

JÓZEF STAJNIAK, ANDRZEJ GAJEWSKI,
CZESŁAW KRÓLIKOWSKI

Zakład Badań Geofizycznych „PPG”,
Instytut Geologiczny

REGIONALNE BADANIA GEOTERMICZNE NA PROFILU CHOCIWEL—LĘBORK

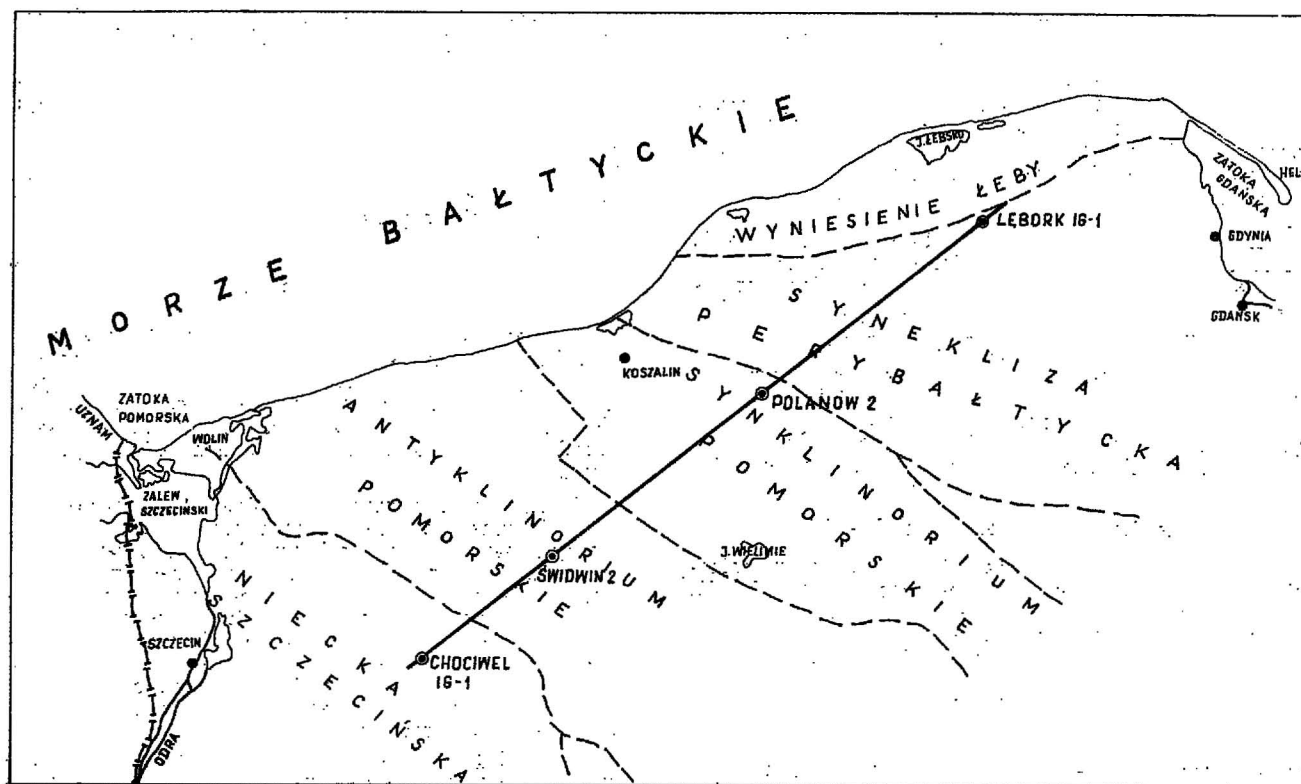
UKD 550.838.2.05.012.014(438—16 Chociwel—Lębork)

Badania geofizyczne na profilach regionalnych są prowadzone w Polsce już od wielu lat. Spełniają one ważną rolę w rozpoznaniu regionalnej budowy geologicznej kraju i jednocześnie Europy Środkowej, gdyż część z nich stanowi odcinki sieci profili międzynarodowych. Badania te realizowano różnymi metodami — obok sejsmicznej, która była podstawową, stosowano również metody: grawimetryczną, magnetotelluryczną, telluryczną i stabilizacji pola. Jednym z profili regionalnych, na którym wykonano ostatnio kompleksowe badania geofizyczne jest właśnie profil Chociwel—Lębork (ryc. 1).

Na profilu tym, poza wyżej wymienionymi metodami, z inicjatywy Zakładu Geofizyki Instytutu Geologicznego, zastosowano również metodę geotermiczną. Wykonawcą prac było Przedsiębiorstwo Po-

szukiwań Geofizycznych. Od chwili wdrożenia, tj. od 1972 r., PPG stosuje metodę geotermiczną do rozwiązywania różnych zagadnień geologicznych. Jednakże omawiane w niniejszym artykule prace, ze względu na swój charakter, są pierwszymi tego rodzaju w Polsce. Były to badania metodyczno-doświadczalne. Podjęto je w celu przesłedzenia pola cieplnego wzdłuż 200 km profilu przechodzącego przez różne jednostki geologiczno-strukturalne i zorientowania się jakich wyników można oczekiwać od tej metody, w tego rodzaju badaniach. Chodziło zwłaszcza o zbadanie możliwości śledzenia za jej pomocą elementów głębszej tektoniki.

Zachętę do podjęcia tych badań geotermicznych stanowiły przesłanki teoretyczne, pozytywne doświadczenia prac zagranicznych (3), stosunkowo niewielki



Ryc. 1. Lokalizacja profilu Chociwel—Lębork na tle jednostek geologicznych.

Fig. 1. Location of the Chociwel—Lębork profile versus main geological units.

koszt oraz możliwość analizy uzyskanych wyników na tle wyników badań wykonanych na tym samym profilu kilkoma innymi metodami.

W artykule podano metodykę przeprowadzania badań oraz analizę i próbę interpretacji uzyskanych wyników.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Jak pokazano na ryc. 1, profil Chociwel—Lębork zaczyna się w niecce szczecińskiej, następnie przecina antyklinorium i synklinorium pomorskie i wchodzi w syneklizę perybaltycką sięgając wyniesienia Łeby. Przecina on zatem całą szerokość bruzdy duńsko-polskiej i znaczne odcinki regionów ją obrzeżających. Od NE jest to obszar platformy prekambryjskiej Europy Wschodniej oddzielony od bruzdy strefą tektoniczną Teisseyre'a-Tornquista, od SW jest to zewnętrzne północne pasmo warwycydów Europy Środkowej i Zachodniej.

Dźwignięty wał pomorski, w obrębie którego na powierzchnię podkenozoiczną wychodzą głównie utwory jurajskie, sąsiaduje z jednostkami depresyjnymi, gdzie pod kenozoikiem występują utwory kredowe. Największe miąższości osadów cechsztyńsko-mezozoicznych (do 10 tys. m) wiążą się ze strefą wału pomorsko-kujawskiego i jego zachodnich peryferii. Jest to zatem strefa ograniczona od NE linią uskoku Sianów—Świecie i Koszalin—Chojnice, a od SW strefami dyslokacyjnymi Swinoujście—Człopa i Pyrzyce—Szamotuły. W obszarze tym obserwuje się najintensywniejsze przejawy tektoniki solnej. Stwierdza się tu często linearny układ struktur solnych oraz związek ich ciągów ze strefami nagłego przyrostu miąższości mezozoiku, co z kolei wiąże się z przebiegiem wglębnych linii dyslokacji podłoża.

Podłoże kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego, według aktualnego stanu rozpoznania, występuje na głębokości rzędu 4000 m — na pograniczu monokliny przedsudeckiej i do ok. 7000 m — na pograniczu wału pomorskiego. Działalność tektoniczna szczególnie intensywnie i długotrwale występowała w obszarze

wspomnianej już bruzdy. Utwory osadowe procesom tym ulegały już od dewonu, z nasileniem w permie i triasie, z mocnym końcowym etapem w najstarszym trzeciorzędzie. Na utworach mezozoicznych zalega trzeciorzęd i czwartorzęd, w postaci: łów, mułków, glin zwałowych, piasków i żwirów. Miąższość tych utworów zmienia się od 143 m, w otworze Lębork IG-1, do 310 m w otworze Polanów 2.

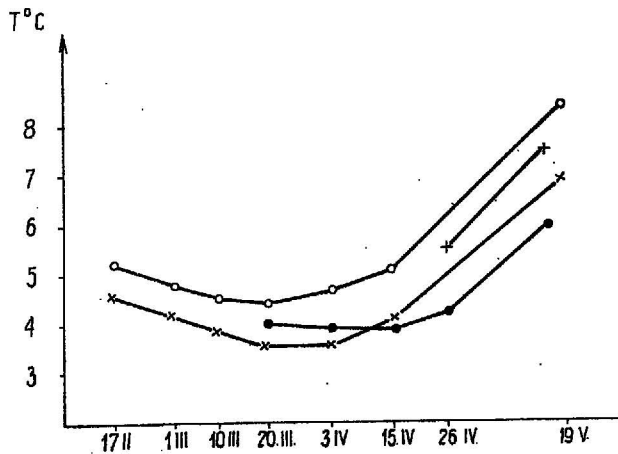
METODYKA PRAC POŁOWYCH

Pomiary temperatury wykonywano w otworach na stałej głębokości 2 m. Otwory odwiercano mechanicznym urządzeniem wiertniczym WH-1, a w miejscach trudno dostępnych — urządzeniem ręcznym.

Warunki wykonywania odwiertów na profilu były bardzo zróżnicowane: od piasków zailonnych, zawodnionych i żwirów z otoczkami do glin. Miało to poważny wpływ na czas stabilizacji temperatury, który wynosił od 10 do 45 min, w warunkach wyjątkowo niekorzystnych (żwir z otoczkami).

Pomiary temperatury prowadzono dwoma geotermometrami: GT-1 — produkcji CSRS, o zakresie 0—50 °C i dokładności odczytu 0,01 °C oraz GTP-01 produkcji PPG, o zakresie 0—100 °C i dokładności odczytu 0,1 °C. Wykonywano je do otrzymania trzykrotnie identycznego wyniku, w odstępach trzyciunutowych. W trakcie prac terenowych dokonywano codziennie pomiarów kontrolnych prawidłowości działania sond pomiarowych. Oprócz zapisów wyników pomiaru temperatury dla każdego punktu prowadzono pełną dokumentację nawiercanych utworów i warunków terenowych.

Prace pomiarowe rozpoczęto 17 II 1975 r. od rejonu Chociwela a zakończono 19 V 1975 r. w rejonie Lęborka. Pełny cykl pomiarowy trwał 92 dni. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów na profilu wykonano rejestrację temperatury na dwóch sąsiednich punktach bazowych, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie otworów Chociwel IG-1 i Świdwin 2. Pomiary na tych punktach bazowych powtarzano w okresie całego cyklu pomiarowego. W miarę postępu



Ryc. 2. Sezonowe zmiany temperatury na punktach bazowych.

○ Chociwel, × Świdwin, ● Polanów, + Lębork.

Fig. 2. Seasonal changes in temperature at reference points.

○ Chociwel, × Świdwin, ● Polanów, + Lębork.

prac na profilu głównym pomiary bazowe wykonano również na dwóch następnych punktach bazowych, w sąsiedztwie otworów Polanów 2 i Lębork IG-1. Wyniki pomiarów na punktach bazowych przedstawiono na ryc. 2, a wyznaczone na ich podstawie średnie dryfty międzyokresowe podano w tab. I.

Niezależnie od punktów bazowych przy otworach Chociwel IG-1 i Świdwin 2, Polanów 2 oraz Lębork IG-1 założono 4 tzw. standardowe punkty pomiarowe w różnych warunkach terenowych. Pomiary, wykonywane na tych punktach, umożliwiały codzienną kontrolę dryftu temperatury i jednocześnie spełniały rolę pomiarów kontrolnych geotermometrów i sond pomiarowych. W trakcie prowadzenia badań wykonano wiele pomiarów zagęszczających w strefach dużych zmian wartości pola termicznego. Dodatkowo wykonano cztery krótkie profile równoległe do profilu głównego. Profile te przebadano w strefach dużej zmienności pola cieplnego, w odległości 5 km od profilu głównego, po obu jego stronach, na wysokości punktów 40–70 i 180–215. Dla dokładnego prześledzenia zmian temperatury w czasie, w różnych ośrodkach gruntowych, w okresie 22 IV–17 V, wykonano szczegółowe pomiary na punktach standardowych w rejonie Słupska. Wyniki tych pomiarów zawiera tab. II.

OPRACOWANIE DANYCH

Najogólniej, gdy powierzchniowe badania geotermiczne prowadzone są w dłuższym okresie czasu w różnych warunkach terenowych (np. w lesie i w terenie otwartym), a pomiary z przyczyn obiektywnych nie mogą być wykonane na jednakowej głębokości, wówczas dla uzyskania porównywalnych danych do ich wyników należy wprowadzać odpowiednie poprawki wyznaczone empirycznie. W przypadku niniejszych badań wszystkie pomiary wykonano na głębokości 2 m, co automatycznie wyeliminowało problem poprawek głębokościowych.

W omawianych badaniach należało przede wszystkim wprowadzić poprawkę na sezonowe zmiany temperatury, gdyż pomiary wykonano w okresie 92 dni i w tym czasie temperatura na głębokości 2 m najpierw spadała, a w końcowej fazie badań bardzo szybko wzrastała. Wartości tej poprawki wyznaczano na podstawie pomiarów na punktach bazowych, obliczając dryft temperatury dla poszczególnych okresów. Uwzględniając charakter zmian temperatury na punktach bazowych oraz czasowy przebieg pomiarów na profilu głównym, zdecydowano wszyst-

Tabela I

ŚREDNIE WARTOŚCI DRYFTU TEMPERATUR W °C/DOBE NA PUNKTACH BAZOWYCH

Okres	OW Chociwel	OW Świdwin	OW Polanów	OW Lębork	Uwagi
17 II 1 III	-0,033	-0,033	—	—	
1 III 20 III	-0,021	-0,031	—	—	
20 III 2 IV	+0,015	+0,007	-0,007	—	
2 IV 15 IV	+0,030	+0,030	0	—	
15 IV 19 IV	+0,100	+0,085	—	—	
26 IV 17 IV	—	—	+0,086	+0,071	wart. śr. +0075
17 II 20 III	-0,025	-0,032	—	—	wart. śr. -0028
2 IV 17 IV	—	—	+0,047	—	

Tabela II

WYNIKI POMIARÓW NA PUNKTACH STANDARDOWYCH (W °C) REJON SŁUPSKA

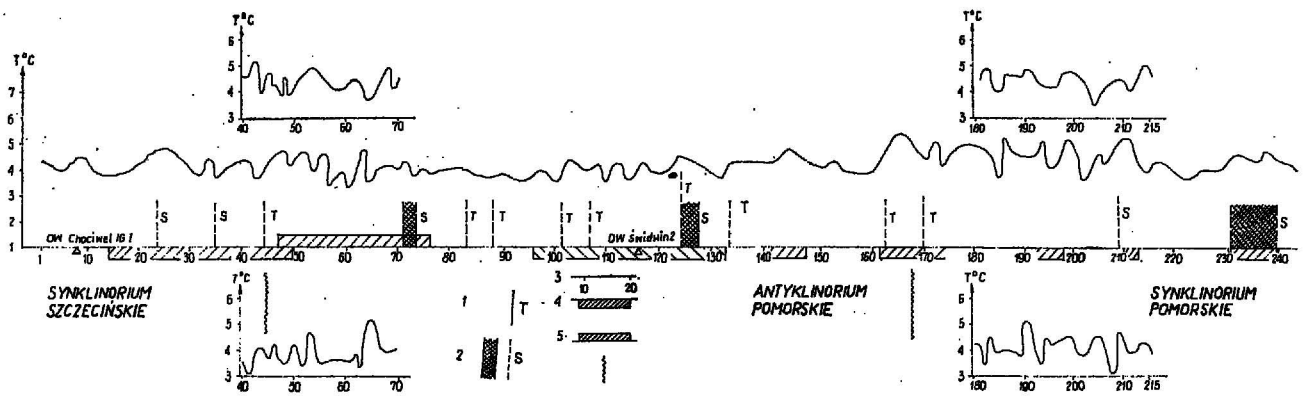
Data pomiaru	A	B	C	D	T _p
22.04.	5,28	5,29	5,81	4,58	6
23.04.	5,28	5,30	5,84	4,60	6
24.04.	5,30	5,30	5,88	4,60	10
25.04.	5,30	5,39	5,92	4,61	11
26.04.	5,38	5,48	5,96	4,64	12
28.04.	5,50	5,50	6,00	4,67	15
29.04.	5,60	5,60	6,04	4,70	17
30.04.	5,70	5,69	6,08	4,70	16
2.05.	5,92	5,84	6,10	4,70	16
3.05.	6,00	5,92	6,10	4,71	14
5.05.	6,31	6,10	6,20	4,74	15
6.05.	6,41	6,23	6,30	4,80	14
7.05.	6,50	6,30	6,30	4,90	14
8.05.	6,58	6,40	6,40	4,92	15
10.05.	6,60	6,57	6,49	5,05	15
12.05.	6,82	6,74	6,60	5,15	14
13.05.	7,02	6,80	6,61	5,19	10
14.05.	7,17	6,91	6,68	5,35	16
15.05.	7,23	6,97	6,70	5,38	16
17.05.	7,30	7,02	6,80	5,46	17

średni dryft: 0,080 0,073 0,040 0,035
w °C/dobę

Objaśnienia:

- A — teren płaski otwarty; glina wilgotna, szara
- B — łąka, teren otwarty; piasek mokry zailony
- C — łąka, 5 m od rzeki; torf, muł, woda w otwarze
- D — las; piasek zagłębiony
- T_p — temperatura powietrza

Uwaga: Pomiary wykonywano w godzinach 8.30–8.30.



Ryc. 3. Zmiany temperatury gruntu i ich zestawienie z wynikami prac sejsmicznych i geoelektrycznych na profilu regionalnym Chociwel—Łębork. 1 — uskoki według badań magnetotellurycznych i tellu-

rycznych, 2 — strefy nieciągłości i uskoki wg badań sejsmicznych, 3 — numery punktów pomiarowych, 4 — strefy braku wyników sejsmicznych lub występowania słabych odbić nieciągłych, 5 — strefa wynurzania się utworów podkenozoicznych, 6 — granice jednostek geologicznych.

kie pomiary odnieść do dnia 20 III 1975 r., a właściwie do okresu 20 III—26 IV, gdyż dryft w tym czasie był tak nieznaczny, że można go było pominąć. Dla wyznaczenia więc poprawek dla każdego dnia policzono średnie wartości dryftu temperatury w okresie 17 II—20 III oraz 26 IV—17 V 1975 r. Dla pierwszego okresu wartość ta wynosiła 0,088 °C/dobę, a dla drugiego — 0,075 °C/dobę dla obszaru otwartego a 0,040 °C/dobę dla lasu. W okresie 17 II—20 III nie stosowano odmiennej poprawki dla lasu, z uwagi na jej znikomą różnicę w stosunku do obszaru otwartego. Dopiero tak zredukowane wartości pomiarów stanowiły podstawę do sporządzenia wykresu zmian temperatury na całym profilu.

Szczegółowo przeanalizowano również problem ewentualnych poprawek przy przechodzeniu z lasu do obszaru odkrytego. Problem ten w okresie letnim naszej szerokości geograficznej występuje bardzo wyraźnie. Stwierdzono mianowicie, że w tym czasie (a w tropiku zawsze) temperatura gruntu na głębokości ok. 2 m w lesie jest niższa niż na obszarze odkrytym. Mechanizm fizyczny tego zjawiska jest jasny: znaczna część padającego promieniowania słonecznego odbija się od liści, część jest pochłaniana przez nie na procesy fotosyntezy i tylko część dochodzi bezpośrednio do powierzchni ziemi.

W naszych warunkach geograficznych w okresie zimy, a raczej od późnej jesieni do wczesnej wiosny, kiedy to obok niskiej temperatury występują długotrwałe okresy dużego zachmurzenia, relacje z okresu lata z pewnością ulegają poważnej zmianie. Analizując to zagadnienie można dojść do wniosku, że wpływ lasu w tym okresie minimalizuje się i właściwie nie powinien się zaznaczać, czyli przebieg temperatury w znacznym okresie czasu, średnio biorąc, wyrównuje się w tych warunkach.

Niezależnie od tej oceny przeprowadziliśmy analizę danych pomiarowych z dwóch odmiennych obszarów pokrycia terenu. Z analizy wynika, że w okresie tym a praktycznie do końca kwietnia nie obserwuje się żadnej prawidłowości w wynikach pomiarów, przy przejściu z lasu do obszaru odkrytego. Wyniki tej analizy upoważniły więc do wyciągnięcia wniosku, że las w tym okresie nie wpływał na wyniki pomiarów. Jeżeli nawet wpływ ten występował, to był on minimalny i graficzne uśrednienie krzywej zmian temperatury na wykresie w dostatecznym stopniu go eliminuje. Stąd też, nie zachodziła potrzeba wprowadzania tego rodzaju poprawki w okresie do końca kwietnia. Wpływ ten zaczyna być widoczny od początku maja, kiedy po okresie długotrwałych chłódów, w ostatnich dniach kwietnia nadeszło znaczne ocieplenie. Jak wykazały pomiary standardowe, w okresie tym grunt w terenie otwartym znacznie szybciej ocieplał się niż w lesie; o ile bowiem w pierwszym dryft wynosił około 0,08 °C/dobę, to w lesie tylko ok. 0,04 °C/dobę, czyli był dwukrotnie niższy. Natomiast w okresie chłódów, tuż przed ociepleniem — dryft dla obu obszarów był jednakowy i bardzo mały.

Tak więc, w wyniku różnego stopnia ocieplenia, pod koniec pomiarów (17 V) las dawał efekt wynoszący ok. 0,8 °C. Wpływ ten wyeliminowano stosując właściwe, a wynikające z wymienionych dryftów, poprawki dla obszaru odkrytego i lasu.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przystępując do omówienia tego zagadnienia, już na wstępie należy podkreślić, że pomiarami stwierdzono bardzo zróżnicowany charakter pola cieplnego (ryc. 3), gdyż po odpowiednim zredukowaniu, wartości temperatury zmieniają się w przedziale od 3 do 7 °C, co dla tego typu badań jest przedziałem dużym. Pomiarami tymi stwierdzono więc na badanym profilu regionalnym liczne, i o znacznej amplitudzie, anomalie pola cieplnego. Po stwierdzeniu tych faktów rodzi się pytanie dotyczące przyczyn wywołujących te anomalie. Odpowiedź nie jest prosta. Dotychczas prace w podobnym celu wykonali w Holandii — J. Ph. Poley i J. Van Steveninck. Wykryli oni wyraźne, korelujące się anomalie geotermiczne nad uskokami występującymi pod trzecio- i czwartorzędem, na głębokości 1000—2000 m (ryc. 4). Analizując charakter tych anomalii oraz anomalii uzyskanych na profilu Chociwel—Łębork stwierdza się, że zachodzi między nimi duże podobieństwo.

Poważne trudności ze sformulowaniem odpowiedzi wiążą się również z tym, że mogą to być różne źródła. Postawione pytanie należy rozbić właściwie na dwa, a mianowicie:

- 1) czy źródła anomalii znajdują się przy powierzchni (są płytkie), a jeśli tak, to jakie one są?
- 2) czy źródła anomalii leżą głęboko, a jeśli tak, to co nimi może być z punktu widzenia geologicznego?

W sformułowanej odpowiedzi zawarta będzie jednocześnie ocena uzyskanych wyników w świetle postawionego zadania.

Przystępując do analizy danych należy odnotować następujące fakty:

- a) wyniki pomiarów są całkowicie wolne od błędów aparaturowych; osiągnięto to przez codzienną kontrolę przyrządów i sond pomiarowych, prowadząc pomiary sprzętem pełnosprawnym;
- b) wyniki pomiarów są wolne od ewentualnych błędów związanych z techniką mechanicznego odwiercania płytkich otworów (w trakcie wiercenia skały ocieplają się). Wpływ ten wyeliminowano poprzez bezpośrednie stwierdzenie pomiarami całkowitego wyrównania się temperatury. Mianowicie, po włożeniu sondy do otworu odczyty prowadzone co 3 minuty, do momentu uzyskania trzykrotnie identycznej wartości. Ponieważ otwory wykonywano tylko w utworach luźnych, nie ulegały one silnemu nagrzewaniu i czas stabilizacji temperatury był względnie krótki (wynosił do kilkudziesięciu minut);

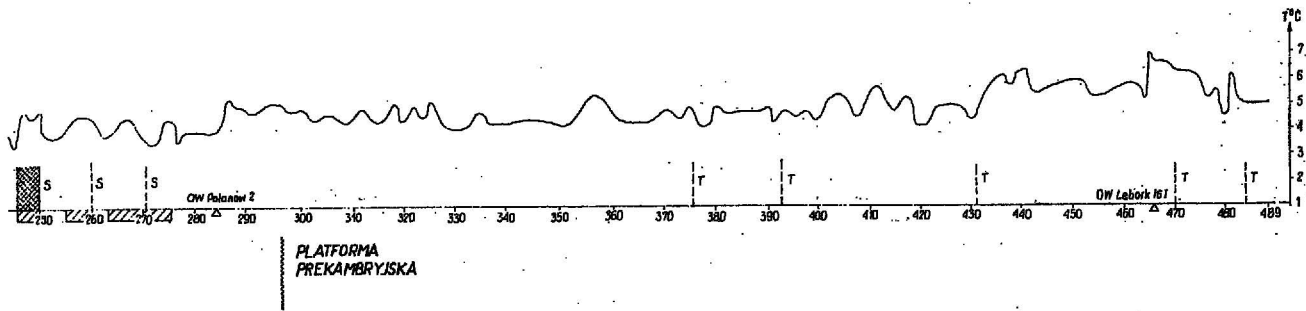


Fig. 3. Changes in soil temperature and their comparison with the results of seismic and telluric surveys of the regional Chociwel-Lębork profile.

1 — faults revealed by magnetotelluric and telluric surveys, 2 — discontinuity zones and faults revealed by seismic surveys, 3 — numbers of measurement points, 4 — zones without seismic record or zones of occurrence of weak discontinuous reflections, 5 — zone of emersion of Cenozoic substratum, 6 — boundaries of geological units.

c) wyniki pomiarów są wolne od wpływu takich lokalnych czynników, mogących zakłócać wartości temperatury, jak: rowy, kanały, ostre skarpy, sztuczne groble, drogi, itp. Uzyskano to poprzez wybór punktów pomiarowych w możliwie najodpowiedniejszych warunkach, co przy średnim kroku 400 m nie było trudne;

d) z danych stanowiących podstawę do wykreślenia zmian temperatury na poszczególnych profilach wyeliminowano wpływ różnego pokrycia powierzchni terenu (problem wpływu lasu). Użytkano to poprzez:

- prowadzenie pomiarów w korzystnym okresie, tj. zimą, gdy panowała stosunkowo niska i mało zmienna temperatura powietrza, czyli kiedy wpływ ten nie występował;
- wprowadzenie odpowiednich poprawek do wyników pomiarów wykonanych w okresie, kiedy ten wpływ już się zaznaczał;

e) wyniki pomiarów przeanalizowano wnikliwie również w aspekcie ewentualnych efektów związanych z różnym kształtowaniem się reżimu cieplnego, zależnie od zmiennej litologii utworów powierzchniowych.

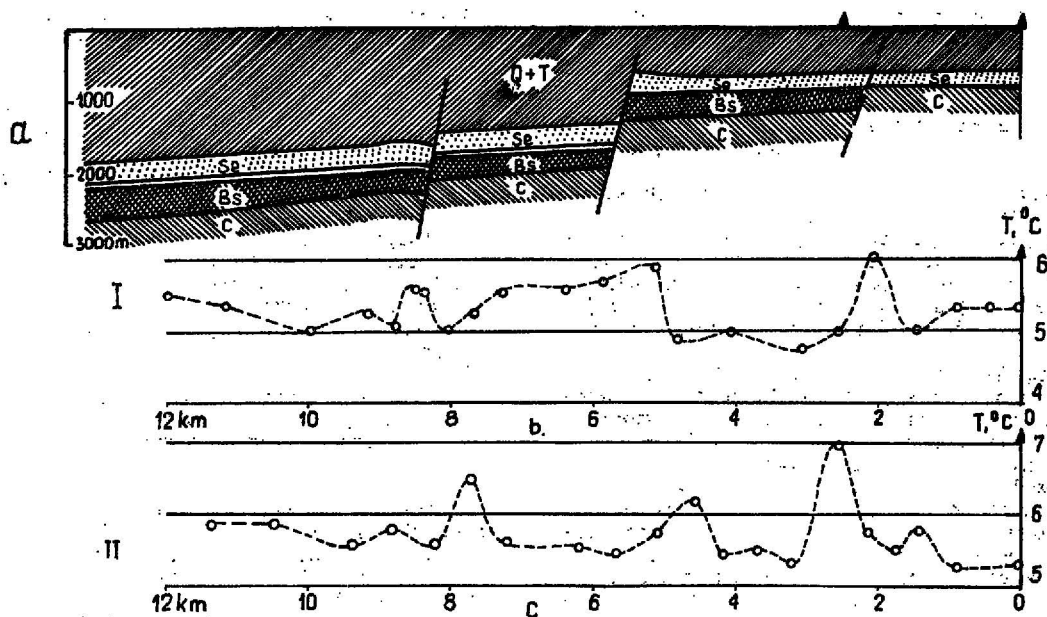
Sprawa wpływu litologii utworów powierzchniowych wymaga szerszego omówienia. Teoretyczne uję-

cie tego zagadnienia zawarte jest np. we wspomnianej już pracy Poley i Stevenincka. Szacuje się, że efekty te mogą wynosić kilka dziesiątych stopnia, ale znów w okresie zimy będą one najmniejsze, bądź w ogóle się nie zaznacza, gdyż ilość słonecznej energii cieplnej padającej na powierzchnię ziemi w tym okresie jest najmniejsza.

Próbie stwierdzenia ewentualnego istnienia tego efektu w naszych pracach podjęto stosując również inne podejście metodologiczne. Mianowicie, w przypadku istnienia tego efektu, statystycznie biorąc, zakres zmian a przede wszystkim średnie temperatury dla zasadniczo różnych litologicznie utworów powinny być różne. W tym celu nawiercane utwory podzielono na trzy główne rodzaje:

- glinę zwałową,
- piasek zawodniony,
- piasek suchy.

Z punktu widzenia własności cieplnych piasek suchy znacznie odbiega od dwóch pozostałych utworów. Analizę tę przeprowadzono dla odcinków profilów wykonanych w jednym bądź najwyżej w ciągu dwóch dni, a więc w okresie, kiedy na wyniki pomiarów nie wpłynął sezonowy dryft temperatury. Z analizy tej wynika, że zakresy zmian oraz średnie temperatury różnych utworów na poszczególnych



Ryc. 4. Płytkie anomalie termiczne obserwowane nad kilku uskokami w rejonie Peel (wg Poley i Van Stevenincka, 3).

Fig. 4. Shallow thermal anomalies recorded over a number of faults in the Peel area (after Poley and Van Steveninck, 3).

a — przekrój geologiczny, I i II — profile geotermiczne.

a — geological cross-section, I and II — geothermal profiles.

odcinkach są różne, ale relacje zmienne i to w okresie, kiedy sezonowy dryft temperatury praktycznie nie występował (okres szerokiego płaskiego minimum). Wpływ ten zaczął się zaznaczać pod koniec pomiarów, ale jego efekty były niewielkie. Mianowicie, z analizy odcinka obejmującego punkty 428—460, przebadanego w dniach 13—14 V 75 r. wynika, że średnia wartość temperatury gliny wynosiła 6,61 °C a piasku suchego 6,91 °C. Różnica temperatur wynosiła zatem 0,3 °C. Również z analizy temperatury na punktach granicznych wynika, że przy przechodzeniu z gliny do piasku suchego temperatura wzrastała średnio właśnie o 0,3 °C. Dla informacji należy dodać, że dla tego odcinka ilość oznaczeń dla glin wynosiła 22, dla piasku suchego 8.

Należy zatem stwierdzić, że rozważany efekt w naszych badaniach bądź w ogóle nie występuje, bądź też skutki są tak małe, że absolutnie nie decydują o charakterze uzyskanych anomalii.

f) nie stwierdza się w niniejszych badaniach zależności między wartościami temperatury a morfologią terenu;

g) analiza budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych czwartorzędu z jednej strony, z drugiej sam charakter wyników badań geotermicznych (szerokość i częstotliwość anomalii, ich położenie w stosunku do rodzaju stwierdzonych utworów, korelacja wyników profilu głównego z wynikami profili uzupełniających i charakter samych anomalii) wskazują, że główne anomalie nie są również wynikiem ruchów wód czwartorzędowych. W szczególności należy wykluczyć masowe pionowe ruchy wód czwartorzędowych z większych głębokości.

Pozostaje jeszcze problem efektu temperatury związanego z poziomym ruchem wód przypowierzchniowych, co można najczęściej zauważyć w pobliżu rzek. Najogólniej więc, obecność i ruch wody w okresie wiosna—lato powodować będzie obniżanie temperatury gruntu, natomiast w okresie jesień—zima — podwyższanie. Mając to na uwadze przeanalizowano uzyskane wyniki pod kątem związku pomiędzy anomaliami a rzekami. Otóż w wypadku niniejszych badań związek taki w ogóle należy wykluczyć, gdyż:

1) liczba anomalii jest znacznie większa niż liczba przekraczanych rzek;

2) znaczna część anomalii występuje w dużych odległościach od rzek, na obszarach o jednakowych warunkach powierzchniowych;

3) w wielu przypadkach dane pomiarowe bezpośrednio wskazują, że ten efekt nie deformuje wyników.

Przykłady:

— rzeka Kamienna przecina profil pomiędzy punktami 383—384; ani na tych, ani na sąsiednich punktach anomalie nie występują;

— rzeka Grabowa przecina profil między punktami 288—289. Punkty te występują na anomalii, ale jej przyczyną na pewno nie jest rzeka. Anomalia ta zaczyna się 1200 m na SW od tej rzeki i rozciąga się na wiele kilometrów od niej na NE;

— nad rzeką Słupią leżą punkty 392—394, w rejonie tym na dużym odcinku brak znaczącej anomalii;

— nad rzeką Skotawą leżą punkty 401—403, a nad rzeką Łupawą punkt 435; co prawda na odcinkach tych występują anomalie, ale są to anomalie dodatnie. Tymczasem w tych przypadkach należałoby oczekiwać anomalii ujemnych, gdyż pomiary wykonano między 5 i 15 V, a więc w okresie ocieplenia, którego efekty już wyraźnie zaznaczyły się w pomiarach na punktach standardowych, a szczególnie między punktem zlokalizowanym w terenie otwartym z dala od rzeki i punktem nad rzeką.

Na podstawie rozważań zawartych w punktach od a) do g) można więc dać odpowiedź na pytanie postawione w punkcie 1 i częściowo w punkcie 2, a mianowicie: stwierdzone anomalie pola cieplnego są wywołane źródłami głębokimi.

Przystępując do omówienia uzyskanych wyników (ryc. 3) należy wydzielić i rozróżnić dwa podstawowe ich rodzaje, to jest:

a) strefy anomalne,

b) poszczególne, odosobnione anomalie.

Jeżeli chodzi o strefy anomalne to biorąc pod uwagę pewne ich cechy szczególne, a przede wszystkim podwyższenie średniej temperatury w stosunku do tła, można ich wydzielić cztery. Idąc od SW ku NE strefy te znajdują się w przybliżeniu na wysokościach następujących punktów pomiarowych:

1. 20—55 (przedział zmian temp. od 3,3 do 4,8 °)
2. 160—210 (" " " " 3,7 do 5,4 °)
3. 285—325 (" " " " 4,0 do 5,2 °)
4. 430—480 (" " " " 4,4 do 6,8 °)

Natomiast ilość anomalii o amplitudzie co najmniej 0,6 °C, udokumentowanych, średnio biorąc, kilkoma punktami pomiarowymi każda, jest duża, bo wynosi około 30. Rozmieszczenie tych anomalii jest nieregularne; większość z nich grupuje się w pewne strefy. Analizując charakter stref anomalnych można zauważyć pewne, zachodzące między poszczególnymi strefami, podobieństwo. Podobieństwo występuje mianowicie między strefą 1 i 2 oraz 3 i 4. Główną cechą podobieństwa strefy 1 i 2 jest fakt ich wewnętrznego rozbicia na szereg, kolejno po sobie następujących, anomalii. Takiego wewnętrznego rozbicia nie obserwuje się w strefie 3 i 4.

Warto odnotować chyba nieprzypadkowy fakt, że strefy anomalne 1 i 2 leżą na dwóch granicach oddzielających trzy główne jednostki geologiczne, to jest: synklinorium szczecińskie — antyklorium pomorskie oraz antyklorium — synklinorium pomorskie. Strefa anomalna 1 leży centralnie nad granicą dwóch pierwszych jednostek natomiast druga anomalna strefa pola cieplnego nad granicą drugiej i trzeciej jednostki jest bardziej przesunięta ku synklinorium pomorskiemu (terminu „granice” z pewnością nie należy rozumieć jako płaszczyny, ale raczej jako pewne strefy przejściowe). Należy jeszcze podkreślić, że zespół anomalii strefy 1 i 2, zarejestrowanych na profilu głównym, został w swej istocie potwierdzony odcinkami profili równoległych.

Strefa 4, a właściwie i 3, leży już na platformie prekambryjskiej. To, czy strefa 3 przechodzi poza zachodnią granicę tej platformy ok. 3 km, jak wynikałoby to z zestawienia, jest sprawą otwartą; może wynika to z nazbyt dokładnego usytuowania tej granicy. W każdym razie charakter tych stref jest inny niż strefy 1 i 2.

Wracając do drugiej części pytania, postawionego w punkcie 2 na początku niniejszego rozdziału, najprawdopodobniejszymi przyczynami zarejestrowanych anomalii wydają się być głęboko leżące uskoki i pęknięcia w podkenozoicznych warstwach osadowych. Do takiej interpretacji prowadzi:

— wyniki teoretycznych rozważań dotyczących rozkładu pola cieplnego nad tymi formami,

— charakter zarejestrowanych anomalii,

— wnioski płynące z zestawienia profilu geotermicznego z uskokami i strefami nieciągłości zlokalizowanymi na podstawie badań sejsmicznych i magnetotellurycznych.

Z teoretycznych rozważań wynika (1), że głębokie uskoki tylko w wyniku przewodnictwa powodują zaburzenia w rozkładzie pola cieplnego i nad strefami uskoków występują anomalie tego pola. Charakter anomalii dla tych form jest różny, a zależy od takich czynników, jak: typ uskoku, geometria i własności cieplne utworów zdyslokowanych, szerokość strefy pęknięć, różnica przewodnictwa cieplnego utworów strefy pęknięć i skał otaczających.

Ważnym argumentem przemawiającym za taką interpretację źródeł zarejestrowanych anomalii jest również pełna korelacja anomalii pola cieplnego z uskokami i strefami nieciągłości, (ok. 20) zlokalizowanymi na podstawie badań sejsmicznych i magnetotellurycznych, co szerzej zostanie omówione w dalszej części artykułu.

Jeżeli więc, anomalie geotermiczne wywołane są uskokami i pęknięciami a wszystkie poczynione rozważania do tego wniosku prowadzą — to w oparciu o badania geotermiczne należy stwierdzić, że ilość nieciągłości na profilu jest większa niż to wynika z badań sejsmicznych i magnetotellurycznych, a tak-

że grawimetrycznych (odpowiednio ok. 30 i 20). W tym zakresie zdolność rozdzielcza metody geotermicznej byłaby więc największa.

Omawiając źródła anomalii należy jeszcze wspomnieć o prawdopodobnych przyczynach podwyższenia średniej temperatury 3 i 4 strefy anomalnej. W tym względzie można wysuwać jedynie prawdopodobne hipotezy. W każdym razie charakter źródeł jest tu zupełnie inny niż źródeł wywołujących poszczególne anomalie. Sądząc z szerokości strefy 3 i 4 należy wnosić, że ich źródła są obszarowo rozległe. Prawdopodobnymi źródłami tych stref anomalnych może być: większa koncentracja pierwiastków radioaktywnych, złoża wód termalnych lub inne przyczyny.

KORELACJA WYNIKÓW BADAŃ GEOTERMICZNYCH Z WYNIKAMI BADAŃ INNYMI METODAMI

Przystępując do omówienia wyników geotermicznych na tle wyników badań innymi metodami takimi jak: sejsmiczna, magnetotelluryczna czy grawimetryczna należy podkreślić, że każda z tych metod oparta jest na innym polu fizycznym, i że pod wieloma względami istotnie różnią się one między sobą. Pewne zjawiska geologiczne mogą się odpowiednio zaznaczać tylko w jednym polu fizycznym, natomiast inne w kilku różnych polach. Jednym ze zjawisk, które dość często zaznacza się w wielu polach jest uskoki, szczególnie gdy obejmuje on miąższe warstwy o różnych własnościach fizycznych. W każdym razie są to zależności bardzo złożone. Oczywiście, niezaznaczenie się danego zjawiska w badaniach wykonanych jedną metodą nie oznacza, że zjawisko to w danym miejscu nie występuje. Jeżeli natomiast zaznacza się ono w różnych polach to stopień prawdopodobieństwa jego wykrycia szybko wzrasta.

Obszar niecki szczecińskiej. Odcinek od 14 do 49 punktu pomiarowego znajduje się w strefie zaniku refleksów głębszych od jury. Występujące tu licznie fale zaburzone wskazują na istnienie naruszeń tektonicznych nie odwzorowanych w jurze, a które są przedłużeniem strefy dyslokacyjnej stwierdzonej badaniami sejsmicznymi na równoległych profilach wykonywanych przez PGGN. Na tym odcinku autorzy dokumentacji sejsmicznej (2) podają dwie dyslokacje (oznaczone literą S), a autorzy dokumentacji geoelektrycznej (5) — jedną, (oznaczoną literą T).

Na omawianym 14-kilometrowym odcinku profilu znajdują się cztery dodatnie anomalie geotermiczne, z tego jedna o dość znacznym rozprzestrzenieniu (ok. 5 km); maksimum jej pokrywa się z dyslokacją S. Druga dyslokacja S znajduje się na skłonie drugiej na tym odcinku anomalii termicznej.

Obszar antyklinalium pomorskiego. Odcinek od punktów 47 do 76 obejmuje strefę wynurzania się granic refleksyjnych (nieciągłych) od utworów permomezozoiku z przerwą dyslokacyjną S, na odcinku punktów 71—74, nad którą występuje również niewielka (ok. 0,6°C) anomalia termiczna. W obrazie geotermicznym, w interwale tym występuje kilka anomalii o szerokości ok. 1 km. Obraz ten powtarza się na dwóch równoległych profilach. Świadczy to o znacznej nieciągłości źródeł wywołujących te anomalie w kierunku NW-SE.

Następny odcinek od punktu 77 do 96 na przekroju sejsmicznym przedstawia dość spokojny przebieg horyzontów refleksyjnych, od triasu i cechsztynu. Odpowiada temu spokojny, beزانomalny przebieg pola geotermicznego. Natomiast autorzy dokumentacji badań geoelektrycznych na punktach 83 i 88 sugerują istnienie dwóch uskoków w cechsztynie.

Interwał między punktami 96—133 charakteryzuje się brakiem odbić od triasu i nieciągłymi refleksami od cechsztynu. Na przekroju głębokościowym zaznaczono strefę dyslokacyjną, której odpowiada znaczna anomalia termiczna na punktach 123—128. Na podstawie badań geoelektrycznych zlokalizowano tu 4 dyslokacje cechsztyńskie na punktach: 101, 107, 124 i 133. Nad każdą z nich występują zaburzenia pola cieplnego.

Na odcinku punktów 133—141, nieciągłe horyzonty od triasu i cechsztynu wyraźnie zanurzają się w kierunku NE. Dalej strefa punktów 141—147 jest zupełnie bezwynikowa, a na odcinku punktów 147—162 śledzą się nieciągłe horyzonty na całym prze-

kroju głębokościowym. Od punktów 162 następuje zdecydowane pogorszenie się wyników refleksyjnych, co stało się powodem przerwania prac i rozpoczęcia ich od północno-wschodniego końca profilu A, tj. mniej więcej na wysokości Polanowa.

Odcinek między punktami 133 do 160 w obrazie pola cieplnego jest, poza punktami 143—145, beزانomalny.

Obszar niecki pomorskiej. Między punktami 162—197 prac sejsmicznych nie wykonano. Odcinek ten od punktu 213 obejmuje strefę licznych, silnych anomalii termicznych. Na punkcie 164 zlokalizowano dyslokację w oparciu o badania geoelektryczne. Poczynając od końca przerwy (punkt 197) istnieje poprawa wyników sejsmicznych aż do punktu 230. Wyjątek stanowi niewielki odcinek na punktach 209 i 210, gdzie występuje zanik refleksów z prawdopodobną dyslokacją w cechsztynie, czemu odpowiada znaczna anomalia pola termicznego. Dalej na NE od tej anomalii cały odcinek jest względnie „spokojny” termicznie. Od punktu 231 aż po otwór Polanów 2, gdzie kończy się profil sejsmiczny, wyniki pomiarów sejsmicznych są słabe, tylko na niektórych odcinkach zaznaczają się krótkie ślady horyzontów Z_1 i T_1 (punkty 240—245, 250—255, 260—263). Zlokalizowane tu są dwie strefy nieciągłości i dwie dyslokacje. W interwale tym występuje szereg anomalii termicznych związanych z reguły z brakiem refleksów.

Platforma prekambryjska. Na obszarze tej jednostki geologicznej na omawianym profilu prac sejsmicznych nie prowadzono, pozostaje więc porównanie z wynikami głębokich badań geoelektrycznych. W tej części profilu geotermicznego występują dwie wspomniane wcześniej anomalne strefy pola cieplnego oraz kilka anomalii między innymi na punktach 354—359, między punktami 400—420 oraz na NE od otworu Leńbork. W końcowej części profilu, to jest na NE od punktu 370, na podstawie badań geoelektrycznych zlokalizowano pięć dyslokacji w utworach osadowych; wszystkie one znajdują się w strefach zaburzeń pola cieplnego.

Z powyższego porównania wynika, co następuje:

- strefy interesujących anomalii termicznych odpowiadają strefom zaniku refleksów lub zdecydowanemu pogorszeniu wyników;
- nad stwierdzonymi sejsmicznie dyslokacjami oraz strefami dyslokacji występują dodatnie anomalie termiczne; jedynie w dwóch wypadkach występują niewielkie wzajemne przesunięcia tych form;
- również z prawie wszystkimi dyslokacjami zlokalizowanymi na podstawie głębokich badań geoelektrycznych (z wyjątkiem dwu między punktami 80 i 90) wiążą się dodatnie anomalie termiczne bądź w ogóle zaburzenia tego pola;
- na wykonanym profilu regionalnym występuje więcej anomalii termicznych niż dyslokacji zlokalizowanych metodą sejsmiczną i głębokimi badaniami geoelektrycznymi.

WNIOSKI

1. Wysoki stopień korelacji anomalii termicznych z dyslokacjami stwierdzonymi innymi metodami oraz brak powiązań tych anomalii z czynnikami powierzchniowymi stanowią istotny dowód na to, że przyczyną tych anomalii mogą być strefy naruszeń w utworach podkenozoicznych; mogą to być zarówno typowe dyslokacje z przesunięciem utworów, jak i w ogóle miejsca intensywnych spekań z możliwością nawet słabej cyrkulacji wód głębszych.

2. Uzyskane wyniki uzasadniają celowość podjęcia dalszych tego rodzaju badań, jednakże z pewnymi modyfikacjami metodycznymi, jak np. wykonanie zdjęć powierzchniowego w obszarze intensywnych zmian pola cieplnego w celu przesiedlenia rozciągłości stref anomalnych. Badania te powinny bardziej jednoznacznie wyjaśnić pochodzenie anomalii i możliwość szerszego zastosowania metody geotermicznej w badaniu wstępnej budowy geologicznej.

3. Z punktu widzenia postawionego celu badania przeprowadzono w korzystnym okresie (zima—wiosna), to jest wtedy, gdy pewne niekorzystne wpływy czynników powierzchniowych nie występują lub są zminimalizowane.

LITERATURA

1. Geertsma J. — Finite-element analysis of shallow temperature anomalies. *Geophys. Prosp.*, 1971, nr 4.
2. Komorowska E., Krynicki T., Wajda-Karpoluk S. — Dokumentacja refleksyjnych badań sejsmicznych, temat: Profile regionalne. Profil A-III-74. *Arch. IG*, 1974.
3. Poley J. Ph., Van Steveninck J. — Geothermal prospecting. Delineation of shallow salt domes and surface faults by temperature measurements at a depth of approximately 2 meters. *Geophys. Prosp.*, 1970, vol. 18, suppl.
4. Stajniak J. — Metoda geotermiczna. *Biul. Inform. Geofizyka*, 1974, nr 4.
5. Świącicka-Pawliszyn J., Molek M. — Dokumentacja badań geoelektrycznych, temat: Profile regionalne. Profil A (Moryń—Łęborg). *Arch. IG*, 1975.

SUMMARY

The paper presents the results of the surface geothermal studies carried out along the Chociwel—Łęborg regional profile in north-western Poland. The studies were aimed at evaluating the applicability of the geothermal method in regional studies of geological structure. Changes in soil temperature at 2 m depth were analysed from the point of view of effects of subsurficial agents and subsequently compiled and compared with the results of seismic and telluric surveys. A connection between thermal anomalies and zones of disturbance of Cenozoic substratum is inferred. Further experimental works are necessary to make the interpretation of geothermal field unequivocal.

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты наземных геотермических измерений по региональному профилю Хоцивел — Лемборк в северо-западной части Польши. Задачей работ была оценка возможности применения геотермического метода в региональных исследованиях геологического строения. Ход температурных изменений грунта на глубине 2 м анализировался с учетом воздействия близповерхностных факторов. Данные сопоставлялись с результатами сейсмических и теллурических работ. Констатируется возможная связь термических аномалий с зонами нарушений в подкайнозойских породах. Необходимо вести дальнейшие экспериментальные работы для создания единых интерпретационных основ по геотермическому полю.