

MEZOPROTEROZOICZNE ZŁOŻE RUD TYTANOMAGNETYTOWYCH W SUWALSKIM MASYWIE ANORTOZYTOWYM I JEGO ŚRODOWISKO GEOLOGICZNE

A MESOPROTEROZOIC TITANOMAGNETITE ORE DEPOSIT IN THE SUWALKI ANORTHOSITE MASSIF AND ITS GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Janina Wiszniewska, Zdzisław Petecki - Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Rudonośny suwalski masyw anortozytowy (SAM) razem z anortozytowym masywem Kętrzyna i norytowa intruzją Sejn, występują w obrębie 200 km długości magmowego terranu zwanego kompleksem mazurskim (NE Polska). Rozciągający się pasmowo w kierunku W-E proterozoiczny kompleks mazurski jest zbudowany z różnorodnych skał o składzie od kwaśnych przez pośrednie do zasadowych. Kwarcowe monzonity i granodioryty są najbardziej rozpowszechnionym typem skał w obrębie facji. Kompleks mazurski przecina kilka kompleksów metamorficznej facji granulitowej i amfibolitowej np. kompleks pomorski, dobrzyński, ciechanowski i mazowiecki.

Złoża rud Fe-Ti-(V) w anortozytowym masywie suwalskim zostały odkryte we wczesnych latach 60-tych XX wieku, pod miąższym nakładem fanerozoicznych skał osadowych w obrębie małych dodatnich anomalii magnetycznych, w rejonie Krzemianki, Udryna, Jeleniewa i Jeziora Okrągłego. Złoża te zostały udokumentowane przy pomocy ok. 100 głębokich otworów wiertniczych, do głębokości 2300 m, a zasoby oszacowane w kat. C₁ i C₂ na ok. 1,5 mld ton rudy tytanomagnetytowej z wanadem, głównie w polu rudnym Krzemianka i Udryn.

Słowa kluczowe: suwalski masyw anortozytowy, rudy Fe-Ti-V, geochronologia Re-Os

The ore-bearing Suwałki Anorthosite Massif (SAM) together with the Kętrzyn Anorthosite Massif and Sejny norite intrusion are located within 200 km long magmatic terrane called Mazury Complex (NE Poland). The beltiform Proterozoic Mazury Complex is made up of a variety of rocks from felsic and intermediate to the basic ones. The quartz monzonites and granodiorites are the most widespread rock type within the suite. The belt crosscuts several metamorphic granulite and amphibolite facies units, including Pomorian, Dobrzyń, Ciechanów and Mazovian.

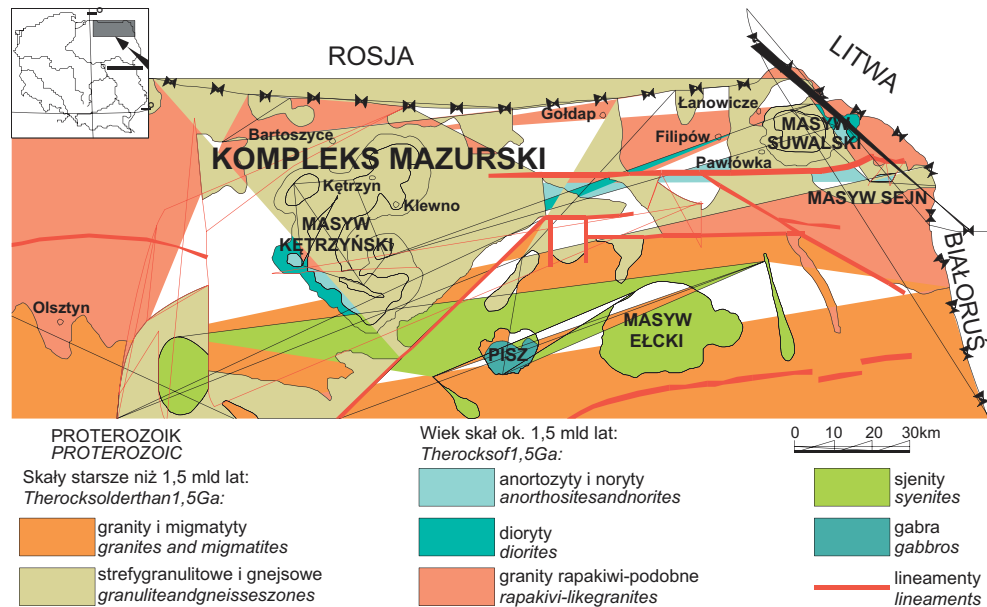
Large Fe-Ti-(V) ore deposits of Krzemianka, Udryn, Jeleniewo and Jezioro Okrągłe have been discovered in early 60-ties, within the small positive magnetic anomalies in the Suwałki Massif and evaluated down to the depth of 2300 m by over 100 boreholes yielding of about 1.5 billion tons of economic reserves, mostly at Krzemianka and Udryn ore fields.

Key words: Suwałki Anorthosite Massif, Fe-Ti-V ore deposits, Re-Os geochronology

Wstęp

Suwalski masyw anortozytowy (SAM) wraz z rozpoznanymi rudami żelaza i tytanu (z wanadem), należy do większej jednostki geologicznej pochodzenia magmowego – kompleksu mazurskiego, który zajmuje północno-wschodni obszar polskiej części kratonu wschodnioeuropejskiego (rys.1). Jednostka ta zbudowana jest z krystalicznych skał kwaśnych: granitów i czarnockitów, skał pośrednich: mangerytów i diorytoidów oraz skał zasadowych, do których należą suwalskie anortozyty, noryty

i gabra. Wszystkie te skały są ze sobą genetycznie związane tworząc pospolitą w proterozoiku fację skał magmowych typu AMCG (Anortozyt-Mangeryt-Charnockit-(rapakivi) Granit) [26], [28]. Prekambryjskie skały kratonu wschodnioeuropejskiego przykrywa gruba warstwa osadowych skał młodszych, o miąższości od 800 do 1200 m w rejonie masywu suwalskiego, do ok. 4500 m w rejonie Kościerzyny i Okuniewa, należących do fanerozoiku, to znaczy okresu od kambru (ok. 540 mln lat) do neogenu.



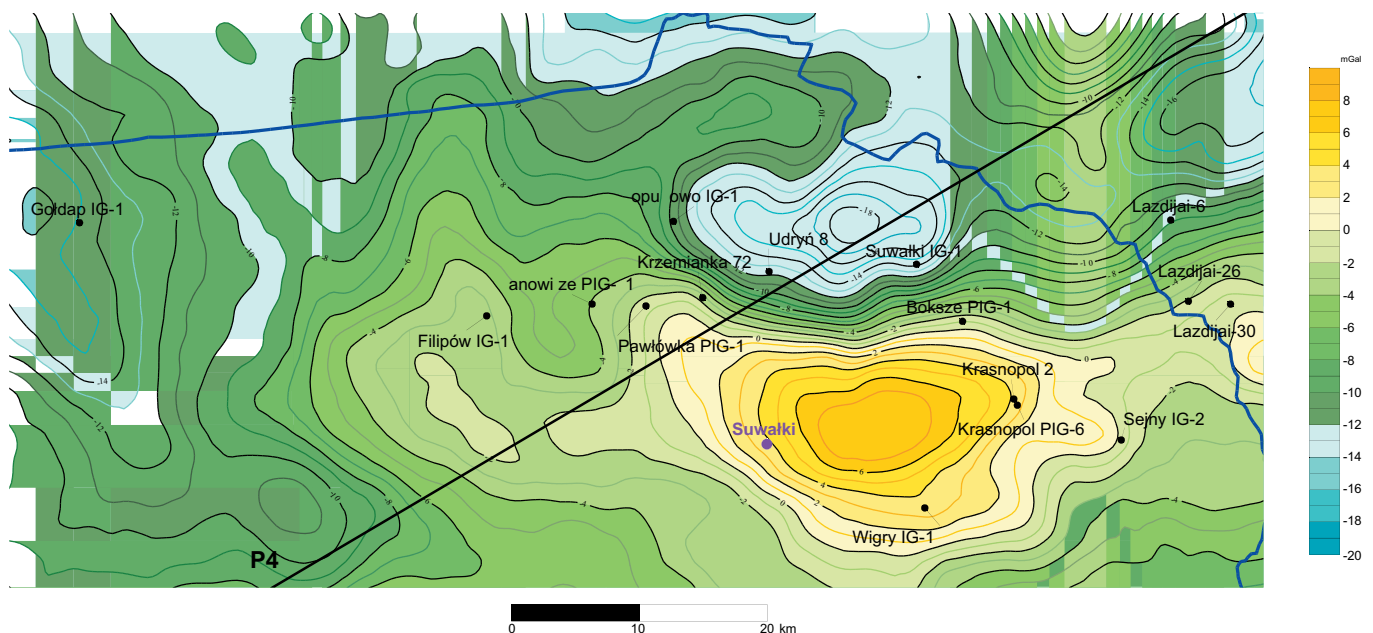
Rys.1. Uproszczona mapa geologiczna kompleksy mazurskiego
Fig.1. Simplified geological map of the Mazury Complex

Rozpoznanie geofizyczne - geologiczne masywu suwalskiego

Bezpośrednie informacje na temat struktury skał podłoża krystalicznego NE Polski są rzadkie i ograniczone do stosunkowo niewielu i nierównomiernie rozłożonych odwiertów. W rozpoznaniu geologii krystaliniku ważną rolę odegrały badania geofizyczne: magnetyczne i grawimetryczne uwzględniające dużą niejednorodność petrograficzną skał podłoża, która objawia się również znacznym zróżnicowaniem ich właściwości magnetycznych i gęstości [29].

Suwalski masyw anortozytowy odkryto w wyniku rozpoznania wiertniczego wyraźnych ujemnych anomalii magnetycznych i grawimetrycznych [5], [13], które były związane z różnymi grupami skał intruzyjnych. Rozległa ujemna anomalia grawimetryczna na mapie w redukcji Bouguera na północ od Suwałk (rys. 2) jest związana z masywem anortozytowym. Jest

ona otoczona kilkoma anomaliami dodatkowymi, m. in. w rejonie między Suwałkami a Krasnopolem. Anomalie te pokrywają się z występowaniem granitoidów, monzodiorytów i granodiorytów [15], [17], a więc skał o podwyższonych gęstościach [2]. Zróżnicowanie budowy podłoża krystalicznego w rejonie masywu suwalskiego najwyraźniej zaznacza się w obrazie anomalii całkowitego pola magnetycznego Ziemi (rys. 3). Na tej mapie masyw suwalski jest związany z dużą ujemną strefą z minimum o wielkości ok. -1700 nT. Ma ona złożoną strukturę wewnętrzną z wyraźnie wydzielającymi się anomaliami lokalnymi w obrębie masywu i jego obrzeżeniu. W obszarach występowania lokalnych dodatnich anomalii magnetycznych Udryna i Krzemianka, nawiercono rudy Fe-Ti-(V) [25], [26]. Masyw anortozytowy okalają pasma dodatnich anomalii o znacznych amplitudach, szczególnie mocno wyrażone od południa, zachodu i północy. Wartości pola magnetycznego osiągają swe maksymalne wielkości do ok. 1700 nT w okolicy Krasnopola. W obrębie



Rys. 2. Mapa anomalii grawimetrycznych w redukcji Bouguera; P4 – profil głębokich badań sejsmicznych
Fig. 2. Gravity map of NE Poland (Bouguer anomaly, transformed); P4 deep seismic profile

wymienionej strefy anomalie dodatnie są związane z występowaniem skał o stwierdzonej, silnej podatności magnetycznej spowodowanej zawartością minerałów magnetycznych, głównie tytanomagnetytu, hemoilmenitu, magnetytu, i maghemitu [8]. Duża ujemna anomalia magnetyczna masywu suwalskiego jest najprawdopodobniej efektem odwrotnego namagnesowania skał anortozytowych [2]. Modelowanie magnetyczne wzdłuż profilu sejsmicznego P4 potwierdza tę hipotezę [14]. Jednak istniejące dane pomiarowe nie wykazują przewagi ujemnych wartości inklinacji namagnesowania resztkowego, chociaż wskazują na bardzo wysokie namagnesowanie resztkowe anortozytów.

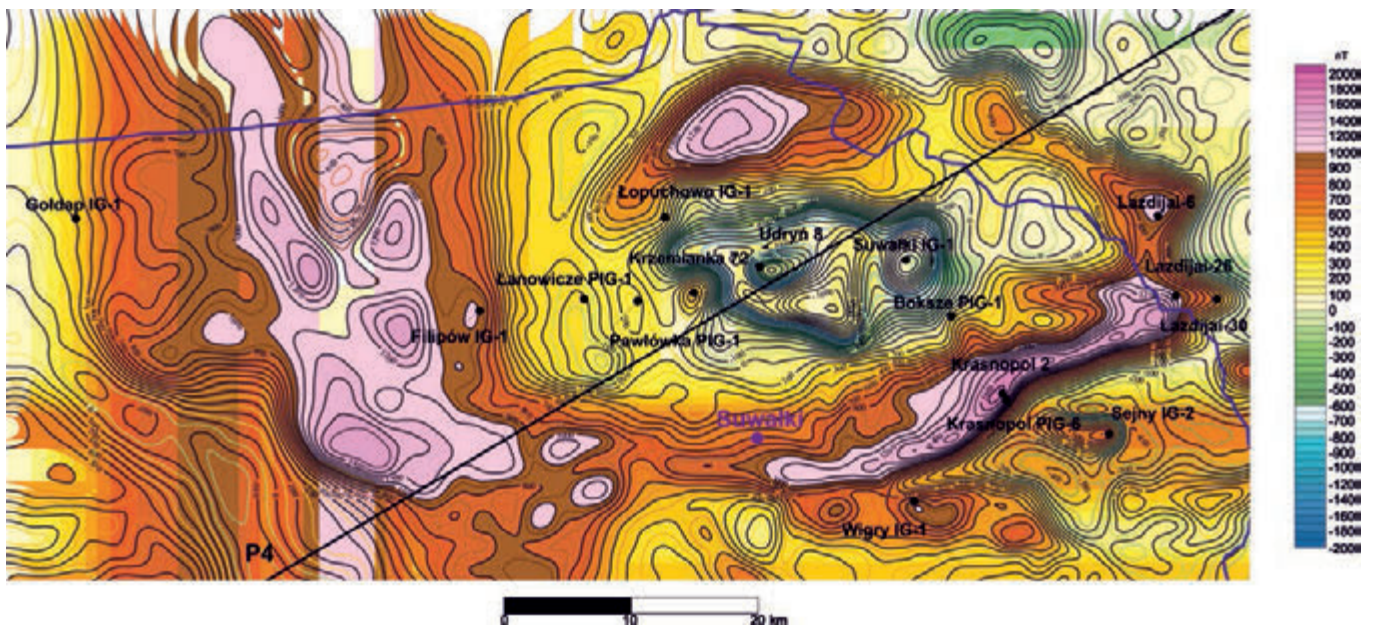
W sensie regionalnym istnieje zgodność pomiędzy grawimetryczną i magnetyczną mapą obszaru (rys. 2, 3), jednak trzeba zauważyć, że dodatnie anomalie magnetyczne najczęściej

pokrywają się ze strefami gradientowymi w obrazie anomalii grawimetrycznych (rys. 2) co by wskazywało, że mineralizacja koncentruje się w strefach kontaktowych, szczególnie na granicy anortozyty – noryty (gabronoryty) [29].

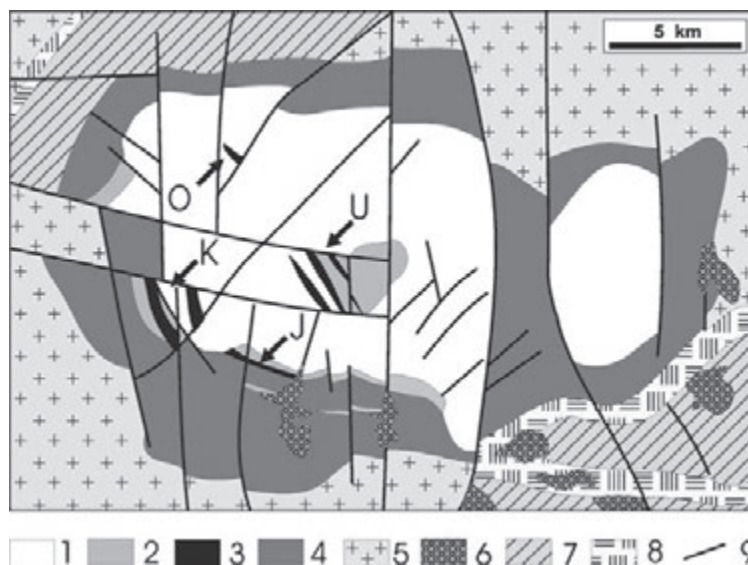
Anomalie grawimetryczne i magnetyczne masywu suwalskiego w Polsce kontynuują się w południowej części Litwy (obszar Lazdijai), gdzie rozpoznano magmowe skały maficzne (granodioryty, kwarcowe monzodioryty, kwarcowe monzonity i kilka intruzji gabr i diorytów) kompleksu Veisiejai [17].

Położenie geologiczne masywu suwalskiego

Suwalski masyw anortozytowy (SAM) ma kształt elipsoidalny i jest batolitem o niewielkich wymiarach, zajmujący obszar



Rys. 3. Anomalie całkowitego pola magnetycznego Ziemi; P4 – profil głębokich badań sejsmicznych
Fig. 3. Magnetic map. Anomalies of the total magnetic field of the Earth; P4 – deep seismic profile



Rys. 4. Mapa geologiczna masywu suwalskiego [15], zmodyfikowana [10]

1. anortozyt; 2. noryt, gabbronorit, jotunit; 3. tytanomagnetyt - ilmenit (ferrolit); 4. dioryt, nierozdzielony; 5. granit rapakivi; 6. małe masywy granitowe; 7. nierozdzielne skały metamorficzne; 8. strefy mylonitów; 9. uskoki K – złożo Krzemianka, U – złożo Udryń, O – obszar rudny Jeziora Okrągłego, J – obszar rudny Jeleniewa

Fig. 4. Geologic map of the Suwałki anorthosite Massif [15], modified [10]

1. anorthosite, 2. norite, gabbronorite, jotunit; 3. titanomagnetite - ilmenite (ferrolite); 4. diorite, undivided; 5. rapakivi granite; 6. small granite massifs; 7. metamorphic rocks undivided; 8. mylonite zones; 9. faults K – Krzemianka ore deposit, U – Udryń ore deposit, O – Jeziora Okrągłego ore field, J – Jeleniewo ore field.

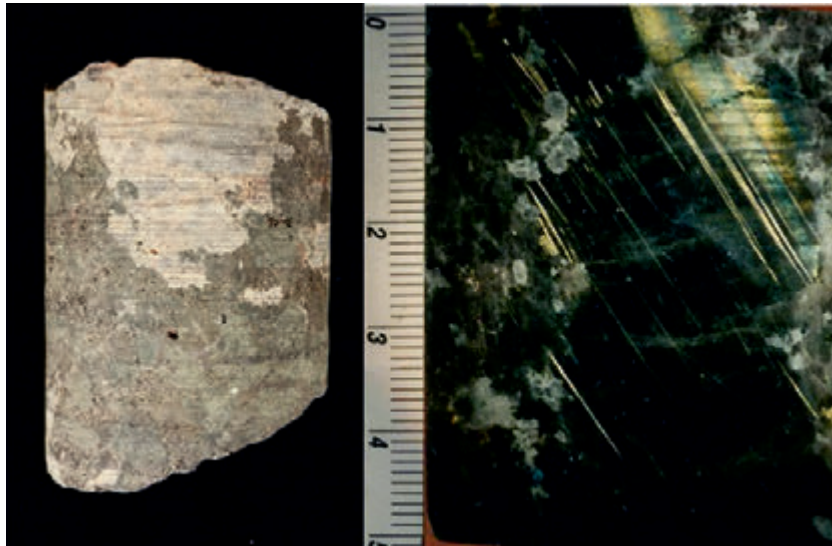
ok. 250 km², otoczony przez granity typu rapakiwi, granulity i skały metamorficzne facji amfibolitowej (rys. 4). Środkowa część batolitu zbudowana jest z monotonnych anortozytów z nagromadzeniami różnej wielkości kryształów plagioklazów i rzadziej silnie glinowych megakryształów ortopiroksenów. W brzeżnych partiach masywu anortozytowego występuje szeroka strefa diorytoidów, złożona z nierozdzielonych gabronorytów, monzodiorytów, diorytów i granitów. Mineralizacja kruszcowa Fe-Ti-(V) została udokumentowana w anortozytach i norytach, głównie w południowo-zachodniej części masywu w postaci skał magnetytowo-ilmenitowych (ferrolitów) (rys. 4). Skały te występują w formie gniazd, szlir, soczew, dajek, żył i "pseudopokładów" przełamujących się z macierzystym norytem i anortozytem [6]. Większość badanych ciał rudnych zapada pod kątem 45° w kierunku SE (rys. 5).

Przekrój przez masyw ukazuje kopułową budowę intruzji, sugerującą diapirowy sposób wypiętrzenia i posadowienia półplastycznego częściowo skryształowanego stopu, z głęboko położonej pierwotnej komory magmowej. Na polibaryczny rozwój

masywu wskazują mikroskopowe obserwacje wysokoglinowych mega kryształów ortopiroksenów zawartych w anortozytach intruzji suwalskiej [26].

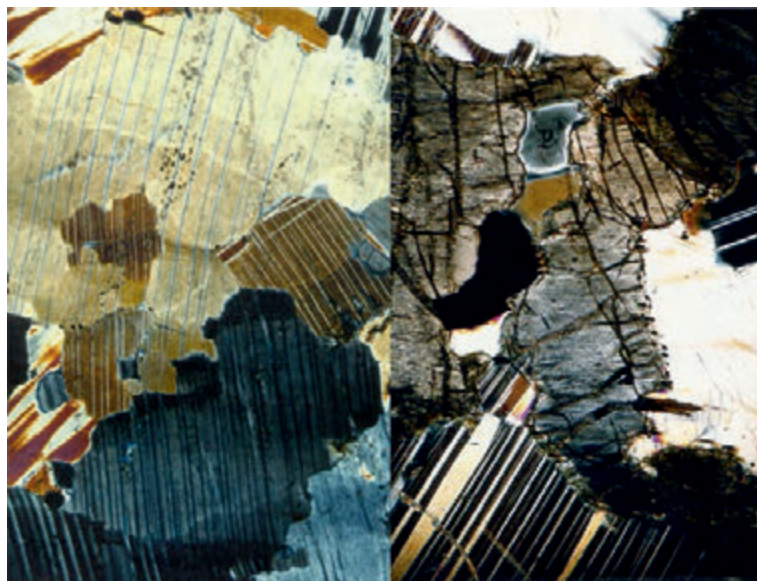
Petrologia SAM

Anortozytowy masyw suwalski charakteryzuje się geochemicznie wysoką zawartością Sr i Ba osiągając odpowiednio 800-900 ppm i 300 do 530 ppm. Anortozyty suwalskie wykazują także stosunkowo wysokie koncentracje pierwiastków dopasowanych Cr, Ni, Co, Cu. Całkowita zawartość pierwiastków ziem rzadkich (REE) w anortozytach z Suwałk jest również dość wysoka, w stosunku do wartości w innych anortozytach na świecie. Wynosi ona od 11 do 58 ppm i charakteryzuje się dodatnią anomalią europową (średnia Eu/Eu* wynosi 4,6). Miejscowe wzbogacenia w wielobarwnie iryzujące (lekkie zdeformowane) ziarna megakryształów plagioklazów (fot. 1) o wymiarach nawet ponad 10-15 cm spotyka się w średnioziarnistym matriksie anortozytowym w wielu próbkach z wierceń rejonu Jeleniewa,



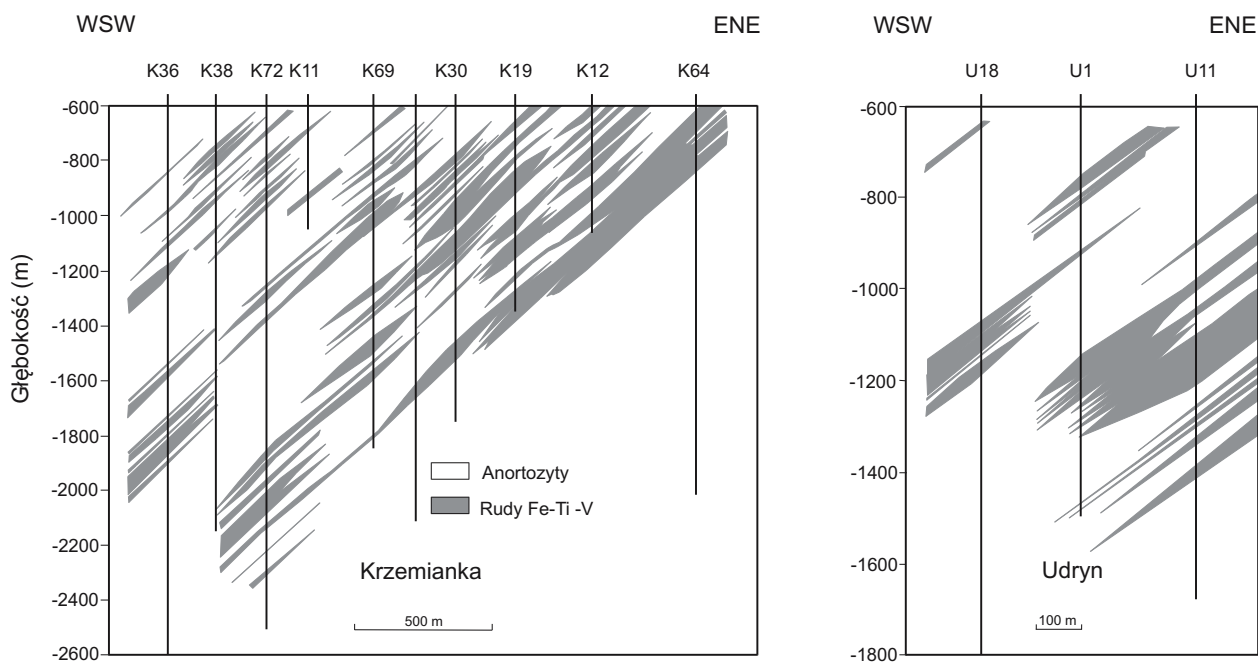
Fot. 1. Fragment rdzenia wiertniczego z nagromadzeniami megakryształów ortopiroksenów. Drugi rdzeń zawiera duży, iryzujący megakryształ labradoru, z wyraźnymi zblźnieniami

Fot. 1. Accumulation of ortopyroxene megacrysts in a log piece. Irridescent labradore twinned crystal in the other log



Fot. 2. Mikroskopowy obraz anortozytu z kryształami i granulami zblźnionych plagioklazów, i nieregularnymi ziarnami piroksenu. Pomiedzy ziarnami ortopiroksenu widoczne są granule plagioklazu z inwersyjną zonalnością

Fot. 2. Microscopic image of anorthosite with crystals and granules of twinned plagioclase and irregular pyroxene grains. Visible inversely zoned plagioclase granules among Opx grains



Rys. 5. Przekroje geologiczne przez złożo Krzemianka i złożo Udryn pokazujące rozmieszczenie soczewek z tlenkami Fe-Ti w macierzystych anortozytach i skałach stowarzyszonych. [12]

Fig. 5. Cross sections in the Krzemianka and Udryn deposits showing the distribution of Fe-Ti oxide ore lenses in the host anorthosite and related rocks [12]

Krzemianki i Jeziora Okrągłego [26].

Omawiane kryształy zawierają 52-55 cząsteczki An, wysokie zawartości Sr (ca. 800-900 ppm), wysokie zawartości Fe (0,5-1,0% Fe_2O_3) i Ti (0,04-0,1% TiO_2). Niektóre z megakryształów plagioklazów są zdeformowane w wyniku wynoszenia w górne partie, częściowo wykrystalizowanego, lecz wciąż plastycznego stopu krystalicznego anortozytu [28].

Powszechnie występujące w marginalnych partiach masywu średnioziarniste skały norytowe i gabronoryty zawierają granule zbliżonych plagioklazów, ziarna hematytu – ilmenitu (ilmenit z odmieszanymi soczewkami hematytu), homogeniczny magnetyt, piroksen oraz towarzyszące im rozproszone minerały kruszcowe. W grubokrystalicznych partiach anortozytów suwalskich występują także duże ziarna (do 10 cm długości), często zdeformowanych megakryształów glinowego ortopiroksenu – pleonastu (fot. 1, 2). Deformacje i poligony wewnątrz ziaren powstały podczas wznoszenia, nie w pełni skrysztalizowanego stopu krzemianowego ku górze skorupy.

Badania eksperymentalne [23] przeprowadzone na próbkach anortozytów i skał gabrowych pozwoliły na stwierdzenie, że ciśnienie było dominującym czynnikiem wpływającym na zawartość Al_2O_3 w piroksenie i że wysoko glinowe megakryształy piroksenu są stabilne przy ciśnieniu 10-13 kbar (odnoszącym się do 40-50 km) i w temperaturze 1300°C. Drugi etap krystalizacji odbywał się na głębokości ostatecznego umiejscowienia półplastycznego stopu krystalicznego złożonego z plagioklazów i ortopiroksenów przy ciśnieniach 3-5 kbar.

W masywie suwalskim i intruzji Sejn napotkano także maficzne, drobnoziarniste strefy oziębienia typu „chilled” oraz dajki o składzie „jotunitu” (hiperstenowego monzodiorytu). Charakterystyka geochemiczna tych skał okazała się być bardzo podobna do opisywanych jotunitów z masywu anortozytowego Rogaland w Norwegii [4, 22, 28].

Na podstawie eksperymentów topnienia skał gabroidowych z masywu Harp Lake i jotunitów Rogalandu w Norwegii przeprowadzonych przy niskim i średnim ciśnieniu (od 1 atm do 13 kb), w warunkach bezwodnych, wykazano [24], że stopy o

takim składzie mogły być magmami macierzystymi dla anortozytów. Na podstawie petrologicznych i geochemicznych badań porównawczych charakterystyk jotunitów suwalskich i dajkowych monzodiorytów z intruzji Sejn, o składzie plag+opx+cpx, wykazano, że skały te mogą być uznane jako macierzyste skały źródłowe dla anortozytów.

Rudy Fe-Ti-(V) w masywie suwalskim

Badania rud tytanomagnetytowych stowarzyszonych z anortozytowo-norytowym masywem suwalskim, były prowadzone od lat 70-tych XX wieku do czasów współczesnych przez wielu badaczy polskich i zagranicznych [6, 12, 9, 1, 28, 26, 11, 17, 3].

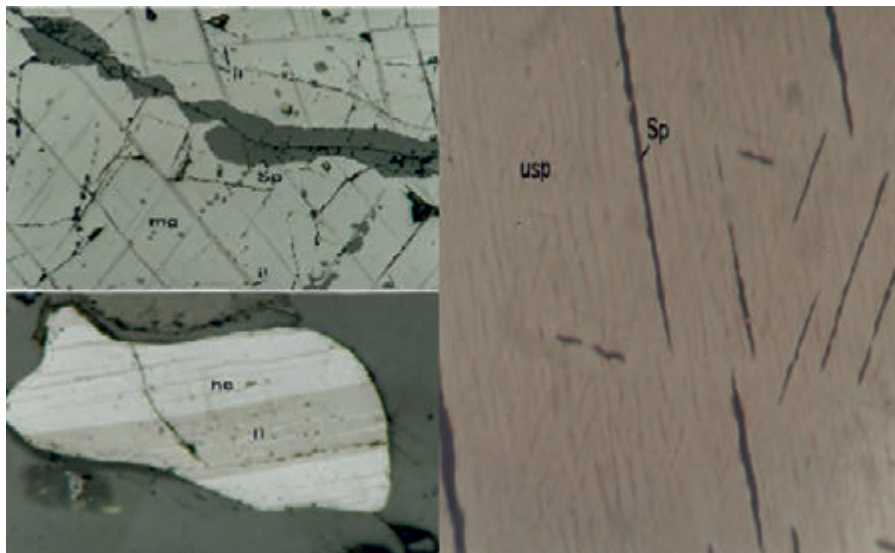
Rudy suwalskie są zdominowane przez wanadonośny tytanomagnetyt i ilmenit oraz w różnych proporcjach plagioklaz ± orthopiroksen ± klinopiroksen ± apatyt. W podrzędnych ilościach (od 1 do 3% obj.) w rudach i skałach suwalskich występują siarczki Fe, Cu, Ni i Co. Minerały kruszcowe z dużych ciał rudnych, opisywanych jako ferrolity, obejmują ponad 70% objętościowych skały i występują w formie nieregularnych soczew, szlirowatych wpryśnięć, wąskich żył, gniazd oraz pseudopokładów (rys. 5).

Tlenki kruszcowe

Tlenki kruszcowe Fe-Ti±(V) reprezentują dwie serie rozтворów stałych: magnetyt-ulwöspinel i ilmenit-hematyt, które tworzą się w zależności od warunków oksydacyjnych i p-T zarówno w ferrolitach, jak i w skałach macierzystych [6], [18]. W badaniach mikroskopowych główny minerał rud ferrolitowych tytanomagnetyt charakteryzuje się licznymi, odmieszanymi fazami mineralnymi np. homogenicznym ilmenitem, glinowym zielonym spinelem – pleonastem. Stosunek tytanomagnetytu do ilmenitu w rudach wynosi od 3:1 do 6:1.

Produktami procesów odmieszania z utleniania są struktury ubraniowe (cloth texture) ulwöspinelu wzdłuż ścian [100] kryształów magnetytu, przecinające się w formie ukośnej kraty (trellis)

lamelle ilmenitowe (fot. 3) oraz struktury typu przekładaniec (sandwich). W skałach macierzystych: anortozytach, norytach i gabronorytach, minerały kruszcowe występują w rozproszeniu. Główne minerały kruszcowe tych stref to hematytoilmenit i magnetyt bez struktur rozpadu roztworów stałych. Stosunki pomiędzy tymi fazami mineralnymi są jak 1:1.



Fot. 3. Struktury rozpadu roztworów stałych w magnetycie: odmieszania ilmenitu i spineli typu *trellis* (skośna kratka), hematytu w ilmenicie typu *sandwich* (przekładaniec), typu *cloth texture* (ubraniowe) ulvospinelu i spinelu w tytanomagnetycie

Fot. 3. Solid solution decomposition texture in magnetite: *trellis* type admixtures of ilmenite and spinel, *sandwich* type admixture of hematite in ilmenite, *cloth texture* type admixture of ulvospinel and spinel in titanomagnetite

Siarczki

W anortozytach i norytach suwalskich występują pierwotne i wtórne minerały siarczkowe, które zajmują ok. 3% ciał ferrolitowych, wypełniając przestrzenie interstycjalne pomiędzy tlenkami Fe-Ti. Siarczki takie jak pirotyt, chalkopiryty i duża różnorodność siarczków Ni-Co-nośnych np.: pentlandyt, milleryt, bravoit, kubanit oraz minerały z grupy polidymit-linneit to główne minerały pierwszych etapów krystalizacji. Pirotyt, chalkopiryty i pentlandyt mają magmowe pochodzenie potwierdzone badaniami izotopowymi siarki $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ o wartościach ok. 0‰. Inne minerały siarczkowe takie jak piryty tworzyły się w wyniku wtórnych procesów deuterycznych i hydrotermalnych, wykazując nieco wyższe wartości $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ np. piryty ze złoża Krzemianka ma wartość 2,24‰ [25].

Geochronologia

Przy badaniach formacji kruszcowych, problem genezy, a co za tym idzie, wieku skał macierzystych i rud staje się bardzo istotny. Badania geochronologiczne prawie monomineralnych skał anortozytowych wszędzie na świecie napotykają poważne trudności, ze względu na brak minerałów odpowiednich do datowania skał. Problem ten jest jeszcze większy, gdy materiał do dyspozycji pochodzi z wierceń i jest go mało, tak jak przypadku skał z masywu suwalskiego.

Do oznaczenia wieku anortozytów suwalskich zastosowano po raz pierwszy w świecie izotopowy system radiometryczny Re-Os, który okazał się być znakomitym i skutecznym narzędziem geochronologicznym [7], [16]. W analityce wykorzystano siarczki Fe-Cu, które współwystępują z rudami tytanomagnetytowymi i występują w anortozytach w formie przerostów jako

składnik akcesoryczny. Radiometryczna metoda Re-Os oprócz możliwości oznaczenia wieku rud, pozwala także na interpretację uzyskanych danych pomiarowych w kierunku rozważań genetycznych, charakteru i źródła magm macierzystych dla mineralizacji kruszczośnych. Zawartości Re i Os oraz składy izotopowe Os zmierzono dla 9 próbek siarczków suwalskich (pirotyt, chalkopiryty i piryty) oraz dla 4 próbek tytanomagnety-

tów z Udrynia, Krzemianki i Jeziora Okrągłego. Zawartości Re i Os w magnetycie są bardzo niskie w porównaniu ze współwystępującymi siarczkami i wynoszą odpowiednio Re (0,4-1,5 ppb) i Os (0,036-0,144 ppb) oraz (30-55 ppb) i (1-6 ppb). Wiek izochronowy dla złoża Krzemianka i Jezioro Okrągłe wynosi 1559 ± 37 mln lat ($n=8$), z inicjalnym stosunkiem $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ o wartości $1,16 \pm 0,06$ i może być porównany z prawie identycznym wiekiem dla Udrynia wynoszącym 1556 ± 94 mln lat ($n=3$), jednakże z nieco niższym stosunkiem początkowym $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ of $0,87 \pm 0,20$. Takie wysokie stosunki początkowe $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ połączone z oznaczonym proterozoicznym wiekiem sugeruje na skorupowe źródło dla anortozytów suwalskich [18, 19]. Opierając się na założeniu, że średnie wartości Re-Os dla skorupy kontynentalnej wynoszą ok. 50, to obliczony wiek źródła ma 2800 mln lat, a więc jest archaiczny. Jak dotąd nie odkryto w rejonie badań skał o tym wieku [9].

Zasoby złoża Fe-Ti-(V) w masywie suwalskim

Pierwsze próby oszacowania zasobów rud Fe-Ti-(V) przedstawiono w Państwowym Instytucie Geologicznym w raporcie z 1970 roku w kategorii C_2 dla części pola rudnego Krzemianka (20 otworów) do głębokości 1600 m, a następnie w roku 1974 do głębokości 2200 m [21]. Na bazie tych raportów oszacowano zasoby geologiczne (bilansowe i pozabilansowe) rud tytanomagnetytowych wynoszące odpowiednio 286,9 i 128,9 mln ton rudy o zawartości średnio 27,8 – 29,2 Fe, 7,26 – 7,4 TiO_2 i 0,26 – 0,32 V_2O_5 . Odkrycie suwalskiej rudy stało się faktem.

Drugi etap rozpoznania złóż suwalskich został powierzony Przedsiębiorstwu Geologicznemu „Polgeol” z Warszawy, kierowanym przez A. Pareckiego [12].

Do końca lat osiemdziesiątych odwiercono w masywie su-

walskim ponad 100 głębokich otworów wiertniczych. W wyniku przeprowadzonych prac geologicznych udokumentowano złoża Krzemianka w kategorii C_1 i C_2 , złoża Udryn w kategorii C_2 (rys. 5) oraz złoża Jeleniewo i lokalne pola rudne Jezioro Okragłe i Bilwinowo. Zasoby geologiczne złoża Krzemianka oszacowano na 726 mln ton rud bilansowych w kategorii C_1 oraz 350,6 mln ton w kategorii C_2 . Zasoby rudne złoża Udryn obliczono w kategorii C_2 na 263,5 mln ton [12].

Na podstawie analizy geologiczno-gospodarczej wykonanej w roku 1996 uwzględniając dużą głębokość występowania rud (ponad 1000 m) oraz zasoby złóż, rudy Fe-Ti-V z rejonu suwalskiego zostały skreślone z Bilansu Zasobów Kopaliny Polski z powodu dużej głębokości występowania (ponad 1000 m) i nie spełnienia wymagań odnośnie jakości rudy.

Literatura

- [1] Bagiński B., Duchesne J.-C., Martin H., Vander Auwera J., Wiszniewska J., 2001- *Petrology and geochemistry of rapakivi-type granites from the crystalline basement of NE Poland*. Geol. Quarterly 45 (1), 33-52
- [2] Cieśla E., Wybraniec S., 1998 - *Geophysical studies of the Suwałki Anorthosite Massif*. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, CLXI, 27-38
- [3] Charlier B., Namur O., Duchesne J.-C., Wiszniewska J., Parecki A., Auwera J. V. 2009 - *Cumulate Origin and Polybaric Crystallization of Fe-Ti Oxide Ores in the Suwałki Anorthosite, Northeastern Poland*. Economic Geology, 104 (2), 205-22
- [4] Duchesne J.C., Wilmart E., Demaiffe D. And Hertogen J., 1989 - *Monzonorites from Rogaland (SW Norway): a series of rocks coeval but not comagmatic with massif-type anorthosites*. Precambrian Research, 45, 111-128
- [5] Królikowski C., Petecki Z., 1995 - *Gravimetric Atlas of Poland*. PIG Warszawa.
- [6] Kubicki S., Siemiątkowski J., 1979 - *Mineralizacja kruszcowa suwalskiego masywu zasadowego*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 316, 5-128
- [7] Mccandless T.e., & Ruiz J. 1993- *Rhenium-osmium evidence for regional mineralization in southwestern North America*: Science, v. 261, p. 1282-1286
- [8] Mizeracka K. 1982 – *Zbiornicze opracowanie wyników pomiarów parametrów magnetycznych i gęstościowych próbek skał suwalskiego masywu zasadowego*. NAG PIG
- [9] Morgan J.W., Stein H.J., Hannah J.L., Markey R.J., & Wiszniewska J., 2000.- *Re-Os Study of Fe-Ti-V Oxide and Fe-Cu-Ni Sulfide Deposits, Suwałki Anorthosite Massif, Northeast Poland*. Mineralium Deposita vol.5, 391-401
- [10] Nejbert K., Wiszniewska J., 2005- *Fe-Ti-V deposits in the Suwałki anorthosite Massif*. 12th Meeting of the petrology group of the mineralogical Soc. of Poland. Stary Folwark 80-84
- [11] Nieć M., 2003 – *Ocena geologiczno-gospodarcza złóż wanadonośnych rud tytanomagnetytowych masywu suwalskiego*. Gospodarka Sur. Min., t.19 z.2 IGSMiE PAN, Kraków. 5-28
- [12] Parecki A. 1998 - *Geological structure of the Krzemianka and Udryn deposits*. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, CLXI, 123-135
- [13] Petecki Z., Polechońska O., Cieśla E., Wybraniec S., 2003 - *Magnetic Anomaly Map Of Poland 1:500 000*. Państw. Inst. Geol. Warszawa
- [14] Petecki Z., 2006 – *Zintegrowane modelowanie grawimetryczno-magnetyczne wzdłuż profilu sejsmicznego P4*. W: P. Krzywiec, M. Jarośniński (red.), Budowa litosfery centralnej i północnej Polski - obszar projektu sejsmicznego POLO-NAISE'97. Pr. Państw. Inst. Geol., 188, 77-88
- [15] Ryka W., Podemski M., (Eds.) 1998 – *Geology of the Suwałki Anorthosite Massif (NE Poland)*. Pr. Państw. Inst. Geol. CLXI. Warszawa
- [16] Shirey S.B., And Walker R.J. 1998 - *The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high temperature geochemistry*: Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, v. 26, p. 423-500
- [17] Skridlaite G., Wiszniewska J., Duchesne J.-C. (2003). *Ferro-potassic a-type granites and related rocks in NE Poland and Southern Lithuania: west of the East European Craton*. Precambrian Research Special Issue. ed. Vander-Auwera J.p.305-326
- [18] Speczik S., Wiszniewska J., Diedel R. (1988) - *Minerals, exsolution features and geochemistry of Fe-Ti ores of the Suwałki district (North-East Poland)*. Mineralium Deposita, 23, 200-210
- [19] Stein H.J., Morgan R.J., Markey R. and Wiszniewska J., 1998- *A Re-Os study of the Suwałki Anorthosite Massif (Northeastern Poland)*. Abstract in: GAC-MAC Annual Meeting in Toronto, Canada October 1998
- [20] Stein H.J., Morgan J.W., Hannah J.L., Markey R.J., Wiszniewska J. (1999) - *Crustal origin for oxide-sulphide ores and anorthosite: Re-Os evidence from the Suwałki Massif, Northeast Poland*. Journal of Conference Abstracts, vol. 4, no. 1, s. 688. EUG 10, Strasbourg
- [21] Subieta M., (1979) – *Suwalskie złoża rud żelaza, tytanu i wanadu*. Prace IG, Warszawa
- [22] Vander Auwera J., Longhi J. And Duchesne J.C. (1993) - *Jotunites from the Rogaland Province (Norway): constraints from experimental data and the partitioning of Sr (plag/melt) and Cr (opx/melt)*. EOS, 74, 659.

- [23] Vander Auwera J. I Longhi J. (1994) - *Experimental study of a jotunite (hypersthene monzodiorite): constraints on the parent magma composition and crystallization conditions (P, T, fO₂) of the Bjerkreim-Sokndal layered intrusion*. Contribution of Mineralogy and Petrology, 118, 60-78
- [24] Vander Auwera J., Longhi J., Duchesne J.C. (1998) - *A liquid line of descent of the jotunite (hypersthene monzodiorite) suite*. Journal of Petrology, 39, 439-468
- [25] Wiszniewska J 1998 - *Mineralogy of Fe-Ti-V ores of the Suwałki Anorthosite Massif (SAM), northeast Poland*. in: Ryka W. & Podemski M. (ed.): "Geology of the Suwałki Massif - NE Poland" p.137-150
- [26] Wiszniewska J., 2002 - *Wiek i geneza rud Fe-Ti-V i skał towarzyszących w suwalskim masywie anortozytowym (północno-wschodnia Polska)*. Biuletyn PIG no. 401. p. 1-96
- [27] Wiszniewska J., Stein H., 2000 - *Re-Os ages for the Suwałki ore deposits, NE Poland*. Zastosowanie Izotopów w geologii. Ogólnopolska Konferencja. Kraków 12 luty 2000
- [28] Wiszniewska J., Claesson S., Stein H.J., Vander Auwera J., Duchesne J.C., 2002 - *The north-eastern Polish anorthosite massifs: petrological, geochemical and isotopic evidence for a crustal derivation*. Terra Nova 14 p.451-460
- [29] Wybraniec S., Cieśla E., Petecki Z. 1993 - *Badania geofizyczne obszaru suwalskiego*. Przewodnik LXIV Zjazdu PTG na Ziemi Suwalskiej, 7-15



Turtul Czarna Hańcza

fot. Andrzej Borowicz