c; Ryka, 1961a). W przewierconym interwale skał krystalicznych (zaledwie 8,6 m) przeważają granodioryty i lokalnie gnejsy laminowane (mylonityczne). Foliacja  $S_M$  jest na ogół stroma (60–70°), a w stropie otworu nawet pionowa. Lineacja ziarna mineralnego  $L_M$  jest prawie równoległa do kierunku upadu



**Ryc. 2.** Mapa lokalizacji otworów zakończonych w podłożu krystalicznym w regionach Podlasia i Suwalszczyzny na tle jednostek strukturalno-tektonicznych (według Kubickiego, Ryki, 1982; zmodyfikowana graficznie)

**Fig. 2.** Map of boreholes that bottomed out in the crystalline basement of the Podlasie and Suwałki regions, plotted against the background of tectonic units (modified graphically; after Kubicki, Ryka, 1982)

foliacji  $S_M$ , czasem nieco skośna, jak we wszystkich pozostałych otworach tego „profilu wiertniczego”. Wskaźniki kinematyczne (struktury mylonityczne głównie typu S-C i porfiroklasty typu  $\sigma$ ) dobrze dokumentują nasuwczą specyfikę podatnej deformacji niekoaksjalnej (ryc. 3).

W otworze Kruszyńniany IG 3 występują łupki chlorytowe i gnejsy (Piotrowska, Znosko, 1961). W zachowanym rdzeniu regionalna foliacja  $S_M$  zapada pod kątem 35–40°. Wskaźniki kinematyczne (struktury typu S-C i porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$ ) wskazują na reżim ekstensyjny w warunkach podatnej deformacji niekoaksjalnej.

W otworze Kruszyńniany IG 4 stwierdzono gnejsy (Stańczyk, Znosko, 1960). Foliacja  $S_M$  w gnejsach charakteryzuje się umiarkowanym upadem ok. 40–50°. Wskaźniki kinematyczne (lokalnie liczne porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$  i rzadkie struktury mylonityczne typu S-C) wskazują na nasuwczą przemieszczenia podatne.

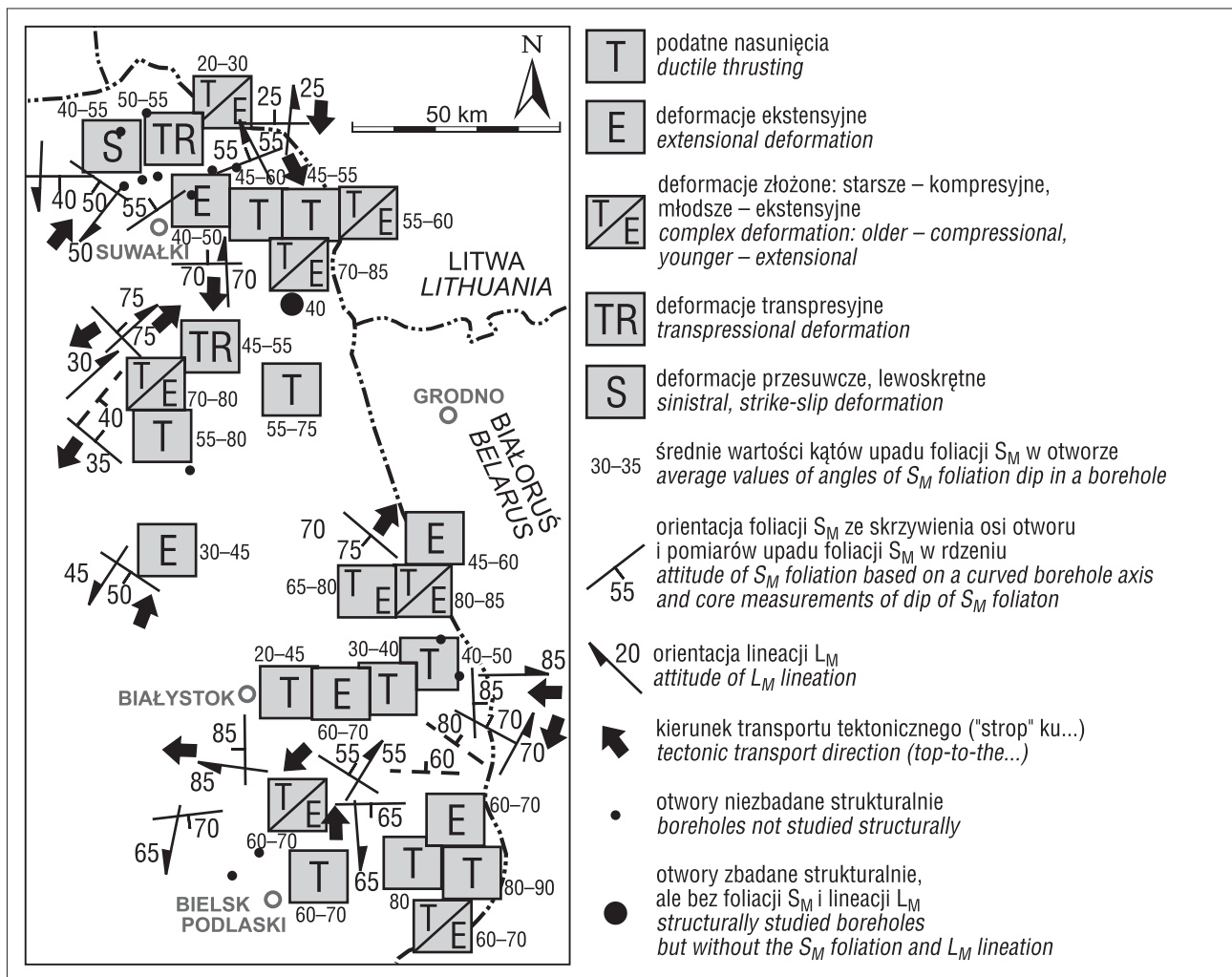
W otworze Kruszyńniany IG 5 (Nowosiółki K5) występują gnejsy, granitoidy, granitognejsy, łupki łyszczkowo-kwarcowe i migmatyty (Zawadzka, Znosko, 1961b). Foliacja  $S_M$  zapada pod kątem ok. 20–45°. Brak tu jednak wiarygodnych, wskaźnikowych struktur asymetrycznych.

W otworze Kruszyńniany IG 6 (Tatarowice IG 6) nawiercono granitognejsy i gnejsy (Stańczyk, Znosko, 1961b). Foliacja  $S_M$  zapada pod kątem 35–45°, a rzadkie wskaźniki kinematyczne (jedynie porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$ ) wskazują na reżim nasuwczy w warunkach podatnej deformacji niekoaksjalnej.

### „PRZEKRÓJ WIERTNICZY” BIAŁOWIEŻA 1–6

„Przekrój wiertniczy” Białowieża, o długości ok. 40 km, przebiega w kierunku NW–SE i obejmuje 6 otworów. Najbardziej na NW jest wysunięty otwór Iwanki-Rohozy IG 1





**Ryc. 3.** Mapa strukturalno-kinematyczna regionów Podlasia i Suwalszczyzny (wg Cymermana, 2004; zmodyfikowana graficznie)  
**Fig. 3.** Structural-kinematic sketch-maps of the Podlasie and Suwałki regions (modified graphically; based on Cymerman, 2004)

(Paskowszczyzna), a na SE – otwór Krzyże B4 (ryc. 1, 2). W wyniku redukcji materiałów wiertniczych z każdego z tych otworów zachowano po jednej lub po dwie skrzynki rdzeni.

W otworze Podborowisko IG 1 (Podborowisko B1) (Znosko, 1968) występują amfibolity, migmatyty i gnejsy amfibolowe. W zachowanych rdzeniach foliacja  $S_M$  zapada pod kątem 75–85°, a lineacja  $L_M$  jest prawie równoległa do kierunku upadu foliacji  $S_M$ . Tak zorientowana, ale słabo wykształcona – co jest spowodowane postmylonityczną rekryształacją ziarna mineralnego – lineacja  $L_M$  jest typowa w rdzeniach z pozostałych otworów tego „profilu wiertniczego” na Podlasiu. Porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$  i „rybie” biotyty wskazują na przemieszczenia nasuwcze.

W otworze Waśki IG 1 (Waśki B2) z 42,8 m przewierconej leukokratycznej skały plagioklazowej jest zachowanych tylko 1,7 m rdzenia. Skała ta jest bezkierunkowa lub wykazuje słabą teksturę kierunkową. Jedynie lokalnie doszło do rozwoju smug i pasemek mylonitycznych typu C i C'. Foliacja  $S_M$  zapada pod kątem 65–70°, a pasemka mylonityczne typu C' – pod mniejszymi kątami (50–55°). Rzadkie wskaźniki kinematyczne w pasemkach mylonitycznych (struktury typu „rybich” biotyty, porfiroklastów typu  $\sigma$  i struktury typu domino) wskazują wyraźnie na przemieszczenia nasuwcze podczas deformacji niekoaksjalnej. Wykonane trzy pomiary skrzywienia osi otworu w

skalach krystalicznych wskazują na odchylenie osi otworu o ok. 0,5 m ku N. Fakt ten (o małym jednak stopniu wiarygodności) może wskazywać na bieg foliacji  $S_M$  prawie W–E i jej upad ku S. Przy takim założeniu transport tektoniczny mógł się odbywać w kierunku ku N.

W otworze Iwanki-Rohozy IG 1 (Białowieża 3 lub Iwanki B3) nawiercono granitoidy (Zawadzka, Subieta, 1961), w których rozpoznano struktury mylonityczne z porfiroklastami mikroklinu (Ryka, 1967). W zachowanym rdzeniu (zaledwie 1,3 m) stwierdzono stromo zapadającą (75–85°) foliację  $S_M$ . Wskaźniki kinematyczne, niezbyt wiarygodne i nieliczne, wskazują na nasuwcze lub transpresyjne cechy deformacji rotacyjnej. Jednak niektóre z nich, jeszcze mniej wiarygodne, mogą świadczyć o lewoskrętnych, podatnych przemieszczeniach przesuwczych, a najmniej pewne wskaźniki sugerują podatne lub podatno-krucho uskokowanie normalne, związane z ekstensyjnym reżimem deformacji.

W otworze Grodzisko IG 1 (Białowieża B5 lub Grodzisko 5) dominują gnejsy z wkładkami amfibolitów (Znosko, 1968). Foliacja  $S_M$  zapada stromo – pod kątem ok. 80–85°. Smużki i pasemka mylonityczne typu C i C' są na ogół ułożone prawie równoległe do orientacji foliacji  $S_M$ . Soczewki plagioklazowe i kwarcowe, czasem o formie typu  $\sigma$ , są jedynymi wskaźnikami zwrotu ścinania. Świadczą one o nasuwczym modelu deformacji podatnej.

W otworze Skupowo IG 1 (Białowieża 6) występują gnejsy i amfibolity (Znosko, 1961b, 1968). Foliacja  $S_M$  w gnejsach jest prawie pionowa i często podkreślona pasemkami mylonitycznymi typu C. Nieliczne wskaźniki zwrotu ścinania prostego (porfiroklasty plagioklazowe i kwarcowe typu  $\sigma$ ) wskazują na nasuwczy typ deformacji w warunkach podatnych.

W otworze Krzyże IG 1 (Białowieża B4 lub Krzyże 4) występują szare gnejsy (Wojtasiński, Znosko, 1962; Znosko, 1968), które według Ryki (1967) są hornfelsami z cienkimi wkładkami skał amfibolitowych i epidotowych. Hornfelsy te powstały w wyniku wysokotemperaturowego metamorfizmu regionalnego (ok. 770°C). Foliacja  $S_M$  jest przeważnie dobrze wykształcona i zapada pod zmiennymi kątami (40–75°). Asymetryczne struktury ścięciowe sugerują, że doszło tam do przemieszczeń nasuwczych. Stwierdzono także nieliczne i niewiarygodne wskaźniki kinematyczne sygnalizujące deformacje ekstensyjne.

### POZOSTAŁE WIERCENIA NA PODLASIU

Po odwierceniu 20 otworów opisanych w poprzednich rozdziałach przez kolejne dwie dekady wykonano jeszcze tylko 13 wierceń, w następującej kolejności: Rajsk IG 1 (1964 r.), Zabłudów (1965 r.), Plebanowo 1 (1966 r.), Rajsk IG 2 (1967 r.), Michałowo IG 1 (1972 r.), Stadniki IG 1 (1972 r.), Narejki IG 1 (1973 r.), Wiejki IG 1 (1973 r.), Oziabły IG 1 (1973 r.), Ochrymy IG 1 (1973 r.), Czyże IG 1 (1973 r.), Pietkowo IG 1 (1976 r.) i Narejki IG 2 (1982 r.). Metraż przewierconych w nich skał krystalicznych był różny, od mniej niż 30 m (Stadniki IG 1, Rajsk IG 1, Rajsk IG 3) do prawie 500 m (Plebanowo 1, Narejki IG 1, Oziabły IG 1, Pietkowo IG 1) i nawet aż 917 m w otworze Narejki IG 2, czyli w ostatnim otworze nawiercającym skały krystaliczne na Podlasiu. Szczegółowe opisy niektórych z tych otworów znajdują się w zeszytach serii *Głębokie otwory wiertnicze* (Jarmołowicz-Szulc, 1996, 1998; Krystkiewicz, 1998, 2000).

Otwory Narejki IG 1 i IG 2 są usytuowane w pobliżu granicy z Białorusią, na obszarze lokalnej anomalii magnetycznej i grawimetrycznej, gdzie zakładano występowanie gabronorytów, norytów i leukogabr z magnetytem tytanośnym i ilmenitem. Ponieważ w otworze Narejki IG 1 wśród skał amfibolitowych nie stwierdzono magnetytów, to wykonano dodatkowo głębsze wiercenie Narejki IG 2, gdzie występują głównie gnejsy i podrzędnie gnejsy amfibolowe (Krystkiewicz, 1998). W otworze Narejki IG 1 foliacja  $S_M$  zapada najczęściej pod kątem 60–80°. Wskaźniki kinematyczne (głównie porfiroklasty plagioklazowe typu  $\sigma$ ) wskazują na procesy nasuwcze. Rezultaty 19 pomiarów krzywizny otworu w amfibolitach świadczą o prawdopodobnym upadzie foliacji  $S_M$  ku NE. Jeśli to założenie jest poprawne, nasuwanie wyżej leżących domen skalnych odbywałoby się ku SW. W otworze Narejki IG 2 silnie rozwinięta foliacja  $S_M$  zapada przeważnie pod bardzo stromymi kątami. Lineacja  $L_M$  jest równoległa do kierunku upadu foliacji  $S_M$ . Liczne i dobrze wykształcone porfiroklasty plagioklazowe typu  $\sigma$ , struktury mylonityczne typu S-C i pasemka ścinania typu C' wskazują na przemieszczenia nasuwcze. Wyniki 39 pomiarów krzywizny otworu świadczą o stałym odchyleniu osi otworu ku W, z odejściem na 85 m, dlatego też można zakładać, że foliacja  $S_M$  w otworze przebiega prawie południkowo i zapada stromo ku W, a tym samym, że w warunkach reżimu kontrakcyjnego

go procesy nasunięciowe powodowały przemieszczanie wyżej leżących domen ku W i ewentualnie ku SW.

W otworze Michałowo IG 1 występują głównie gnejsy i migmatyty, lokalnie amfibolity. Foliacja  $S_M$  najczęściej zapada pod kątem 50–60°, czasem bardziej stromo lub nawet pionowo. Wskaźniki świadczą o podatnych przemieszczeniach nasunięciowych. Jednak lokalnie wskaźniki kinematyczne o dużym stopniu pewności wskazują także na deformację ekstensyjną. Zdarza się, że w jednej próbce rdzenia współwystępują wskaźniki ścinania wyznaczające zarówno kontrakcyjny, jak i ekstensyjny reżim deformacji. Wyniki badań płytek cienkich potwierdzają dominację procesów nasuwczych, ale także lokalny rozwój późniejszych ekstensyjnych pasemek ścinania typu C' o składowej normalnej (Cymerman, 2004). Zapisy 16 pomiarów skrzywienia osi tego otworu w skałach krystalicznych wskazują na jej odchylenie o 20 m ku SW. Na podstawie wyników tych pomiarów można wyznaczyć upad foliacji  $S_M$  ku NE. Ustalona w ten sposób dość wiarygodnie orientacja foliacji  $S_M$  jest prostopadła do zakładanego biegu głównych struktur tektonicznych z obszaru Podlasia w kierunku NE–SW (Kubicki i in., 1972). Na podstawie przyjętej orientacji foliacji  $S_M$  i lineacji  $L_M$  oraz wskaźników kinematycznych ustalono kierunek nasuwczego transportu domen skalnych o zwrocie ku SW.

Otwór Wiejki IG 1 usytuowano na lokalnej, wydłużonej anomalii magnetycznej w obrębie grawimetryczno-magnetycznej anomalii pasmowej Podlasia, gdzie dominują amfibolity i skały amfibolowe (Krystkiewicz, 2000). Foliacja  $S_M$  charakteryzuje się stromymi upadami (70–90°). Amfibolity zmylonityzowane z porfiroklastami plagioklazowymi wskazują na reżim kontrakcyjny. Rezultaty 18 pomiarów skrzywienia osi otworu w skałach krystalicznych wskazują na odchylenie od pionu o 19,5 m ku SSW. Dane te są wiarygodne i świadczą o upadzie foliacji  $S_M$  ku NNE.

Otwór Oziabły IG 1 jest zlokalizowany na dodatniej, lokalnej anomalii grawimetrycznej. Występują w nim głównie gnejsy amfibolowe i amfibolity oraz granulity i skały piroksenowo-amfibolowe (Krystkiewicz, Ryka, 1975). Skały te są często intensywnie zmylonityzowane. Foliacja  $S_M$  charakteryzuje się najczęściej upadem rzędu 40–70°. Asymetryczne wskaźniki kinematyczne sygnalizują przemieszczenia nasunięciowe. Dane o skrzywieniu osi tego otworu są bardzo wiarygodne, ponieważ zasadzają się aż na kilkudziesięciu wynikach pomiarów w skałach metamorficznych. Charakterystyczne jest stałe skrzywienie osi otworu w azymucie 180°, z odejściem o 55,3 m od pionu. Świadczy o tym kierunek upadu foliacji  $S_M$  ku N i transport tektoniczny o zwrocie „strop” ku S.

W otworze Zabłudów IG 1 nawiercono gnejsy i migmatyty oraz łupki hornblendowe i serycytowe (Ryka, 1973). Foliacja  $S_M$  jest dobrze wykształcona i zapada pod zmiennymi kątami – z przewagą 85–90°. Asymetryczne porfiroklasty skaleniowe typu  $\sigma$  i struktury mylonityczne typu S-C wskazują na podatne deformacje w reżimie ekstensyjnym.

W otworze Pietkowo IG 1 występują głównie gnejsy i granitoidy (Juskowiak, Kubicki, 1977). W granitoidach stwierdzono foliację  $S_0$  z płynięcia magmy, zapadającą pod kątem 65–70°. Foliacja metamorficzna  $S_M$  upada pod podobnym kątem – ok. 60–65°. Liczne asymetryczne porfiroklasty plagioklazowe typu  $\sigma$ , rzadko typu  $\delta$ , świadczą o nasuwczych deformacjach podatnych. Wyniki 21 pomiarów krzywizny osi otworu wykonanych w skałach krystalicznych wskazują na łukowate (w planie) wygięcie osi

otworu ku S, z odejściem od pionu o 13 m. Dane te sugerują upad foliacji  $S_M$  ku S, co może wskazywać na przemieszczenie o zwrocie „strop” ku N lub NNW. Tylko w tym otworze udało się z dużym prawdopodobieństwem określić kierunek transportu tektonicznego ku NNW do N, przy upadzie foliacji  $S_M$  ku SSE i nachyleniu lineacji  $L_M$  ku SSE. Podobne dane, ale znacznie rzadsze i mniej wiarygodne, sugerują równoleżnikowy bieg foliacji  $S_M$  w otworach Waśki IG 1 i Podborowisko IG 1 (ryc. 3).

W otworze Ochrymy IG 1 dominują amfibolity, podzędnie występują w nim gnejsy amfibolowe i skały hornblendowe (Ryka, Krystkiewicz, 1975). Regionalna foliacja  $S_M$  zapada najczęściej pod kątem 60–70°, rzadziej bardziej stromo. Najliczniejszymi asymetrycznymi wskaźnikami ścinania są porfiroklasty plagioklazowe typu  $\sigma$  i struktury mylonityczne typu S-C, które wskazują na ich rozwój w reżimie ekstensyjnym. Jednak należy podkreślić, że te asymetryczne wskaźniki nie są zbyt wiarygodne, co było głównie spowodowane rekrytalizacją statyczną porfiroklastów plagioklazowych już po ustaniu procesów ścinania prostego.

Prawie 20 km na SW od „profilu wiertniczego” Białowieża znajduje się otwór Czyże IG 1. W profilu krystaliniku dominują w nim gnejsy i amfibolity oraz granulity piroksenowe (Jarmołowicz-Szulc, 1996). Niestety, w magazynach NAG PIG-PIB zachowanych jest tylko 12 odcinków rdzenia, średnio po 5 m długości. Foliacja  $S_M$  jest dobrze wykształcona w tych skałach i charakteryzuje się zmiennym upadem, najczęściej w zakresie ok. 60–70°. Wskaźniki kinematyczne, liczne i dobrze wykształcone w gnejsach oczkowych, dokumentują nasunięciowy typ deformacji podatnej.

Otwór Stadniki IG 1 zlokalizowano w strefie zakładanego kontaktu kompleksu podlaskiego z tzw. masywem mazowieckim. Nawiercono w nim skały opisane jako migmatyty (Ryka, 1973), jednak obserwacje strukturalne wskazują, że dominują tu zmylonityzowane gnejsy, które powstały w wyniku heterogenicznych procesów ścinania prostego. Zachowane reliktury skały macierzystej wskazują na magmowy protolit skał mylonitycznych. Dominująca foliacja  $S_M$  jest dobrze rozwinięta i charakteryzuje się stałym kątem upadu ok. 50–60°. Asymetryczne formy porfiroklastów typu  $\sigma$  dokumentują nasuwające deformacje podatne, co potwierdzają obserwacje mikrostrukturalne płytek cienkich. Miejscami jednak asymetryczne wskaźniki kinematyczne zostały w różnym stopniu zmodyfikowane w wyniku młodszych procesów ekstensyjnych, prowadzących do rozwoju normalnych uskoków podatno-kruchych.

## DYSKUSJA

Gdyby na przełomie lat 50. i 60. XX w. znano nowoczesną analizę strukturalną, to zapewne dobrze udokumentowano by, także fotograficznie, wszystkie elementy strukturalne możliwe do odczytania z ponad 1160 m rdzeni wiertniczych skał proterozoicznych pochodzących ze strefy podlaskiej. Strefa ta jest niewątpliwie silnie zmylonityzowana, przeważnie jednak przejścia od gnejsu mylonitycznego do mylonitu są stopniowe i trudne do wyznaczenia, głównie ze względu na heterogeniczność deformacji rotacyjnej i zlokalizowany rozwój stref ścinania podatnego. Procesy ścinania prostego, czasem ze składową ścinania czystego, doprowadziły do rozwoju gnejsów mylonitycznych o różnej strukturze: od oczkowych przez odmiany oczkowo-warstewkowe, warstewkowo-oczkowe i warstewkowe po

cienkolaminowane czy na końcu do – fyllonitów. Taka progresywna zmiana struktury była wywołana wzrastającym stopniem odkształceń rotacyjnych. Tradycyjnie opisywane gnejsy laminowane są mylonitami gnejsowymi, które charakteryzują się teksturą wybitnie kierunkową, równoległą, z naprzemianległymi, jasnymi i ciemnymi laminami o miąższości od 1 do 5 mm. Takie laminowane gnejsy mylonityczne są pospolite na Podlasiu. Stwierdzono je m.in. w otworach z okolic Sokółki, a także w otworach Zabłudów IG 1, Michałowo IG 1, Narejki IG 1 i Czyże IG 1. Rozpoznano je także na Suwalszczyźnie w otworach Wigry IG 1, Łanowicze PIG 1, Krasnopol PIG 6 i Krasnopol IG 1 (Cymerman, 2004). W świetle wyników badań strukturalnych gnejsy oczkowe z dużymi ziarnami porfiroklastów skaleni w tle afanitowym, lokalnie wykształconymi w postaci soczewek o wielkości ponad 1 cm, należy uznać za protomylonity (blastomylonity). Stwierdzono je m.in. w otworach: Sokółka IG 1, Sokółka IG 3, Krynki IG 1, Kruszyniany IG 3, Kruszyniany IG 5, Kruszyniany IG 6 i Michałowo IG 1 (Cymerman, 2004).

Liczne strefy ścinania podatnego prostego są rozwinięte we wszystkich skałach krystalicznych strefy podlaskiej. Niestety, w wielu przypadkach prawie całkowita likwidacja rdzeni ograniczyła rozpoznanie tych ważnych stref tektonicznych i ich relacji – od skały wyjściowej po końcowy produkt mylonityzacji. Deformacja rotacyjna objęła skały kwaśne (granitoidy) i zasadowe (amfibolity) z różną intensywnością ścinania prostego. Na tych obszarach miąższość strefy ścinania podatnego może przekraczać kilkaset metrów, a nawet kilka czy kilkanaście kilometrów.

W wyniku analizy strukturalnej i kinematycznej materiałów wiertniczych z regionu Podlasia stwierdzono dominację nasunięciowego lub też transpresyjnego typu deformacji niekoaksjalnej, związanej z podatnymi nasunięciami różnych geometrycznych pakietów skalnych (tworzącymi łuski i imbrykacje) o zwrocie „strop” ku górze otworu. Rzadsze i na ogół młodsze były procesy ekstensyjne, związane z normalnym, podatnym uskokowaniem. Do rzadkości należą przemieszczenia przesuwcze – stwierdzono tylko słabo udokumentowany zwrot lewoskrętny.

Dane geofizyczne w powiązaniu z pomiarami orientacji foliacji  $S_M$  wskazują na dominację jej biegu w strefie podlaskiej w kierunku zbliżonym do NW–SE, WNW–ESE i rzadko w kierunku W–E lub N–S. Zakładając poprawność ustaleń orientacji regionalnej foliacji  $S_M$ , dominujący transport tektoniczny odbywałby się w kierunku zbliżonym do NE–SW, NNE–SSW, z przemieszczeniami nasuwczymi ku SW i SSW lub ku W; podobnie jak na Suwalszczyźnie czy na Litwie SW (Cymerman, 2007). Lokalnie transport tektoniczny odbywał się także ku N i NE w reżimie kontrakcyjnym.

W strefie podlaskiej zasadnicza kolizja płyt litosferycznych nastąpiła w czasie orogenezy swekofeńskiej i charakteryzowała się: 1) reżimem kontrakcyjnym z rozwojem licznych łusek krystalicznych, przemieszczanych głównie ku SW i W lub miejscami ku N i NE oraz 2) późniejszym reżimem ekstensyjnym z transportem tektonicznym skierowanym głównie ku W. Deformacje nasunięciowe były związane z procesami subdukcyjno-kolizyjnymi tektoniki płytowej, a deformacje w reżimie ekstensyjnym najprawdopodobniej wynikały z postkolizyjnego zapadania się pogrubionej tektonicznie skorupy kontynentalnej (Cymerman, 2004).



## PODSUMOWANIE

Tak jak rezultaty badań petrograficznych nie rozwiązały kluczowych problemów ewolucji krystalicznego podłoża platformy wschodnioeuropejskiej, tak również wyniki badań strukturalnych i kinematycznych, chociaż wniosły wiele nowych danych, nie rozwiązały licznych zasadniczych problemów, a dodatkowo wprowadziły nowe pytania.

Do nowych wniosków badawczych należy stwierdzenie na Podlasiu rozwoju licznych stref ścinania podatnego, prowadzących do rozwoju skał mylonitycznych w warunkach metamorfizmu regionalnego w facji amfibolitowej i granulitowej. Strefy te są wykształcone heterogenicznie i powstały głównie w reżimie deformacji nasuwczącej do transpresyjnej. Rozwój struktur utworzonych w warunkach ekstensyjnego reżimu deformacji był lokalny i (lub) młodszy od głównych deformacji oraz regionalnego metamorfizmu podczas orogenezy swekofeńskiej. Dominujący kierunek transportu tektonicznego wielu domen strukturalnych (w formie łusek tektonicznych) był skierowany ku SW lub w kierunkach zbliżonych.

Kluczowe jest jednak pytanie o przebieg głównych struktur tektonicznych na obszarze Podlasia, tradycyjnie zakładany w kierunku NE-SW. W świetle dotychczasowych wyników badań strukturalnych i danych geofizycznych o skrzywieniu osi najgłębszych otworów wiertniczych na Podlasiu wiarygodna wydaje się teza o NW-SE orientacji regionalnej foliacji  $S_M$ . Taka orientacja foliacji  $S_M$  i stref ścinania podatnego jest zatem prostopadła do przebiegu zakładanych głównych struktur tektonicznych na obszarze Podlasia, a tym samym do przebiegu tzw. strefy podlaskiej. Wobec takiej interpretacji strefa podlaska nie może stanowić SW fragmentu tzw. pasa granulitowego podlasko-białoruskiego, co oznacza, że na Podlasiu nie znajduje się zakładane umownie pogranicze płyt litosfery Fennoskandii i Sarmacji.

Prawidłowo rozpoznana budowa strukturalna tzw. podlasko-białoruskiego pasa granulitowego nabiera szczególnego znaczenia w interpretacjach regionalnych i modelach geotektonicznych przyjmowanych dla całego kratonu wschodnioeuropejskiego. Dlatego sugerowane jest w przyszłości ściśle powiązanie wysiłków badawczych z różnych dziedzin nauk geologicznych, takich jak geologia strukturalna, petrologia, geochemia, geologia izotopowa i geofizyka. Najważniejsze są jednak nowe otwory wiertnicze, głębokie co najmniej do 1000 m, które dostarczą nowego materiału badawczego, w tym rdzeni orientowanych względem stron świata, potrzebnych do wyjaśnienia budowy i ewolucji zakrytego, proterozoicznego, krystalicznego podłoża Polski NE.

Profesor Jerzy Znosko odegrał kluczową rolę w początkach penetracji wiertniczej na terenie Polski NE, ukierunkowanej w połowie lat 50. XX w. głównie na poszukiwania rud żelaza w kompleksach krystalicznych. Był pomysłodawcą wykonania opisanych w tym artykule otworów, wzdłuż „przekrojów wiertniczych” Białowieża, Kruszyniany i Sokółka. Artykuł niniejszy powstał w związku z sesją poświęconą dorobkowi naukowemu Profesora Jerzego Znoski, z którym autor miał zaszczyt prowadzić ożywione dyskusje, nie tylko o Podlasiu, ale także o ziemiach utraconych, z płytkim zaleganiem skał proterozoicznych. Szczególnie dziękuję za wnikliwą recenzję Pani Profesor Katarzynie Jarzembkiewicz-Szulc oraz drugiemu, acz anonimowemu, Recenzentowi.

## LITERATURA

- BOGDANOVA S.V., BINGEN B., GORBATSHEV R., KHERASKOVA T.N., KOZLOV V.I., PUCHKOV V.N., VOLOZH Y.A. 2008 – The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Res.*, 160: 23–45.
- BOGDANOVA S.V., GORBATSHEV R., SKRIDLAITE G., SOESOO A., TARAN L., KURLOVICH D. 2015 – Trans-Baltic Palaeoproterozoic correlations towards the reconstruction of supercontinent Columbia/Nuna. *Precambrian Res.*, 259: 5–33.
- CYMERMAN Z. 2004 – Prekambr platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski: tektonika i rozwój skorupy. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 180: 1–129.
- CYMERMAN Z. 2007 – Czy na Mazurach istnieje prawoskrętna strefa ścinania? *Prz. Geol.*, 55 (2): 157–167.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. (red.) 1996 – Czyże IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 85.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. (red.) 1998 – Oziabły IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 91.
- JUSKOWIAK O., KUBICKI S. 1977 – Karta otworu wiertniczego: Pietkowo IG 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- KRYSTKIEWICZ E. (red.) 1998 – Narejki IG 1, Narejki IG 2. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 89.
- KRYSTKIEWICZ E. (red.) 2000 – Wiejki IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 96.
- KRYSTKIEWICZ E., RYKA W. 1975 – Wyniki badań petrograficznych. Wyniki wiercenia Oziabły 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- KUBICKI S., RYKA W. (red.) 1982 – Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Wyd. Geol. Warszawa.*
- KUBICKI S., RYKA W., ZNOSKO J. 1972 – Tektonika podłoża krystalicznego prekambryjskiej platformy w Polsce. *Kwart. Geol.*, 16 (3): 523–545.
- PIOTROWSKA T., ZNOSKO J. 1961 – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 3. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.*
- RYKA J. 1961a – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 3. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- RYKA J. 1961b – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 6. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- RYKA J. 1961c – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 7. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- RYKA W. 1967 – Budowa i skład petrograficzny krystaliniku w rejonie Białowieży-Białegostoku. *Biul. Inst. Geol.*, 207: 7–58.
- RYKA W. 1973 – Dokumentacja otworu Stadniki IG 1. Wyniki badań petrograficznych. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- RYKA W., KRYSTKIEWICZ E. 1975 – Wyniki badań petrograficznych. [W:] *Dziedzic A. i in., Wyniki wiercenia Ochrymy 1. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- SOKOŁOWSKI J., ZNOSKO J. 1959 – Mapa tektoniczna Polski. [W:] *Atlas geologiczny Polski 1 : 1 000 000. Inst. Geol., Warszawa.*
- STAŃCZYK I., ZNOSKO J. 1960 – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 4. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- STAŃCZYK I., ZNOSKO J. 1961a – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 8. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- STAŃCZYK I., ZNOSKO J. 1961b – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 6 (Tatarowice). *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- TYSKI S. 1957 – Karta otworu wiertniczego: Krynki 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- WOJTASIŃSKI T., ZNOSKO J. 1962 – Karta otworu wiertniczego: Krzyże 4. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZAWADZKA A., STAŃCZYK I., ZNOSKO J. 1960 – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 4. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZAWADZKA A., SUBIETA M. 1961 – Karta otworu wiertniczego: Iwaniki 3. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZAWADZKA A., ZNOSKO J. 1961a – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZAWADZKA A., ZNOSKO J. 1961b – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 5 (Nowosiółki). *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1958a – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 2. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1960b – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1960c – Karta otworu wiertniczego: Kruszyniany 2. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1961a – Karta otworu wiertniczego: Sokółka 1 bis. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1961b – Karta otworu wiertniczego: Skupowo 6. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- ZNOSKO J. 1968 – Opracowanie profili litologicznych z otworów: Suwałki IG 1, Krasnopol 1–5, Sokółka 1–8, Kruszyniany 1–6, Białowieża 1–6, Holeszów 1. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*