



Project 86
East European
platform
(S.W. Border)



JACEK MAJOROWICZ

Instytut Geologiczny

WIELOZNACZNOŚĆ TEKTONICZNEJ INTERPRETACJI ROZKŁADU POLA GEOTERMICZNEGO NA OBSZARACH PLATFORMOWYCH POLSKI

UKD 550.36+550.836.2.015.05:551.24:551.242.51+550.437.62(438)

W ostatnich kilku latach w dziedzinie badań tektonicznych szeroko zaczęto wykorzystywać dane o rozkładzie pola geotermicznego w tektonicznych interpretacjach dla rejonów głębokiego podłoża krystalicznego zakrytego po-

krywą osadową na obszarach platformowych Polski [14, 15, 20, 27]. Dane geotermiczne obok innych danych geofizycznych, takich jak: głębokie sondowanie sejsmiczne, dane magnetyczne, grawimetryczne, magnetoteluryczne oraz

wyniki sejsmiki refrakcyjnej, stanowią jedną z wielu geofizycznych informacji o fizycznej strukturze skorupy ziemskiej i górnego płaszczka i w pośredni sposób mogą być interpretowane dla rejonizacji tektonicznej, jeśli zważyć fakt, że zjawiska tektonofizyczne wiążą się ze stanem energetyki cieplnej litosfery i astenosfery. Jednak obraz pola cieplnego kształtuje szereg czynników, z których ciepło remanentne związane z procesami orogenicznymi stanowi jedynie część ciepła rejestrowanego współcześnie w przypowierzchniowych warstwach skorupy ziemskiej poprzez pomiary gradientu geotermicznego i gęstości powierzchniowego strumienia cieplnego.

W ostatnim okresie w związku z pracami nad mapą strumienia cieplnego Europy prowadzonymi pod auspicjami International Union of Geodesy and Geophysics (Międzynarodowa Unia Geodezji i Geofizyki) napłynęło wiele nowych danych o wartościach strumienia cieplnego (25).

Jednocześnie nastąpił duży postęp w poznaniu rozkładu produkcji ciepła radiogenicznego skał krystalicznych skorupy kontynentalnej w rejonach o różnym wieku jej konsolidacji (26).

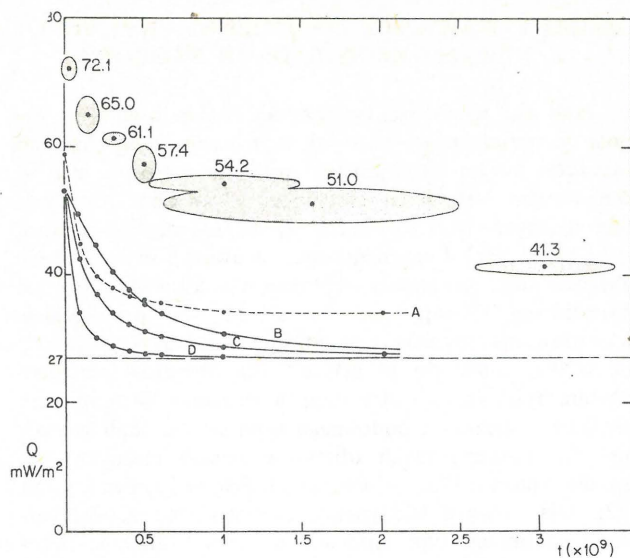
Badania powyższe rzucają wiele nowego światła na interpretację rozkładu strumienia cieplnego w aspekcie rozwoju tektonicznego. Również dla obszaru Polski przybyło w ostatnich latach wiele nowych informacji o parametrach pola cieplnego Ziemi. Ilość pomiarów geotermicznych obejmuje już kilkadziesiąt otworów wiertniczych. Interpretacje tektoniczne pola cieplnego Ziemi dla obszaru Polski różnych autorów nie zawsze są zgodne (patrz prace W. Pożaryskiego (20), J. Majorowicza (14, 15) i J. Znoski (27)). W swojej pracy z 1977 r. (15) stwierdziłem, że wartości strumienia cieplnego północno-zachodniej i zachodniej Polski charakteryzują się wysokimi wartościami strumienia cieplnego porównywalnymi z wartościami tego parametru rejestrowanymi na większej części obszaru Europy Zachodniej, w tym na obszarze Morza Północnego i północnej części NRD i RFN. Wyciągnąłem stąd wniosek, że przemawia to na rzecz zrewidowania poglądów, które przyjmują, że platforma prekambryjska rozciąga się aż po obszar południowej Anglii (3).

Z danych pomiarowych oraz skonstruowanych na ich podstawie map strumienia cieplnego, gradientu geotermicznego oraz temperatury na głębokościach 1 i 2 km wynika, że obszar na SW od strefy Koszalina–Chojnic w NNW części Polski oraz sama strefa Koszalina–Chojnic charakteryzują się wartościami parametrów geotermicznych porównywalnymi z tymi, które są rejestrowane w rejonie niecki brzeżnej na starej platformie prekambryjskiej. W. Pożaryski (20) uważa, że wyniki badań geotermicznych w tym rejonie przemawiają za przynależnością NW Polski do platformy pre-bajkalskiej. J. Znosko (27) rozpatrując publikowane dane geotermiczne w skali kontynentu konkluduje, że strefa Teisseyre'a–Tornquista jest głęboko zakorzenioną płaszczyzną nieciągłości pomiędzy dwoma blokami skorupy ziemskiej różniącymi się między innymi reżimem termicznym. J. Znosko (27) pisze, że wyniki badań geotermicznych w Polsce i Europie wskazują na istnienie różnic wartościowych strumienia cieplnego w obrębie platformy paleozoicznej i ich koincydencję z kaledońską Paleo-Europą oraz wartyjską Mezo-Europą. Problem tektonicznej interpretacji badań geotermicznych nie jest więc traktowany jednoznacznie. Nowe dane, o strumieniu cieplnym i generacji ciepła dla Polski i Europy, które napłynęły w ostatnim okresie nakładają pewne ograniczenia na ich interpretację tektoniczną.

Podstawą większości interpretacji rozkładu parametrów pola geotermicznego w aspekcie rozwoju tektonicznego obszarów kontynentalnych jest istniejąca zależność między wartościami strumienia cieplnego, a wiekiem prowincji tektonicznych. W.H.K. Lee i S. Uyeda (13) mając do dyspozycji 135 danych kontynentalnych zauważyli malenie średnich wielkości strumienia cieplnego w zależności od wieku konsolidacji skorupy, od 90 mWm^{-2} w prowincjach występowania utworów kenozoicznych charakteryzujących się wulkanizmem do 38 mWm^{-2} dla obszarów platform prekambryjskich. Napływ danych pozwolił następnie na uzyskanie zależności podobnego typu co dla skali globalnej, dla poszczególnych obszarów kontynentalnych, jak np. dla Ameryki Płn., co wykazali J. Sclater i J. Franchetau (22). Dla obszaru kontynentu europejskiego zaobserwowano podobnego typu tendencję malenia strumienia cieplnego ze wzrostem wieku megajednostek tektonicznych w przypadku grupowania wartości strumienia cieplnego w trzech klasach wartości; dla obszarów orogenicznych mezozoiczno-kenozoicznych, dla obszarów objętych zjawiskami orogenicznymi paleozoicznymi oraz dla platformy prekambryjskiej. Wartości średnie strumienia cieplnego dla tych klas wartości są następujące: 81,69 oraz 42 mWm^{-2} (według J. Majorowicza, 14). Najnowszą zależność między strumieniem cieplnym a wiekiem tektonicznym w skali globalnej (na podstawie danych zebranych w katalogu światowych obserwacji strumienia cieplnego przez A. Jessopa i innych (10) podali J. Majorowicz i A. Jessop (17)). Zależności uzyskiwane dla różnych kontynentów, jak i w skali globalnej mają formę typu $Q(t) = at^{-b}$, gdzie $Q(t)$ strumień cieplny, t – wiek, a i b współczynniki. Tak więc strumień cieplny maleje z wiekiem zgodnie z funkcją potęgową (ryc. 1).

Wytłumaczeniem powyżej omawianej zależności są najprawdopodobniej głównie dwa zjawiska: 1) zmniejszanie generacji ciepła radiogenicznego z wiekiem, 2) zmniejszanie z wiekiem strumienia ciepła związanego z ciepłem pochodzącym z przejściowych procesów tektonofizycznych mających miejsce w skorupie i górnym płaszczku, których kulminacja manifestuje się w procesach metamorfizmu, magmatyzmu oraz deformacji.

Jeśli chodzi o pierwszy czynnik, to zaobserwowana została statystyczna zależność między generacją ciepła radiogenicznego a wiekiem konsolidacji (I. Vitorello, H. Pollack, 26). Generacja ciepła maleje z wiekiem konsolidacji (ryc. 2). Zależność tę autorzy ci ustalili na podstawie 3128 publikowanych pomiarów generacji ciepła radiogenicznego skał krystalicznych z 28 regionów kontynentalnych dla 6 grup wiekowych. Interpretacja tej zależności przez I. Vitorello i H. Pollacka (26) bazuje na znanym geologicznie fakcie istnienia procesu erozji i usuwania górnych partii piętra krystalicznego, którego skały są najbardziej wzbogacone w izotopy uranu, toru i potasu. Ciepło powstaje w procesie ich rozpadu. Generacja ciepła maleje z głębokością (2) według zależności wykładniczej typu $A = A_0 \exp(-z/b)$, gdzie A_0 – generacja ciepła radiogenicznego w skałach przypowierzchniowych na głębokości $z = 0$, b – stała. Model ten został zaproponowany przez A. Lachenbrucha (12) na podstawie interpretacji statystycznej zależności stwierdzonej przez wielu badaczy między strumieniem cieplnym a generacją ciepła radiogenicznego typu: $Q = Q_r + b A_0$, gdzie Q – strumień cieplny, Q_r i b stałe.



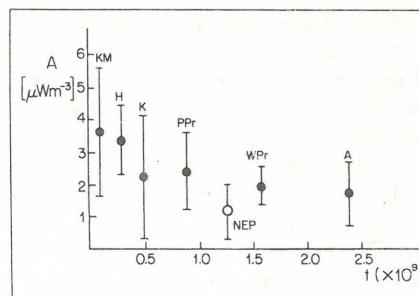
Ryc. 1. Zestawienie zmian średnich wartości kontynentalnego strumienia ciepłego dla jednostek tektonicznych o różnym wieku (17) z krzywymi zmian strumienia ciepłego z wiekiem według modeli S. Crougha i G. Thompsona (4) - krzywa A oraz według I. Vitorello i H. Pollacka (26) - krzywe B-D (objaśnienia w tekście).

Fig. 1. Comparison of changes in mean values of continental heat flow for tectonic units differing in age (17) and curves of changes in heat flow along with age, based on models of S. Crough and G. Thompson (4) - curve A, and after I. Vitorello and H. Pollack (26) - curves B-D (explanations in the text).

Procesy erozji zachodzą stosunkowo szybciej w młodych tektonicznie obszarach i dużo wolniej w obszarach starych, co tłumaczy zależność statystyczną uzyskaną przez I. Vitorello i H. Pollacka. W związku z tymi procesami obszary starych platform są w dużo większym stopniu pozbawione źródeł ciepła radiogenicznego w obrębie skał piętra krystalicznego niż obszary młodsze tektonicznie. Ma to wpływ na rozkład strumienia ciepłego na obszarach kontynentalnych.

Drugim czynnikiem, który ma najprawdopodobniej wpływ na malenie strumienia ciepłego w zależności od wieku tektonicznego, jest zaburzenie termiczne w górnym płaszczu podczas procesów tektonotermicznych i związanych z tym zjawisk magmatyzmu, metamorfizmu oraz procesów deformacyjnych. Procesy tego typu zachodzą głównie w strefach zjawisk górotwórczych, jak również w strefach ryftów śródlądowych. Źródłem ciepła mającym wpływ na te zjawiska są głównie procesy w górnym płaszczu. W ostatnich latach wykonano na świecie wiele modeli procesów zaburzeń temperaturowych w górnym płaszczu i ich zmian w czasie w zależności od przewodności skał.

Na ryc. 1 obok obserwowanych średnich wartości strumienia ciepłego dla różnowiekowych obszarów orogenicznych naniesiono krzywe zmiany strumienia ciepłego według S. Crougha i G. Thompsona (4) (krzywa A) oraz według I. Vitorello i H. Pollacka (26) (krzywe B, C i D). Krzywe teoretyczne są w przybliżeniu zgodne z obserwacjami, że największe zmiany strumienia ciepłego w funkcji czasu następują w okresie pierwszych 300-400 mln lat. Krzywa S. Crougha i G. Thompsona bazuje na prostym modelu zakładającym, iż spąg litosfery jest granicą termiczną. Założono, że temperatura graniczna między litosferą, a astenosferą wynosi $1200^{\circ}C$. „Stygnięciu” astenosfery i następującemu wzrostowi miąższości litosfery w czasie towarzyszy malenie strumienia ciepłego.

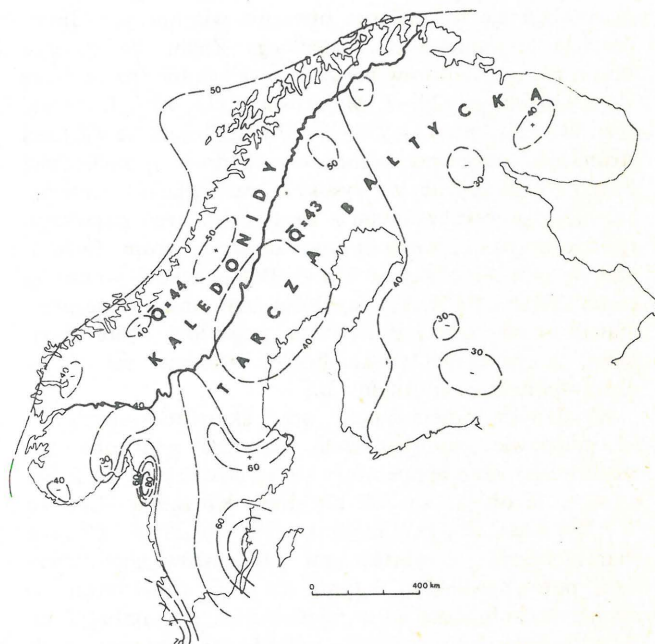


Ryc. 2. Zmiany średnich wartości generacji ciepła radiogenicznego A skał piętra krystalicznego dla obszarów tektonicznych w funkcji wieku $t \times 10^9$ lat (10).

KM - obszary orogeniczne mezozoiczno-kenozoiczne, H - hercyńskie, K - kaledońskie, PPr - późne platformy prekambryjskie, WPr - wczesne platformy prekambryjskie, NEP - platforma prekambryjska NE Polski.

Fig. 2. Changes in mean values of radiogenic heat A generation in rocks of crystalline stage for tectonic areas in the function of age $t \times 10^9$ years (10).

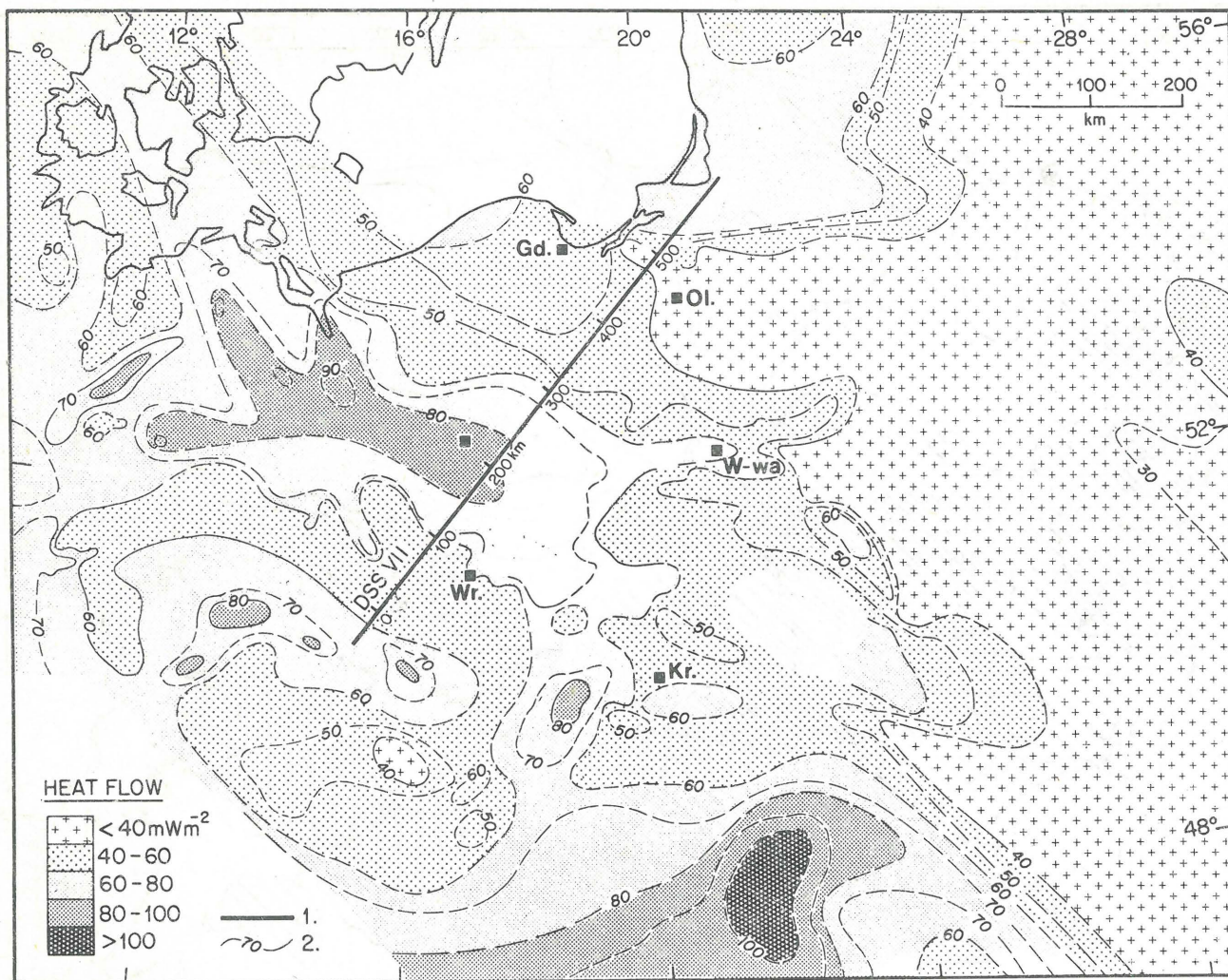
KM - Meso-Cenozoic orogenic areas, H - Hercynian, K - Caledonian, PPr - Late Precambrian platforms, WPr - Early Precambrian platforms, NEP - Precambrian platform of NE Poland.



Ryc. 3. Porównanie średnich wartości strumienia ciepłego \bar{Q} dla kaledonidów i tarczy bałtyckiej Skandynawii. Izolinie wartości strumienia ciepłego w mWm^{-2} według (25).

Fig. 3. Comparison of mean values of heat flow \bar{Q} for the Caledonides and Baltic Shield. Isolines of heat flow values in mWm^{-2} after (25).

Krzywe teoretyczne I. Vitorello i H. Pollacka (krzywe b-d) wyliczono dla zaburzenia temperatury, która wzrasta od powierzchni z głębokością, i ma swoje maksimum ΔT na głębokości l , a następnie maleje do $0^{\circ}C$ na głębokość L w podłożu zaburzonej temperaturowo warstwy. Cytowani autorzy policzyli krzywe teoretyczne przyjmując następujące parametry: $L = 375$ km, $\Delta T = 1215^{\circ}C$; $l = 140$ km (krzywa B), $L = 300$ km, $\Delta T = 780^{\circ}C$, $l = 90$ km (krzywa C); $L = 225$ km, $\Delta T = 350^{\circ}C$, $l = 40$ km (krzywa D).



Ryc. 4. Mapa wartości strumienia ciepłego dla Polski na tle obszarów przyległych Europy Środkowej (16, 25).

Fig. 4. Map of heat flow values for Poland at the background of adjoining areas in central Europe (16, 25).

1 – izoliny wartości strumienia ciepłego w mWm^{-2} , 2 – pozycja profilu VII głębokich sondowań sejsmicznych.

1 – isolines of heat flow values in mWm^{-2} , 2 – location of the VIIth profile of deep seismic soundings.

(krzywa D). Krzywe obrazują zmiany strumienia ciepłego w czasie na powierzchni Ziemi i w dużym stopniu tłumaczą zmiany strumienia ciepłego dla prowincji tektonicznych różnego wieku. Poza ciepłem remanentnym z procesów tektonicznych drugą składową obserwowanego strumienia ciepłego jest ciepło radiogeniczne, głównie związane ze skorupą ziemską.

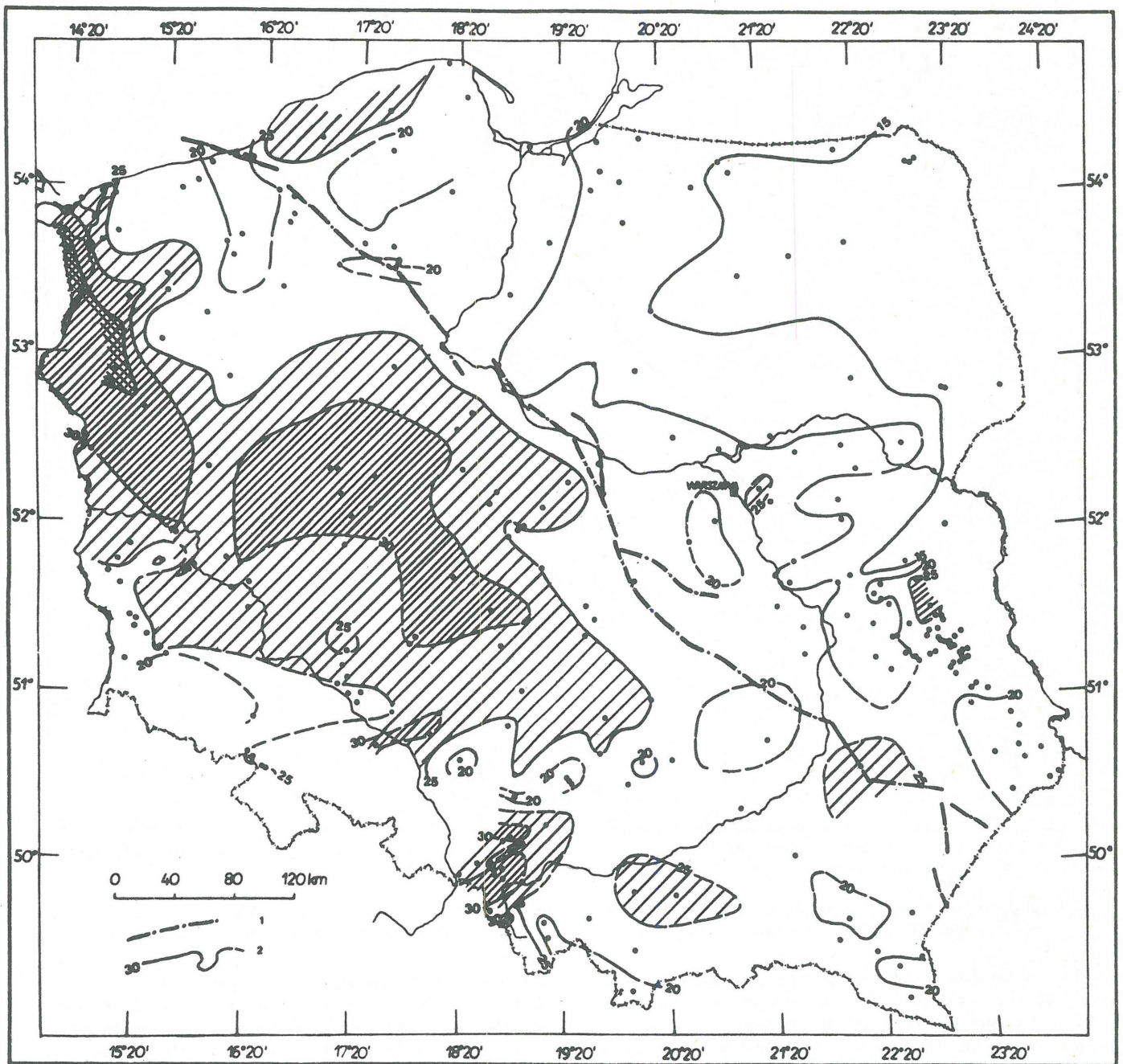
NOWE ASPEKTY INTERPRETACJI POLA GEOTERMICZNEGO NA NIŻU POLSKIM

Postęp w rozpoznaniu parametrów pola geotermicznego w Polsce oraz w innych krajach europejskich pozwala na bliższe przyjrzenie się związkowi pola geotermicznego z rozwojem tektonicznym. Na uwagę zasługują między innymi badania strumienia ciepłego dla obszaru kaledonidów oraz tarczy bałtyckiej w Skandynawii (18, 24). W niniejszej pracy określono średnie wartości strumienia ciepłego dla kaledonidów i dla bałtyckiej tarczy prekambryjskiej w Skandynawii (ryc. 3). Różnią się one minimalnie – dla kaledonidów wartość średnia Q_{sr} dla 38 danych wynosi 44 mWm^{-2} , a średnie odchylenie standardowe $\sigma = 10 \text{ mWm}^{-2}$, natomiast dla tarczy prekambryjskiej (94 dane) $Q_{sr} = 43 \text{ mWm}^{-2}$, $\sigma = 14 \text{ mWm}^{-2}$.

Głębokie nasunięcie fałdowań kaledońskich na starsze

podłoże prekambryjskie jest znanym geologicznym faktem. Brak istotnych różnic w wielkościach strumienia ciepłego między obszarem konsolidacji kaledońskiej a prekambryjskiej jest prawdopodobnie tego wynikiem. Podobnego typu sytuację mamy w rejonie dużo młodszym, w Karpatach zewnętrznych na ich kontakcie z obszarami platformowymi. Rejon zewnętrzny orogenu nasunięty na starsze podłoże nie różni się istotnie pod względem charakterystyki geotermicznej od platformy (25). Zróżnicowanie strumienia ciepłego w obrębie tarczy bałtyckiej czy kaledonidów skandynawskich związane jest głównie ze zróżnicowaniem ciepła radiogenicznego skał co pokazali D. Malmqvist (18) oraz Swanberg i inni (24).

Dodatknie anomalie wysokich wartości strumienia ciepłego występują również w obrębie platform prekambryjskich. Wskazują na to obserwacje poczynione ostatnio na niektórych platformach prekambryjskich. Anomalie strumienia ciepłego o wartościach wyższych od 60 mWm^{-2} występują na platformie prekambryjskiej Europy Wschodniej, w rejonie bałtyckim, na syneklizie perybałtyckiej (8) oraz na tarczy bałtyckiej w południowej części Szwecji (18). Istota źródeł tych anomalii nie jest dobrze poznana. Sugeruje się między innymi podwyższone wartości generacji ciepła w górnych warstwach skorupy w tych rejonach (18).



Ryc. 5. Mapa średnich wartości gradientu geotermicznego dla Polski.

1 – strefa maksymalnych bezwzględnych zmian poziomych składowej pionowej pola magnetycznego (7), 2 – izoliny wartości średnich gradientu geotermicznego w $\text{mK}\cdot\text{m}^{-1}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$).

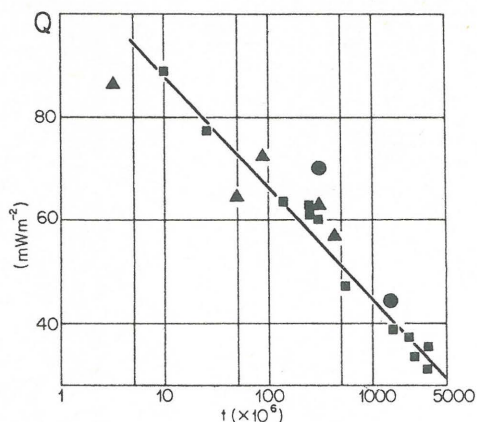
Jednocześnie w obrębie niektórych basenów na platformach udało się zaobserwować w skali regionalnej wpływ zjawisk hydrodynamicznych związanych z ruchami wód na rozkład strumienia ciepłego w warstwach piętra osadowego (17). W świetle tych nowych faktów należy ostrożnie podchodzić do zagadnienia interpretacji badań geotermicznych na Niżu Polskim w aspekcie wiązania parametrów geotermicznych z jednostkami tektonicznymi.

Na regionalny rozkład parametrów pola geotermicznego mogą mieć wpływ tak ciepło remanentne związane z procesami tektonofizycznymi, jak również rozkład ciepła radiogenicznego w piętrze osadowym oraz krystalicznym, a także procesy hydrogeotermalne.

Fig. 5. Map of mean values of geothermal gradient for Poland.

1 – zone of maximum absolute horizontal changes of vertical component of Earth magnetic field (7), 2 – isolines of mean values of geothermal gradient in $\text{mK}\cdot\text{m}^{-1}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$).

Spojrzenie na najnowszą mapę strumienia ciepłego obszaru Europy Środkowej (ryc. 4), jak również na mapę średnich wartości gradientu geotermicznego (ryc. 5) i porównanie tego obrazu z podziałem tektonicznym Niżu Polskiego ujawnia wiele interesujących zjawisk. Przede wszystkim wybitnym elementem w obrazie pola geotermicznego jest bardzo duża anomalia strumienia ciepłego ($Q \geq 70 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$) oraz gradientu geotermicznego ($\text{grad } T \geq 25 \text{ mK}\cdot\text{m}^{-1}$) w zachodniej Polsce, która jest jedną z wielu anomalii dodatnich występujących w rejonie Europy Zachodniej (25). Wartość średnia Q dla tego obszaru (głównie o waryscyjskiej konsolidacji podłoża) jest anomalna, jeśli rozpatrywać ją na tle zależności strumienia ciepłego Q od



Ryc. 6. Wartości średnie strumienia ciepłego dla obszaru konsolidacji warwscyjskiej oraz dla platformy prekambryjskiej w Polsce (oznaczone kołami) na tle zależności strumienia ciepłego od wieku ostatniej aktywności tektonicznej dla Czechosłowacji i Ukrainińskiej SRR (5, 11). Dane z CSRS oznaczono trójkątami, a z USRR kwadratami.

Fig. 6. Mean values of heat flow for areas of Variscan consolidation and Precambrian platform in Poland (circles) at the background of dependence of heat flow on the age of the last tectonic activity in Czechoslovakia and Ukrainian SSR (5, 11); data for Czechoslovakia are marked with triangles, and for Ukrainian SSR — with squares.

wieku uzyskanej przez V. Cermaka (5) dla CSRS i Ukrainińskiej SRR (ryc. 6).

Wysokie wartości strumienia ciepłego w zachodniej Polsce są związane głównie z rejonem występowania platformy paleozoicznej i zaznacza się generalnie na SW od strefy linii Teisseyre'a—Tornquista. Należy tu jednak zwrócić uwagę na fakt, że mimo, iż większość anomalii dodatnich strumienia ciepłego w Europie (25) występuje na W i SW od tej strefy, to w Polsce nie zawsze ma to miejsce. Dla przykładu obszar pomorski w strefie Koszalina—Chojnic i na W od tej strefy nie różni się istotnie parametrami geotermicznymi od brzeżnej strefy starej platformy prekambryjskiej. Podobna sytuacja występuje w południowej i SE Polsce. Szczególnie interesujący jest fakt, że stosunkowo niskie wartości Q obserwuje się w południowej Polsce w rejonie Karpat zewnętrznych. Dopiero wewnętrzna strefa orogenu karpackiego charakteryzuje się wysokimi wartościami Q (25).

Zaobserwowany fakt, że wielkości Q i grad T w strefie Koszalina—Chojnic oraz na W od tej strefy na Pomorzu nie różnią się istotnie od strefy brzeżnej starej platformy nie rozstrzyga w świetle przytoczonych nowych faktów kwestii przynależności tego obszaru do platformy prebajkalskiej czy też kaledonidów. Jak to wynika z cytowanych już średnich danych światowych Q dla obszarów kaledonidów i dla starych platform różnice w wartościach Q między obszarami kaledonidów a prekambryjskimi nie są zbyt wyraźne, co wiąże się najprawdopodobniej z tym, że stopień „wystygnięcia” górnego płaszczka w tych rejonach jest bliski. Znajduje to potwierdzenie w modelowych krzywych zależności Q od wieku (patrz ryc. 1, krzywa A i D). Najszybsze wychłodzenie obszarów objętych zjawiskami tektonicznymi następuje w pierwszym okresie 300—400 mln lat. Tak więc ilość ciepła remanentnego dla obszarów kaledonidów i prekambryjskich nie różni się wyraźnie.

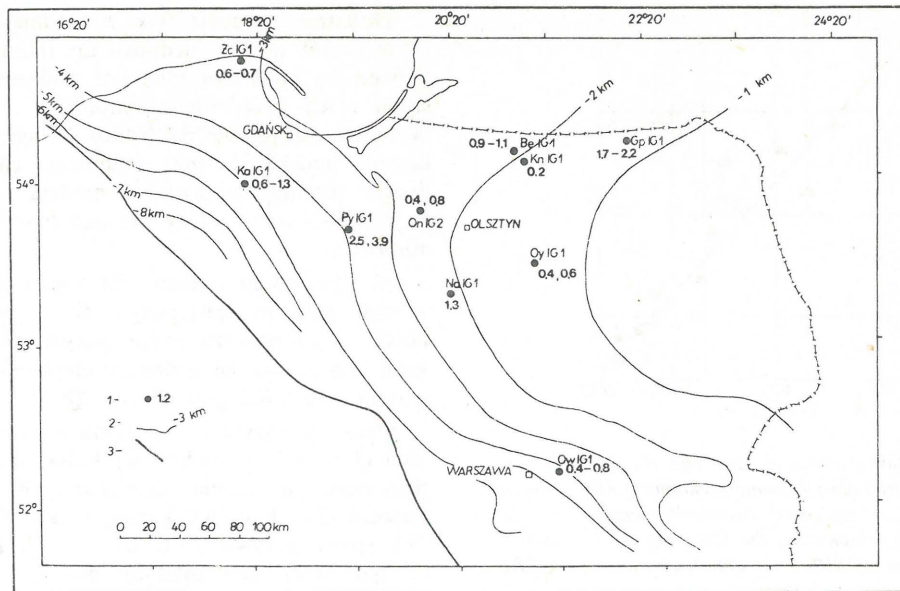
Dodatnie anomalie Q w zachodniej Polsce nie wiążą się w sposób prosty z jednostkami tektonicznymi, chociaż główna ich część związana jest z eksternidami warwscyjskimi i ich przedpolem. Anomalia o osi Myślibórz—Września—Kalisz nie ma jednoznacznej interpretacji. Wyliczenia podskorupowego strumienia ciepłego zależą w dużym stopniu od przyjęcia modelu rozkładu generacji ciepła w skorupie, który nie jest znany z bezpośrednich obserwacji.

A. Dąbrowski i autor (6) sugerowali na podstawie analizy pola magnetycznego, że w rejonie zachodniej Polski w jej podłożu mogą zalegać bloki granitoidowe, które mając wysoką generację ciepła mogłyby tłumaczyć wysokie wielkości grad T oraz Q .

Obok powyższego, wytłumaczeniem wysokich wartości Q w rejonie zachodniej Polski może być przyjęcie głębokiego zaburzenia termicznego w obrębie górnego płaszczka, tak jak na to wskazują modele Vitorello i Pollacka (26). (patrz krzywe B—C na ryc. 1). Zaburzenie takie, którego maksimum miałyby miejsce na głębokościach rzędu 100—150 km dawałoby dostateczną ilość ciepła remanentnego, nawet po tak długim okresie czasu jak 200—300 mln lat, by wytłumaczyć anomalię Q obserwowaną w rejonie platformy paleozoicznej w Polsce. W tym przypadku można by doszukiwać się związków tego zaburzenia ze zjawiskami transformacyjnymi na granicy Moho, na które niewątpliwie wpływ miał mieć podwyższony strumień ciepły w okresie warwscyjskim oraz ze zjawiskami magmatycznymi w autunnie na platformie paleozoicznej. Zjawiska transformacyjne miały wg J. Znoski oraz A. Gutercha i innych istotny wpływ na wiele zjawisk geologicznych na etapie platformowego rozwoju (9, 27).

W rejonie platformy prekambryjskiej niskie wartości Q mogą mieć związek tak z niską wartością podskorupowego strumienia ciepła, jak i również niską wartością generacji ciepła radiogenicznego. Na podstawie badań zawartości izotopów uranu, toru i potasu skał krystalicznych NE Polski w otworach wiertniczych Olszyny IG-1, Olsztyn IG-2, Okuniew IG-1 (gnejsy), Kętrzyn IG-1 (anortozyty), Nidzica IG-1, Gołdap IG-1 (granitoidy), Kościerzyna IG-1, Żarnowiec IG-1 (enderbity, czarnokity), Bartoszyce IG-1, Prabuty IG-1 (granitoidy) określono generację ciepła radiogenicznego (ryc. 7).

Badania zawartości izotopów U, Th, K zostały wykonane, na zlecenie Instytutu Geologicznego przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, za pomocą spektrometru promieniowania gamma z detektorem Ge (Li). Stężenie uranu zostało wyznaczone na podstawie promieniotwórczości ^{214}Pb (energia promieniowania gamma $E_\gamma = 352$ keV), ^{214}Bi ($E_\gamma = 609$ keV), ^{214}Bi ($E_\gamma = 1765$ keV) przy założeniu istnienia równowagi promieniotwórczej między uranem i jego pochodnymi. Stężenie toru wyznaczone zostało na podstawie promieniowania gamma ^{228}Ac ($E_\gamma = 911$ keV), ^{228}Ac ($E_\gamma = 968$ keV), ^{208}Tl ($E_\gamma = 583$ keV), ^{208}Tl ($E_\gamma = 2614$ keV). Stężenie potasu pomierzone zostało na podstawie promieniowania gamma ^{40}K ($E_\gamma = 1460,7$ keV). Przy obliczaniu generacji ciepła wykorzystano metodę Bircha (1). Jak wynika z zestawienia danych w średniej generacji ciepła dla badanych skał z danymi światowymi (ryc. 2) wartości te są bardzo niskie, co może świadczyć o bardzo dużym stopniu zdenudowania górnych partii piętra krystalicznego, które charakteryzują się najwyższą generacją ciepła według modelu eksponencjalnego zmniejszenia się generacji ciepła z głębokością podanego przez A. Lachenbracha (12). Głęboką erozję piętra krystalicznego w NE Polsce przyjmuje W. Ryka (21).



Ryc. 7. Wartości generacji ciepła na platformie prekambryjskiej NE Polski w skałach krystalicznych.

1 – wartości generacji ciepła radiogenicznego w μWm^{-3} , 2 – głębokość zalegania podłoża skonsolidowanego według J. Skorupy (23), 3 – zachodnia granica platformy prekambryjskiej.

Fig. 7. The value of heat generation in crystalline rocks of the Precambrian platform in NE Poland.

1 – value of radiogenic heat generation in μWm^{-3} , 2 – depth of occurrence of consolidated basement after J. Skorupa (23), 3 – western margin of the Precambrian platform.

Następnym czynnikiem, który może powodować bardzo zaniżone wielkości $\text{grad } T$ oraz Q w NE Polsce ($\text{grad } T \leq 15 \text{ mKkm}^{-1}$, $Q \leq 40 \text{ mWm}^{-2}$) jest transport ciepła na drodze ruchu wód w obrębie skał przepuszczalnych piętra osadowego. Potwierdzeniem tego byłby fakt, że wartości $\text{grad } T$ i strumienia ciepła w obrębie skał piętra osadowego są niższe od tych, które rejestruje się w obrębie skał piętra krystalicznego, mimo że przewodność cieplna skał piętra osadowego jest niższa lub bliska przewodności skał krystalicznych. Przykłady takie istnieją w otworze Ełk IG-3 oraz dla otworów rejonu Krzemianki i Udrynia, np. w Ełku $\text{grad } T = 12 \text{ mKkm}^{-1}$ dla nadkładu osadowego, a $\text{grad } T = 19 \text{ mKkm}^{-1}$ dla krystaliku. W rejonie Krzemianki i Udrynia wartości $\text{grad } T$ w obrębie piętra krystalicznego również są bliskie 19 mKkm^{-1} , natomiast w skałach nadkładu wahają się od 0 do 14 mKkm^{-1} . W otworze Zambrów IG-1 położonym bardziej na S jest inaczej i wartości $\text{grad } T$ w nadkładzie nie różnią się istotnie od wartości w krystaliku ($\text{grad } T = 16 \text{ mKkm}^{-1}$).

Generalnie obszarem alimentacyjnym w NE Polsce jest wyniesienie mazursko-suwalskie oraz wyniesienie podlaskie. W brzeżnych częściach basenu kierunek ruchu wód następuje ku ich centralnej części. Stwierdza się również odwrotny ascenzyjny ruch wód od centralnej do brzeżnej strefy basenu (2). Taki układ hydrodynamiczny może powodować obniżenie wielkości Q i $\text{grad } T$ w związku z transportem ciepła na drodze przepływu wód ze składową ujemną w górnych warstwach osadowych w strefach alimentacji oraz podwyższanie wielkości Q w przypadku ruchów ascenzyjnych. Magnituda efektu hydrotermalnego jest bardzo znaczna dla przepływu wód z prędkościami tak niewielkimi jak $3 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ ($\sim 1 \text{ cm/rok}$), (17). Przepływ wód przez warstwę o miąższości 1–2 km z prędkością tego rzędu może zmniejszyć regionalny strumień ciepły od 50 do 80% w przypadku istnienia przepływu ze składową pionową w dół. Jednocześnie ruchy ascenzyjne mogą spowodować w niektórych rejonach i warstwach podwyższenie wartości strumienia ciepłego.

UWAGI KOŃCOWE

Jak to podano powyżej wiele czynników ma wpływ na rozkład pola ciepłego. Relacje między współczesnym rozkładem strumienia ciepłego a zjawiskami termicznymi związanymi z procesami rozwoju orogenicznego oraz rozwoju platformowego nie mają charakteru związków prostych. Na współcześnie obserwowane pole geotermiczne ma wpływ istnienie składowej strumienia ciepłego związanego z ciepłem remanentnym związanym ze zjawiskami fazy orogenicznej jako jeden z czynników. Na obszarze Niżu Polskiego wpływ ten zaznacza się najprawdopodobniej w rejonach, w których istniały zjawiska tektoniczne związane z orogenezą hercyńską.

Niejednoznaczności w interpretacji tektonicznej rozkładu pola geotermicznego wiążą się między innymi z tym, że przypuszczalnie składowe strumienia ciepłego związane z ciepłem remanentnym z procesów termicznych orogenezy kaledońskiej i starszych nie różnią się w sposób wyraźny między sobą. Jest to prawdopodobnie związane ze stosunkowo niskimi wielkościami ciepła remanentnego związanego z procesami tektonofizycznymi w tych obszarach. Obok tego na rozkład pola ciepłego istotny wpływ ma zróżnicowanie w rozprzestrzenieniu źródeł ciepła radiogenicznego oraz zjawiska transportu ciepła na drodze przewodnictwa i procesów hydrodynamicznych. Dalszy postęp w rozpoznaniu tych czynników pozwoli na uściślenie interpretacji tektonicznej rozkładu pola geotermicznego.

LITERATURA

1. Birch F. – Heat flow from radioactivity. Nuclear Geology (M. Faul ed.) Wiley N.Y. 1954.
2. Bojarski L. – Hydrogeologiczne kryteria ropo i gazonośności. Geologiczne warunki występowania niestrukturalnych pułapek – zamknięć złożowych gazu ziemnego i ropy naftowej w utworach starszego paleo-

- zoiku platformy prekambryjskiej oraz ocena prognoz odkrycia w nich nagromadzeń węglowodorów (opracowanie pod kierunkiem S. Depowskiego). Arch. IG 1978.
3. Bogdanow A. — O tectonicznym strojeniu zapadnego ugięcia europejskiej platformy. Wiestnik Mosk. Uniw. 1968 nr 5.
 4. Crough S. T., Thompson G. A. — Thermal model of continental lithosphere, *J. Geophys. Res.* 1976 nr 26.
 5. Cermak V. — Heat flow map of Europe. *Terrestrial Heat Flow in Europe*. (V. Cermak ed.) Springer Ver. 1979.
 6. Dąbrowski A., Majorowicz J. — Rozkład głębokościowy temperatury Curie i jego wpływ na pole magnetyczne w Polsce, *Kwart. Geol.* 1977, nr 4.
 7. Dąbrowski A., Karaczun K., Karaczun M. — Południowo-zachodni brzeg platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce w świetle wyników badań magnetycznych. *Prz. Geol.* 1981 nr 8.
 8. Depowski S., Majorowicz J. — Warunki geotermiczne i ich wpływ na rozmieszczenie nagromadzeń węglowodorów w zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Ibidem*. 1979 nr 4.
 9. Guterch A., Materzok R., Pajchel J., Perchuc E. — Sejsmiczna struktura skorupy ziemskiej wzdłuż VII profilu międzynarodowego w świetle badań metodą głębokich sondowań sejsmicznych. *Ibidem* 1975 nr 4.
 10. Jessop A. M., Hobart M. A., Sclater J. G. — The world heat flow data collection 1975. *Geothermal Service of Canada, Geotherm. Ser. 5*. 1976.
 11. Kutas R. I., Lubimowa E. A., Smirnow J. B. — Heat flow map of the European part of the USSR and its geological and geophysical interpretation. *Geoelectric and Geothermal Studies* (A. Adam ed.) Akademiai Kiado, 1976.
 12. Lachenbruch A. — Implication of linear heat flow relation. *J. Geophys. Res.* 1970 vol. 76.
 13. Lee W. H. K., Uyeda S. — Review of heat flow data. In: *Terrestrial heat flow*. *Geophys. Monogr.* 8 (Lee, W.H.K. ed.) 1965.
 14. Majorowicz J. — Heat flow in Poland and its relation to the geological structure. *Geothermics* 1973 no. 1.
 15. Majorowicz J. — Analiza pola geotermalnego Polski na tle Europy ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień tektonofizycznych i hydrogeotermalnych. *Prz. Geol.* 1977 nr 3.
 16. Majorowicz J., Plewa S. — Study of heat flow in Poland with Special regard to tectonophysical problems. *Terrestrial Heat Flow in Europe* (V. Cermak ed.). Springer Ver. 1979.
 17. Majorowicz J., Jessop A. — Regional heat flow patterns in the western Canadian sedimentary basin. *Tectonophys.* 1981 no. 3–4.
 18. Malmqvist D. — Some view points on heat — flows in the Baltic Shield area. *Nording Symposium on Geothermal Energy-Proceedings*, Göteborg 1978.
 19. Plewa S. — Regionalny obraz parametrów geotermicznych obszaru Polski. *Wyd. Geofiz. Geol. Naft. Kraków* 1966.
 20. Pożaryski W. — The formation of the East European Platform. *Geology of Poland. Tectonics*. (W. Pożaryski ed.) *Wyd. Geol.* 1977.
 21. Ryka W. — Development of the crystalline basement of north-eastern Poland. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* 1970 vol. 34.
 22. Sclater J., Franchetau J. — The implication of terrestrial heat flow observations of current tectonic and geochemical models of the crust and upper mantle of the earth, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1970 vol. 20.
 23. Skorupa J. — Regional refraction investigations of deep basement in Poland, *Pub. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* 1975 vol. 82.
 24. Swanberg C. A., Chessman M., Simmons G., Smithson S., Grönlie G., Heier K. — Heat flow — heat generation studies in Norway. *Tectonophys.* 1974 vol. 23.
 25. *Terrestrial heat flow in Europe* (V. Cermak ed.). Springer Ver. 1979.
 26. Vitorello I., Pollack H. — On the variation of continental heat flow with age and the thermal evolution of continents, *J. Geophys. Res.* 1980 vol. 85 No. B. 2.
 27. Znosko J. — Teisseyre–Tornquist tectonic zone: some interpretative implications of recent geological and geophysical investigations. *Acta Geol. Pol.* 1979 nr 4.

SUMMARY

The paper deals with ambiguities in tectonic interpretation of geothermal field parameters in Poland. Zones differing in geothermal regime do not always match well tectonic units established with reference to the age of basement consolidation. The highest values of grad T and heat flow Q are generally recorded in area of Variscan externalides and their foreland, west of the Teisseyre–Tornquist Line. However, the Line, regarded as western boundary of the Old East-European Platform, fails to appear as a sharp one in the case of distribution of geothermal parameters. Low Q and grad T values, comparable with typical of Polish part of the Old Platform, are also recorded in Pomerania west of the Koszalin–Chojnice zone, i.e. in area considered as consolidated in the Baikalian epoch by some authors (20) and in the Caledonian by others (27). The values are also low west of that line in south-western Poland, including the external zone of the Carpathian orogen. In western Poland, a positive anomaly of heat flow and grad T has been found in area characterized by anomalous structure of the Earth crust in zone transitional to the Upper Mantle (according to DSS data — see (9)) and volcanic activity in the Autunian and at the same time, the lack of positive anomalies of ΔZ vertical component of the magnetic field (6). The anomaly may be related to an increased radiogenic heat generation in deep-seated crystalline basement and substantial amounts of remnant heat related to very deep-seated sources active in the Late Variscan epoch. There are presented the results of studies on radiogenic heat in Precambrian basement in north-eastern Poland, characterized by very low values. The studies showed that heat flow in sedimentary cover is significantly lower than in the crystalline basement in north-eastern Poland. This is especially the case of zones of groundwater recharge in northern part of the Mazury–Suwałki Elevation.

РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается вопрос неоднозначности тектонической интерпретации параметров геотерми-