

WGŁĘBNA BUDOWA GEOLOGICZNA KARPAT W ŚWIEŁLE KOMPLEKSOWEJ ANALIZY TELEDETEKCYJNO-GEOFIZYCZNEJ

UKD 551.243:[550.814 + 550.83].053(1 - 924.51)

W 1985 r. w Państwowym Instytucie Geologicznym i Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych przystąpiono wspólnie do opracowania tematu pt. „Metoda automatycznej korelacji danych teledetekcyjnych i geofizycznych”. Wykonanie tej pracy zleciło Ministerstwo Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych. Zapoczątkowane wówczas badania miały jeden wyraźny cel — optymalizację wykorzystania metod teledetekcyjnych w geologii poprzez kompleksową analizę różnych danych. Zadanie to rozwiązano przez sporządzanie map korelacyjnych przy wykorzystaniu metod cyfrowych. Wspomniane prace, stanowiące odbicie obecnych tendencji światowych, mają w naszym kraju zdecydowanie nowatorski charakter.

Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że podstawową korzyścią stosowania materiałów teledetekcyjnych w geologii jest możliwość uzyskania informacji o charakterze tektonicznym. Poważne trudności wyłaniają się jednak przy próbach klasyfikacji elementów interpretowanych na zdjęciach satelitarnych i lotniczych, nazywanych najczęściej fotolineamentami. Fotolineamenty — elementy liniowe o charakterze poligenetycznym — odzwierciedlają różne zjawiska geologiczne. Autorzy opracowania doszli do przekonania, że identyfikacji i klasyfikacji fotolineamentów można dokonać przez sporządzenie map korelacyjnych, z uwzględnieniem możliwie zróżnicowanych informacji teledetekcyjnych i geofizycznych. Zestawione w ten sposób mapy stanowią zbiór różnych elementów liniowych, których wzajemna korelacja może doprowadzić do ujawnienia, wzmocnienia i wstępnego sklasyfikowania istotnych elementów tektonicznych. Takie mapy mają również duże znaczenie praktyczne, ponieważ mogą służyć zarówno do bezpośredniego wykorzystania w geologicznych opracowaniach regionalnych, jak i w prospekcji złożowej.

W pierwszym etapie opracowano fragment Karpat, obejmujący arkusz mapy w skali 1:200 000 Nowy Sącz. Dla tego obszaru dysponowano danymi geofizycznymi (grawimetria i magnetyka), zgromadzonymi w kompleksowym banku danych oraz teledetekcyjnymi. Następ-

nie — na podstawie metody komputerowej analizy korelacyjnej — jednolicie opracowano kolejne arkusze karpacie — Cieszyń, Bielsko Biala, Jasło, Przemyśl i Łupków. W trakcie opracowywania poszczególnych arkuszy zwrócono uwagę na ogromne zalety cyfrowej analizy kompleksowej, pozwalające na uzyskanie nowych informacji na temat struktur głębokich w Karpatach. Informacje te, uzyskane dzięki korelacji różnych danych (teledetekcja, grawimetria, magnetyka, magnetotelluryka), podwyższają wiarygodność identyfikowanych struktur, co dla Karpat ma ogromne znaczenie, ze względu na rozbieżne poglądy na temat ich tektonicznego modelu. W etapie końcowym całość wyników zestawiono na mapach w skali 1:500 000. Poszczególne etapy pracy zostały spisane w kolejnych rozdziałach:

- badania teledetekcyjne i dygitalizacja fotolineamentów,
- badania i analiza zdjęć grawimetrycznych i magnetycznych,
- analiza danych magnetotellurycznych,
- mapy korelacyjne,
- wstępna ocena geologiczna map korelacyjnych teledetekcyjno-geofizycznych.

BADANIA TELEDETEKCYJNE I DYGITALIZACJA FOTOLINEAMENTÓW

Interpretację zdjęć satelitarnych Karpat zapoczątkowano w drugiej połowie lat siedemdziesiątych. Pierwsze opracowania miały na ogół małą skalę, przeważnie 1:500 000. Do interpretacji wykorzystano wówczas wszystkie dostępne zdjęcia satelitarne z obszaru Karpat, czyli 25 obrazów wykonanych między 1974 i 1980 r. z trzech kolejnych satelitów. Wyniki interpretacji opublikowano w 1983 r. (2, 3).

Podczas opracowywania metodyki komputerowych map korelacyjnych ponownie zrealizowano na terenie Karpat szeroki program prac fotointerpretacyjnych. Analiza fotogeologiczna objęła wszelkie dostępne zdjęcia wykonane przez satelity Landsat i Kosmos z terenu

Karpat. Uwzględniono również regionalne elementy zinterpretowane na zdjęciach radarowych. Wyniki interpretacji zestawiono na mapach w skali 1:200 000 na arkuszach: Cieszyn, Bielsko Biała, Nowy Sącz, Jasło, Przemyśl i Łupków.

Mapy fotolineamentów zamieniono na zapis cyfrowy, a poszczególne fotolineamenty sprowadzono do postaci znormalizowanych odcinków zorientowanych (4). Umożliwiło to zakodowanie na taśmie magnetycznej wszystkich fotolineamentów przedstawionych na mapach i powtórne wykreślenie mapy na komputerze. Utworzony w ten sposób zbiór danych teledetekcyjnych został wprowadzony do banku informacji geofizycznych.

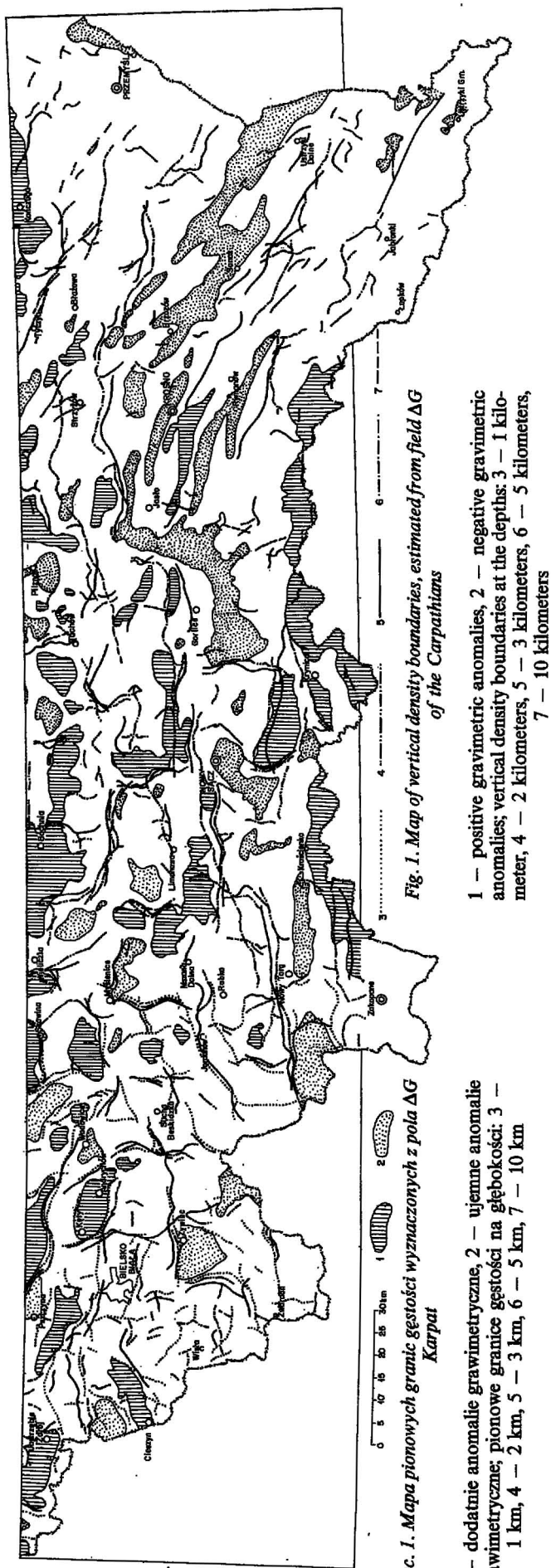
BADANIA I ANALIZA ZDJĘĆ GRAWIMETRYCZNO-MAGNETYCZNYCH

Analizę materiałów grawimetrycznych i magnetycznych z Karpat — w aspekcie określenia tektoniki podłoża podfliszowego — przeprowadzono na podstawie wyników, wykonanych przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w latach 1972–1981, półszeregów pomiarów grawimetrycznych oraz pomiarów aeromagnetycznych całkowitego natężenia pola magnetycznego ΔT .

Wyniki tych badań przedstawiono na mapach grawimetrycznych anomalii Bouguera, opracowanych dla standardowej gęstości $\delta = 2,60 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$ oraz mapach aeromagnetycznych anomalii ΔT . Wszystkie pomiary zakodowano na taśmach magnetycznych i wprowadzono do istniejącego banku danych grawimetrycznych oraz banku danych aeromagnetycznych z Karpat. Umożliwiło to wykorzystanie w szerokim zakresie elektronicznej techniki obliczeniowej przy wykorzystaniu wszelkich obliczeń oraz transformacji i kreślenia map. W celu wyeksponowania granic głównych struktur geologicznych oraz stref tektonicznych w podłożu podfliszowym, zaznaczających się w postaci stref podwyższonego gradientu, wykonano wiele transformacji map anomalii Bouguera oraz map aeromagnetycznych anomalii ΔT przy zastosowaniu operatorów macierzowych.

W obrazie pola siły ciężkości Karpat elementem dominującym jest ciągnące się wzdłuż całego łuku Karpat polskich minimum grawimetryczne (szerokości 10–30 km), zaznaczające się w postaci ciągu ujemnych anomalii ΔG , poprzysuwanych przez liczne dyslokacje poprzeczne. Największa z nich, przebiegająca wzdłuż linii Muszyna–Jasło (ryc. 4, linia 5), powoduje przesunięcie osi minimum grawimetrycznego o ok. 20 km na S. Nieco mniejsza, lecz tej samej rangi strefa dyslokacyjna, przebiegająca ok. 50 km na E od poprzecznej, wzdłuż linii Lipowiec–Radymno (ryc. 4, linia 6), przesuwa oś minimum o ok. 10 km na S. Podobnej wielkości przemieszczenia osi minimum grawimetrycznego — ok. 5–10 km — obserwuje się w rejonie Nowego Sącza. Interesujący jest fakt, że nie zaznaczyło się takie przesunięcie w obrębie strefy dyslokacyjnej Łysa Polana–Nowy Targ–Brzeźnica (ryc. 4, linia 1).

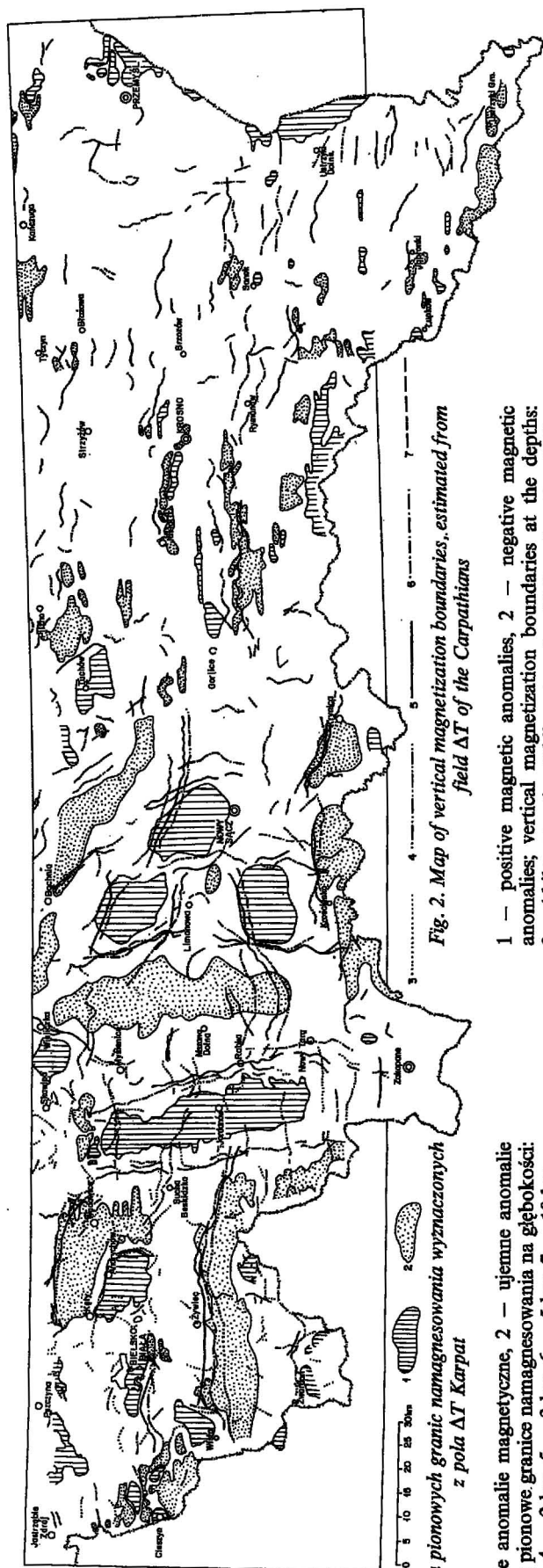
Geneza karpackiego minimum grawimetrycznego do dziś nie jest przekonująco wyjaśniona. Przeważa pogląd, że strefa ta jest związana z występowaniem grubego kompleksu sfałdowanych molas dolnomioceńskich (7). Zdaniem G. Bojdyśa i B. Lembergera (1) minimum grawimetryczne jest związane z obniżeniem w obrębie górnego płaszcza. Poza minimum grawimetrycznym na obszarze Karpat zarejestrowano liczne dodatnie i ujemne anomalie grawimetryczne (ryc. 1), które sygnalizują obec-



Ryc. 1. Mapa pionowych granic gęstości wyznaczonych z pola ΔG Karpat

1 — dodatnie anomalie grawimetryczne, 2 — ujemne anomalie grawimetryczne; pionowe granice gęstości na głębokości: 3 — 1 km, 4 — 2 km, 5 — 3 km, 6 — 5 km, 7 — 10 km

1 — positive gravimetric anomalies, 2 — negative gravimetric anomalies; vertical density boundaries at the depths: 3 — 1 kilometer, 4 — 2 kilometers, 5 — 3 kilometers, 6 — 5 kilometers, 7 — 10 kilometers



Ryc. 2. Mapa pionowych granic namagnesowania wyznaczonych z pola ΔT Karpat

1 — dodatnie anomalie magnetyczne, 2 — ujemne anomalie magnetyczne; pionowe granice namagnesowania na głębokości:
3 — 1 km, 4 — 2 km, 5 — 3 km, 6 — 5 km, 7 — 10 km

Fig. 2. Map of vertical magnetization boundaries, estimated from field ΔT of the Carpathians

1 — positive magnetic anomalies, 2 — negative magnetic anomalies; vertical magnetization boundaries at the depths:
3 — 1 kilometer, 4 — 2 kilometers, 5 — 3 kilometers, 6 — 5 kilometers, 7 — 10 kilometers

ność różnej wielkości struktur geologicznych w podłożu podfliszowym Karpat, zbudowanych ze skał o różnej gęstości. Ogólnie można przyjąć, że anomalie regionalne ΔG są związane z morfologią stropu głębokiego podłoża podfliszowego, natomiast anomalie lokalne — ze zmianami gęstości w obrębie fliszu.

Z analizy gęstości poszczególnych kompleksów litologicznych wynika, że anomalie mogą być wywołane przez miększe kompleksy utworów miocenu ($\delta = 2,20 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$), w mniejszym stopniu przez warstwy istebniańskie, pstre łupki i warstwy menilitowe ($\delta = 2,50 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$) oraz warstwy czarnomeckie i piaskowce ciężkowickie ($\delta = 2,45 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$). Natomiast dodatnie anomalie ΔG mogą być związane z obecnością utworów dewonu (ok. $2,70 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$), dolnej kredy (ok. $2,60 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$) oraz warstw krośnieńskich (ok. $2,60 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$).

J. Turska-Pawica (8) uważa, że średnie gęstości fliszu oraz osadów kredowych, jurajskich, triasowych, perm-skich i karbońskich mieszczą się w granicach $2,60 - 2,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^{-3}$ i nie należy oczekiwać, aby tak niewielkie zróżnicowanie mogło mieć odbicie w obrazie grawimetrycznym. Anomalie grawimetryczne są — jej zdaniem — wynikiem superpozycji efektów grawitacyjnych, związanych z granicami gęstościowymi między poszczególnymi kompleksami litologicznymi, a także efektu ogólnego zapadania powierzchni podłoża Karpat i głębszych granic gęstościowych w kierunku depresji podkarpaciej. Z tego co stwierdzono wyżej, wynika że nie jest wykluczone, iż część przedstawionych na załączonym rysunku anomalii grawimetrycznych (zwłaszcza we wschodniej części Karpat, gdzie miąższość fliszu jest bardzo znaczna) odzwierciedla struktury w samym fliszu.

Analizując wyniki badań grawimetrycznych wzdłuż profilów sejsmicznych J. Pawica (8) zauważyła, że lokalne anomalie ujemne odpowiadają na ogół fałdom, w jądram, których zalegają lekkie utwory kredowe, natomiast anomalie dodatnie są na ogół wywołane przez kompleksy ciężkich warstw krośnieńskich. W zachodniej części Karpat, gdzie podłoże podfliszowe występuje stosunkowo płytko (2–3 km), zdecydowana większość anomalii grawimetrycznych przedstawionych na ryc. 1 odzwierciedla struktury podłoża, co potwierdzają wykonane w tym rejonie wiercenia. Przyporządkowanie litostratigraficzne tych anomalii omawiają szczegółowo J. Turska-Pawica i in. (8). Przebieg pionowych granic gęstości (ryc. 1) (utożsamionych głównie z liniami dyslokacyjnymi) obrazuje tektonikę w podłożu podfliszowym, a w pewnych przypadkach również i w obrębie fliszu. Ogólnie można przyjąć, że wyznaczone granice gęstości na głębokości pozornej $H = 3 - 10 \text{ km}$ będą na ogół związane z podłożem podfliszowym, natomiast granice wyznaczone na płytszych głębokościach $H = 1 - 3 \text{ km}$ mogą występować częściowo we fliszu. Należy podkreślić, że większość z głównych stref tektonicznych zaznaczonych na mapie elementów tektonicznych Karpat (ryc. 4) ma swoje odzwierciedlenie na mapie pionowych granic gęstości (ryc. 1).

W obrazie rozkładu pola magnetycznego ΔT dominują elementy regionalne i taki też charakter ma większość zaznaczonych na mapie pionowych granic namagnesowania (ryc. 2) dodatnich i ujemnych anomalii magnetycznych. Ponieważ zarówno utwory fliszu, jak i kompleks osadowy podfliszowego podłoża odznaczają się bardzo niską podatnością magnetyczną, nie mogą one tworzyć anomalii magnetycznych. Dlatego też można przyjąć, że wspomniane dodatnie anomalie magnetyczne ΔT są

związane z głębłą budową podłoża Karpat i — zdaniem J. Wasiaka (10) — odzwierciedlają wpływ utworów magnetycznie czynnych, przede wszystkim zmetamorfizowanych skał prekambryjskich, utworów zasadowych typu głębinowego oraz intruzji skał wulkanicznych. Natomiast nie jest wyjaśnione, z czym można wiązać występowanie ujemnych anomalii magnetycznych ΔT .

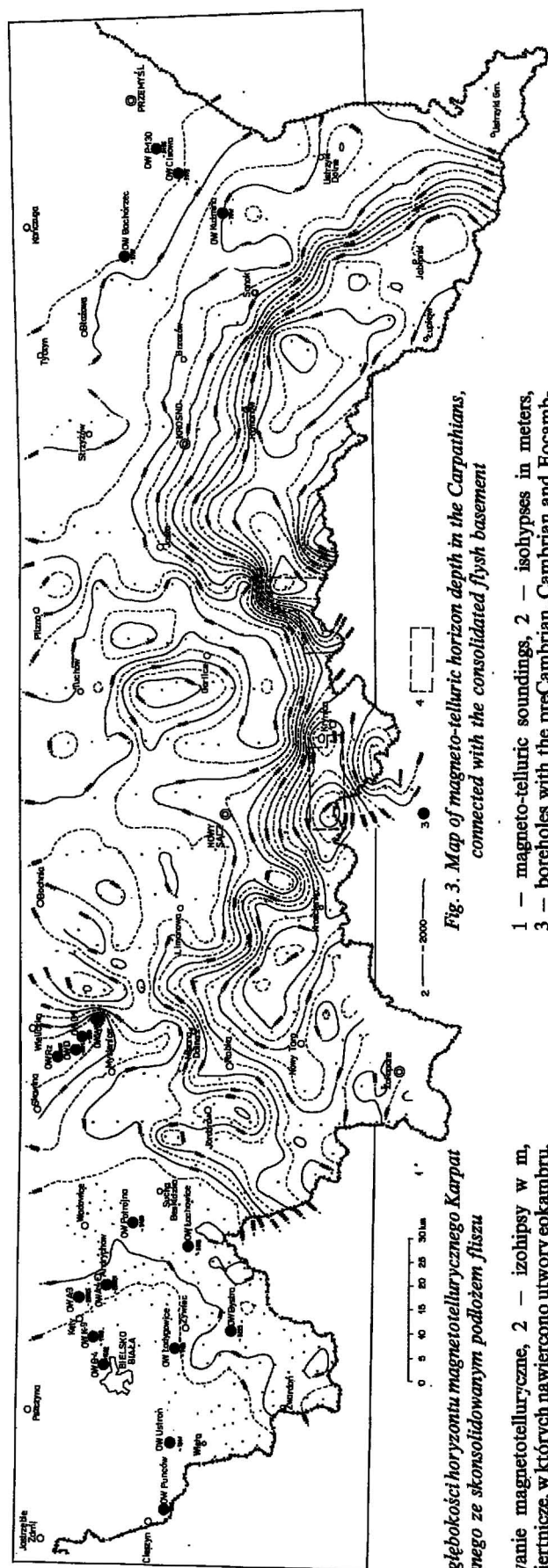
Głównymi elementami obrazu pola magnetycznego Karpat są 2 potężne, dodatnie anomalie magnetyczne ΔT , zarejestrowane w rejonie na południe od linii Wadowice — Bochnia. Są to anomalie Jordanowa (amplituda ok. 220 nt) oraz występująca ok. 50 km na wschód od niej, złożona trójczołowa anomalia Nowego Sącza. Poszczególne człony tej anomalii mają swoje centra w rejonie Żegociny, Tęgoborza i Łącka. J. Wasiak (11) wykonał interpretację ilościową tych anomalii, określając głębokość występowania ciał, które je wywołują. I tak: dla anomalii Żegociny — ok. 6800 m, Tęgoborza ok. 7500 m i Łącka ok. 7600 m. Poza wymienionymi, zarejestrowano jeszcze kilka mniejszych anomalii ΔT , których pochodzenie (poza anomaliami w rejonie Bielska i Wadowic — związanymi z występowaniem cieszynitów) nie jest znane. Pionowe granice namagnesowania, podobnie jak i granice gęstości wyznaczają przebieg głównych linii tektonicznych w podłożu Karpat, z tym że są to informacje dotyczące na ogół znacznie większych głębokości niż te, na których występują granice gęstości.

ANALIZA DANYCH MAGNETOTELLURYCZNYCH

Najważniejszym celem badań magnetotellurycznych było uzyskanie informacji o głębokości i charakterze zalegania wysokooporowego podłoża, którego mapę przedstawiono na ryc. 3. Jest ona pochodną mapy przewodnictwa S_{xy} , z uwzględnieniem zmian oporności kompleksu leżącego na podłożu wysokooporowym.

Obraz wysokooporowego podłoża Karpat fliszowych, przedstawiony na ryc. 3, potwierdza niektóre znane już elementy jego budowy, przynosząc jednocześnie wiele nowych informacji. Na mapie wysokooporowego podłoża są widoczne trzy wyróżniające się obszary (zachodni, środkowy i wschodni), rozdzielone nieciągłościami o kierunku SW — NE. Pierwszy to Karpaty Zachodnie o stosunkowo płytkim zaleganiu podłoża na głębokości 1500 — 4000 m. W obszarach środkowym i wschodnim występują wyraźne strefy nieciągłości o kierunku w przybliżeniu SE — NW, oddzielające rejon podniesionego podłoża (3000 — 7000 m) od wyraźnej depresji, w której głębokości dochodzą do ok. 20 km. Oś depresji jest rozerwana i przesunięta wzdłuż linii przebiegającej w przybliżeniu przez Muszynę i Jasło. Spływanie depresji od południa ma ogólnie łagodniejszy charakter.

Występujące w rejonie Ustrzyk Dolnych znaczne podniesienie podłoża nie oznacza zakończenia depresji w tym miejscu. Może ona być po prostu przesunięta na południe, analogicznie jak w obszarze środkowym. W okolicy Nowego Targu następuje wypływanie depresji do głębokości ok. 11 km. Nie jest wykluczone, że jej oś ulega tu również przesunięciu, jak na granicy obszaru środkowego i wschodniego. Na mapie wysokooporowego podłoża zaznaczono w rejonie Krynicy dwa niewielkie obszary, gdzie otrzymane krzywe oporności mają zaburzone kształty, wskazujące na wyjątkowy stopień komplikowania się budowy geologicznej. Interpretację głębokościową w tych rejonach oparto na wynikach modelowania dwuwymiarowego, które może być niewystarczające dla rozstrzygnięcia tego zagadnienia.

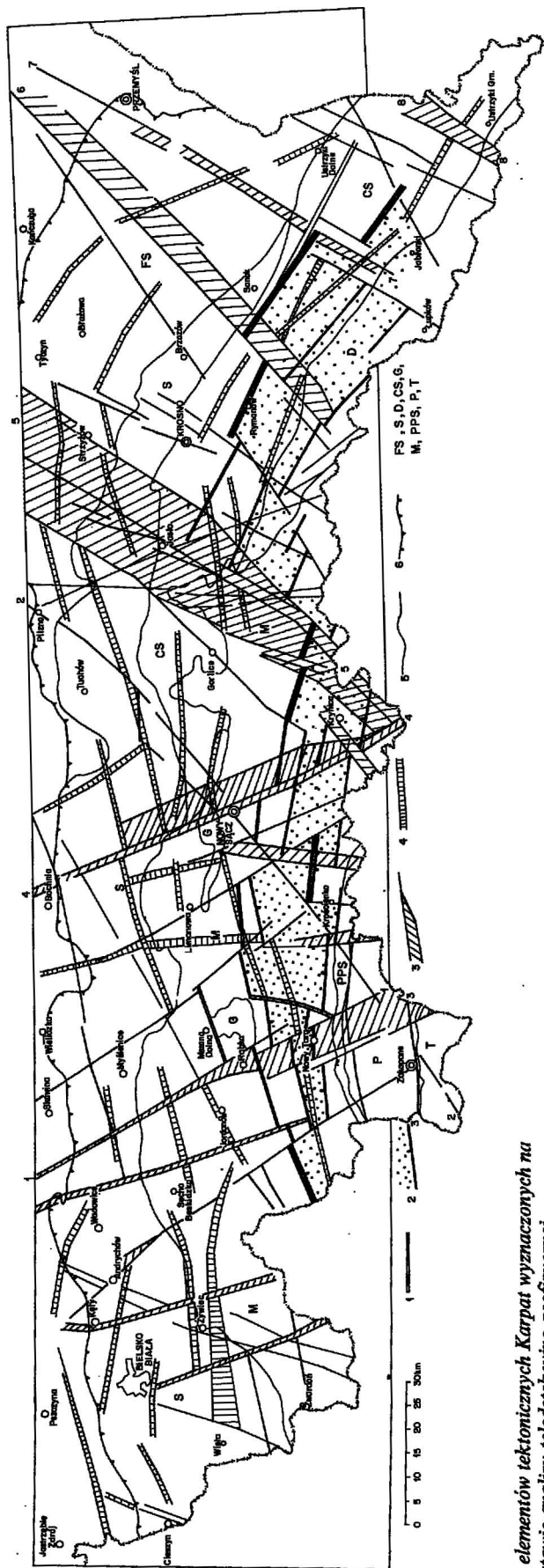


Ryc. 3. Mapa głębokości horyzontu magnetotellurycznego Karpat wiążanego ze skonsolidowanym podłożem fliszu

Fig. 3. Map of magneto-telluric horizon depth in the Carpathians, connected with the consolidated flysch basement

1 — magneto-telluric soundings, 2 — isohypses in meters, 3 — boreholes with the pre-Cambrian, Cambrian and Eocambrian deposits, 4 — areas with strongly distributed SMT curves

1 — sondowanie magnetotelluryczne, 2 — izohipsy w m, 3 — otwory wiertnicze, w których nawiercono utwory eokambriu, kambriu i prekambriu, 4 — obszar, w którym krzywe SMT są silnie zaburzone



Ryc. 4. Mapa elementów tektonicznych Karpat wyznaczonych na podstawie analizy teledetekcyjno-geofizycznej

1 – maksymalne gradienty zmian głębokości podłoża podłoża w strefie perykarpaciej, 2 – rozłamy w podłożu podłożowym wyznaczające granice depresji (zaznaczono kierunek nachylenia płaszczyzn nieciągłości), 3 – nieciągłości odnoszące się prawdopodobnie do podłoża podłożowego (oznaczone numerami opisanymi w tekście), 4 – inne nieciągłości, 5 – granice jednostek tektonicznych, 6 – granice Karpat, FS – brzożne fałdy składowe, S – płaszczowina słaska, D – fałdy dukieliskie, CS – centralne synklinorium karpaciej, G – jednostka grybowąska, M – płaszczowina magurska, PPS – pieniński pas skałkowy, P – paleogen, T – Tatry

Fig. 4. Map of the Carpathian tectonic elements, marked with teledetection-geophysical analysis

1 – maximum gradients of dept changes of flysh basement in the Fore-Carpathian zone, 2 – wrench faults in subflysh basement, delimiting depression boundaries (direction of plane inclination was marked), 3 – discontinuities related probably to subflysh basement (with numbers – described in text), 4 – other discontinuities, 5 – boundaries of tectonic units, 6 – the Carpathian boundary, FS – border imbricated folds, S – Silurian nappes, D – Dukla folds, CS – central Carpathian synclinorium, G – Grybów unit, M – Magure nappe, PPS – Pieniny Klippen Belt, P – Paleogene, T – Tatra Mountains

Wyniki wykonanych na obszarze Karpat badań refrakcyjnych są ogólnie zgodne z mapą wysokooporowego podłoża tylko w rejonie położonym na północ od dyslokacji ograniczających rozpoznaną badaniami magnetotellurycznymi depresję. W strefie depresji brak wyników refrakcyjnych. Punktowym sprawdzianem przeprowadzonej interpretacji głębokościowej jest otwór Kuźmina, odwiercony po wykonaniu sondowań magnetotellurycznych.

Bardzo interesująco przedstawia się porównanie używanej mapy wysokooporowego podłoża z mapą ukazującą główne elementy budowy skorupy w rejonie Karpat, sporządzoną przez G. Bojdyśa i B. Lembergera (1), opracowaną na podstawie interpretacji zdjęcia grawimetrycznego. Wyznaczona przez nich północna granica zachowanego fragmentu płyty oceanicznej, uważana przez autorów za jeden z najważniejszych elementów tektonicznych podłoża Karpat, pokrywa się na odcinku Piwnicznej do regionalnego profilu F z dyslokacyjną północną granicą depresji wysokooporowego podłoża, a także z granicą występowania warstwy niskooporowej o oporach od 0,5 do kilku omm. Na zachód od Piwnicznej, gdzie autorzy sugerują pełne wchłonięcie płyty oceanicznej, warstwa ta ma oporność dziesięciokrotnie wyższą.

Jedynym ważnym elementem tektonicznym nie znajdującym odzwierciedlenia na ryc. 3 jest pieniński pas skałkowy. Obraz wysokooporowego podłoża w tym rejonie jest znacznie bardziej zróżnicowany, niż wynikałoby to z prawie równoleżnikowego przebiegu na tym odcinku strefy pienińskiej, określonej na podstawie kartowania powierzchniowego. Opracowana na podstawie zdjęcia magnetotellurycznego mapa wysokooporowego podłoża jest pierwszą mapą dającą informacje z całego obszaru polskich Karpat.

MAPY KORELACYJNE

Całkowicie nową propozycją zestawienia i analizy elementów liniowych, wyznaczonych na podstawie metod geofizycznych i teledetekcyjnych są mapy korelacyjne. Na mapach tych przedstawiono w postaci izolinii gęstości elementarnych odcinków zorientowanych, wyznaczonych z map fotolineamentów oraz map pionowych granic gęstości i namagnesowania.

Nawiązują one do spotykanych w literaturze geologicznej opracowań, obejmujących statystyczne wygładzanie danych i zestawienie map gęstości. Na ogół uważa się, że strefy podwyższonego zagęszczenia fotolineamentów lub spękań odpowiadają głównym liniom tektonicznym, często o głębokich założeniach. Autorzy artykułu — uznając ten pogląd — wyszli z założenia, że tam gdzie występują zbieżne elementy liniowe teledetekcyjne i geofizyczne prawdopodobieństwo występowania strefy uskokuwowej znacznie wzrasta. Omawiane mapy (4) okazały się bardzo pomocne przy konstruowaniu finalnej mapy elementów tektonicznych Karpat.

WSTĘPNA OCENA GEOLOGICZNA MAP KORELACYJNYCH TELEDETEKCYJNO-GEOFIZYCZNYCH

Jakkolwiek równolegle z niniejszym opracowaniem Oddział Karpacki PIG wykonuje komentarz geologiczny do map korelacyjnych, autorzy uznali za celowe sformułowanie kilku wstępnych wniosków geologicznych, wynikających z analizy załączonych map oraz nowo sporządzonej mapy elementów tektonicznych podłoża Karpat, wyznaczonych na podstawie analizy teledetekcyjno-geofizycznej (ryc. 4). Można je ująć w następujących punktach:

1. Główne strefy nieciągłości charakteryzują się wachlarzowatym rozkładem kierunków NW—SE na zachodzie do NE—SW na wschodzie. Na taki rozkład zwrócono uwagę w trakcie pierwszych interpretacji fotolineamentów na zdjęciach satelitarnych Karpat (3). Nawiązuje on do modelu tektonicznego Karpat, postulowanego przez R. Unruga (9). Autor ten zaproponował wyjaśnienie obecności uskokuw przesuwczych w Karpatach fliszowych, rotacją wachlarzowato rozłożonych bloków tektonicznych. Rozkład stref tektonicznych, zidentyfikowanych w trakcie niniejszego opracowania, odpowiada w ogólnych zarysach temu modelowi. W związku z powyższym należy uznać, że strefy ograniczające środkowy blok karpacki przebiegają wzdłuż linii Łysa Polana—Nowy Targ—Brzeźnica (ryc. 4, linia 1) oraz Muszyna—Jasło (ryc. 4, linia 5).

2. W trakcie analizy wyznaczono przebieg stref maksymalnych zmian głębokości podłoża podfliszowego (głównie na podstawie danych magnetotellurycznych). Bardzo interesująco przedstawia się stosunek przebiegu tej strefy do przebiegu osi minimum grawimetrycznego. Obie strefy przebiegają mniej więcej równolegle do siebie, z tym że oś minimum grawimetrycznego jest przesunięta w kierunku północnym. Ponadto przebieg obu stref jest zaburzony, a miejscami nawet porozrywany poprzecznymi rozłamami, takimi jak: Lipowiec—Radymno (ryc. 4, linia 6), Muszyna—Jasło (linia 5), Bukowina—Nowy Sącz—Dębica (linia 2) oraz Łysa Polana—Nowy Targ—Brzeźnica (linia 1). Biorąc powyższe pod uwagę, można przyjąć że lineament perykarpacki, który w ujęciu W. Sikory (6) jest związany z bardziej stromym, północnym sektorem anomalii grawimetrycznej, nie ma tak ciągłego i regularnego przebiegu, jak dotychczas uważano.

3. Na południe od strefy maksymalnych zmian głębokości podłoża podfliszowego, równolegle do niej przebiega depresja skonsolidowanego podłoża (wyznaczona na podstawie analizy danych magnetotellurycznych), którą można interpretować jako miejsce kontaktu platformy przedgórskiej z masywem Karpat wewnętrznych.

4. Wiele nieciągłości niższego rzędu, wydzielonych na podstawie analizy korelacyjnej, charakteryzujących się

kierunkiem ENE—WSW w środkowej i zachodniej części Karpat oraz NW—SE w części wschodniej, może odpowiadać stopniom w podłożu fliszu, tym bardziej, że w niektórych przypadkach pokrywają się one fragmentarycznie z głębokimi dyslokacjami.

5. W trakcie analizy nasunęła się możliwość przedłużenia dwóch regionalnych dyslokacji, wyznaczonych w Słowacji, na teren Polski. Są to:

— dyslokacja Myjawy, w Polsce strefa: Bukowina—Nowy Sącz—Dębica (ryc. 4, linia 2),

— dyslokacja Murania, w Polsce strefa Muszyna—Jasło (linia 5),

6. Innymi ważnymi nieciągłościami wyznaczonymi lub potwierdzonymi w trakcie niniejszego opracowania są:

— lineament północno-tatrzański (linia 3),

— strefa Muszyna—Nowy Sącz—Bochnia (linia 4),

— strefa Lipowiec—Radymno (linia 6) — znana również w literaturze jako „lineament przemyski”,

— strefa Łupków—Lesko—Radymno (linia 7),

— strefa Ustrzyk Górnych (linia 8).

Pośrednim dowodem na istnienie głębokich stref tektonicznych, wyznaczonych metodą korelacji danych teledetekcyjno-geofizycznych, są wyniki badań neotektonicznych, przeprowadzonych na obszarze Karpat fliszowych. Wskazują one na to, że współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej na obszarze Karpat Zachodnich są niewątpliwie związane z budową tektoniczną zarówno głębokiego podłoża, jak i samych mas fliszowych. Dlatego można przyjąć, że plan budowy blokowej podłoża powinien odzwierciedlać się w rozkładzie i kształcie jednostek morfologicznych oraz obrazie dynamiki rozwoju morfologii badanego obszaru.

Założenie to potwierdzają mapy izobaz polskich Karpat fliszowych (5). Mapy izobaz ogólnie odzwierciedlają rozmiar erozji analizowanego obszaru, a więc również wielkość jego wydzwignięcia. Autorzy cytowanego opracowania interpretują ogólnie mapy izobaz w następujący sposób: duże zagęszczenie izobaz świadczy o rosnących gradientach spadku podstaw erozyjnych rzek, a co za tym idzie — intensywniejszych ruchach podnoszących; małe zagęszczenie izobaz, występujące na dużych powierzchniach, świadczy o stosunkowo niewielkich i mało zróżnicowanych ruchach obejmujących te obszary.

Przeprowadzone porównanie wglębnych elementów tektonicznych Karpat polskich z opisaną mapą izobaz IV rzędu, nie uwzględniającą drobnych zróżnicowań lokalnych oraz wpływu litologii, prowadzi do następujących spostrzeżeń:

1. Przebieg oraz rozkład izobaz wyraźnie nawiązuje do głównych stref tektonicznych, wyznaczonych w wyniku analizy korelacyjnej (ryc. 5). W świetle proponowanego modelu granicy między Karpatami Zachodnimi i Wschodnimi, przebiegałaby ona wzdłuż strefy Muszyna—Nowy Sącz—Bochnia (ryc. 4, linia 4). Na zachód od tej strefy można zaobserwować wyraźne dopasowywanie się przebiegu izobaz do „ram” utworzonych przez dwa systemy: pierwszy o kierunku NNW—SSE oraz drugi podrzędniejszy o kierunku ENE—WSW. Na wschód od tej strefy przebieg izobaz układa się natomiast według systemów o kierunkach NE—SW oraz ESE—WNW.

2. Podrzędne zmiany przebiegu izobaz są również podporządkowane występującym tam strefom tektonicznym niższego rzędu lub fotolineamentom.

3. Dokładność, z jaką przebieg izobaz odpowiada wyznaczonym „ramom” tektoniki podłoża, jest zdecydo-

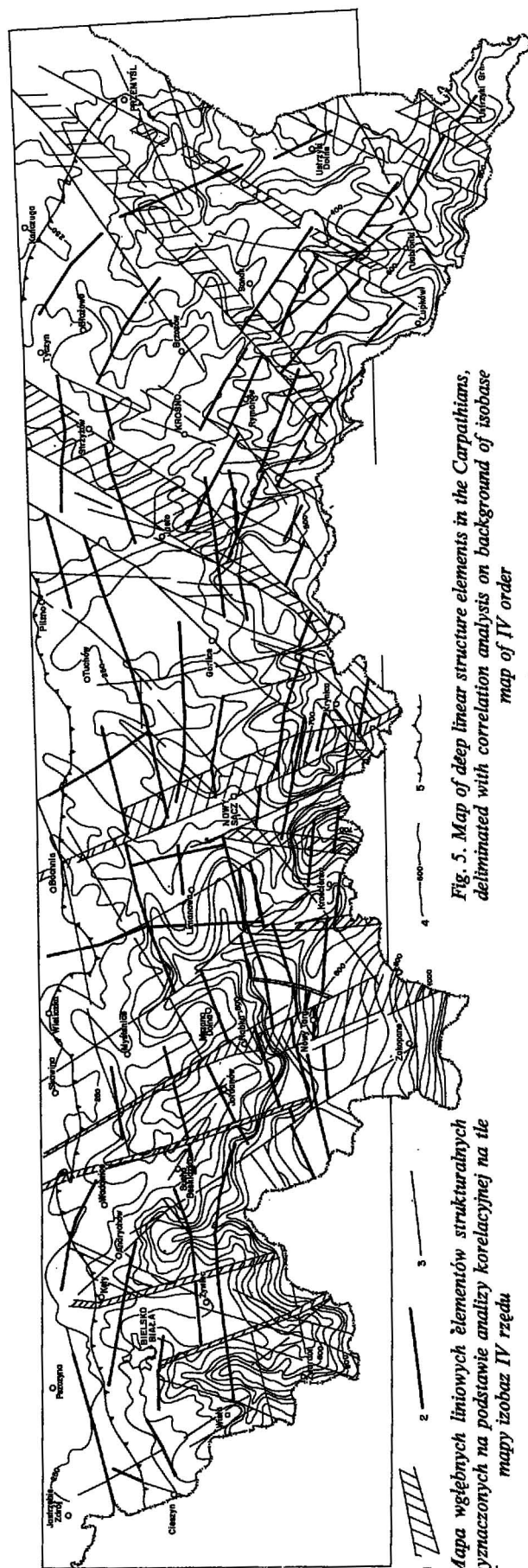


Fig. 5. Map of deep linear structure elements in the Carpathians, delimited with correlation analysis on background of isobase map of IV order

Ryc. 5. Mapa głębokich liniowych elementów strukturalnych Karpat, wyznaczonych na podstawie analizy korelacyjnej na tle mapy izobaz IV rzędu

1 — main discontinuity zones, 2 — discontinuity zones of II order, 3 — important photolineaments, 4 — isobases of IV order (acc. 5), 5 — the Carpathian boundary

1 — główne strefy nieciągłości, 2 — strefy nieciągłości II rzędu, 3 — ważniejsze fotolinyamenty, 4 — izobazy IV rzędu (5), 5 — granica Karpat

wanie większa w zachodniej części Karpat polskich niż wschodniej, co może mieć związek z grubością pokrywy fliszowej.

4. Największe gradienty spadku wartości izobaz rejestruje się w południowej części, odpowiadającej maksymalnym miąższościom mas fliszowych.

Logika i konsekwencja, z jaką wyniki analizy morfostukturalnej potwierdzają postulowany schemat wgłębnej budowy geologicznej Karpat polskich, z jednej strony potwierdza związek zjawisk neotektonicznych z budową podłoża podfliszowego, z drugiej strony — słuszność modelu wgłębnej tektoniki nieciągłej, utworzonego na podstawie analizy teledetekcyjno-geofizycznej.

LITERATURA

1. Bojdyś G., Lemberger M. — Ann Soc. Geol. Pol., 1986 nr 3—4 s. 349—373.
2. Doktor S., Dornic J., Graniczny M., Reichwalder P. — Mapa fotolinyamentów Karpat Zachodnich i ich przedpole. Wyd. Geol., 1988—1989.
3. Doktor S., Graniczny M. — Kwart. Geol., 1983 nr 3 s. 645—656.
4. Doktor S., Graniczny M., Kucharski R. — Prz. Geol., 1987 nr 8—9 s. 453—461.
5. Rączkowski W., Wójcik A., Zuchiewicz W. — Neotektonika Karpat fliszowych i przedgórze. Państw. Inst. Geol., 1982.
6. Sikora W.J. — Roczn. Pol. Tow. Geol., 1976 nr 1—2 s. 3—37.
7. Tołwiński K. — Acta Geol. Pol., 1956 nr 2 s. 75—226.
8. Turska-Pawica J., Połtowicz S. — Podłoże polskich Karpat fliszowych w świetle badań grawimetrycznych (Mat. Symp. „Tektonika Karpat i przedgórze w świetle badań geofizycznych i geologicznych”). Kraków, 1989.
9. Unrug R. — Roczn. Pol. Tow. Geol., 1980 nr 1 s. 27—39.
10. Wasiak J. — Dokumentacja badań aeromagnetycznych. Temat: — Karpaty i przedgórze 1979—1981. Arch. Przedsięb. Bad. Geol., 1982.
11. Wasiak J. — Badania aeromagnetyczne w rejonie Karpat i przedgórze 1979—1981. Geof. Stosowana, 1983 nr 1—2 s. 107—115.

SUMMARY

Model of deep geological structure of the Polish Carpathians was presented according results of complex remote sensing-geophysical analysis. Computer transformation and correlation of various data, including interpreted lineaments from satellite photos, gravimetric and magnetic data, were used here, as well as obtained new magneto-telluric informations. Offered maps of structural linear elements in the Carpathians refer to tectonic model of the Carpathians, elaborated by R. Unrug. He proposed explanation of strike-slip faults in the flysch Carpathians with rotation of fanwise dispersed tectonic block. In such meaning, the zones forming middle Carpathian block pass along the lines: Łysa Polana—Nowy Targ—Brzeźnica and Muszyna—Jasło. These marked tectonic zones strictly focus in isobase distribution and it proves the connections between tectonic structure of deep subflysch basement and Recent neotectonic movements of the Earth crust in the Carpathians area.

Р Е З Ю М Е

Представлена модель глубинного геологического строения польских Карпат в свете результатов комплексного анализа данных дистанционного зондирования и геофизических данных. Использована новая исследовательская методика, которая заключается в компьютерной трансформации и корреляции разнообразных данных охватывающих фотолинеаменты подвергнутые интерпретации на космических съемках, а также гравиметрические и магнетические данные. Коррелятивные исследования были также обогащены новополученными магнитотеллурическими данными. Представлен-

ные карты линейных структурных элементов Карпат обращаются к тектонической модели представленной Р. Унругом, который предлагает выяснить присутствие перемещающих сбросов во флишевых Карпатах ротацией веернообразно расположенных тектонических блоков. В том контексте следует принять, что зоны ограничивающие средний Карпатский блок проходят вдоль линии Лыса Поляна — Новы Тарг — Бжезница и Мушина — Ясло. Определенные тектонические зоны четко отражаются в картине изобаз, что подтверждает связи между тектоническим строением глубинного подфлишевого фундамента и современными и неотектоническими движениями земной коры на территории Карпат.