



Wojciech RYŁKO, Adam TOMAŚ

## **Morphology of the consolidated basement of the Polish Carpathians in the light of magnetotelluric data**

The morphology of the surface of the consolidated basement of the Carpathians has been analyzed using magnetotelluric sounding. This surface has an extensive regional slope trending northwest-southeast. In the Krynica – Wysowa region it is broken and the western part has been moved around 45 km to the south. South of the recognized slope, the consolidated basement of the Carpathians reaches a depth of 17 km. This may be the southern boundary of unmetamorphosed platform deposits under the Carpathians.

### INTRODUCTION

In the area of the Polish Flysch Carpathians, telluric and magnetotelluric research has been conducted since 1975 under the initiative and commission of the Polish Geological Institute.

Magnetotelluric and telluric coverage of the entire area of the Carpathians was carried out from 1986 to 1990. This research had two aims: recognition of the top of the consolidated Carpathian basement and recognition of the structure associated with lithologic variability in the overlying flysch. It was also expected that this research would allow definition of the morphology, depth, and genesis of the “horizon of low specific resistivity” underneath the Carpathians.

From 1975 to 1990, in the area of the Polish Flysch Carpathians, 518 magnetotelluric soundings were made along 61 profiles. These profiles were located perpendicular to the axis of the Carpathian arch. All magnetotelluric research in the area of the Carpathians was conducted by the Agency for Geophysical Research (Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych) in Warsaw.

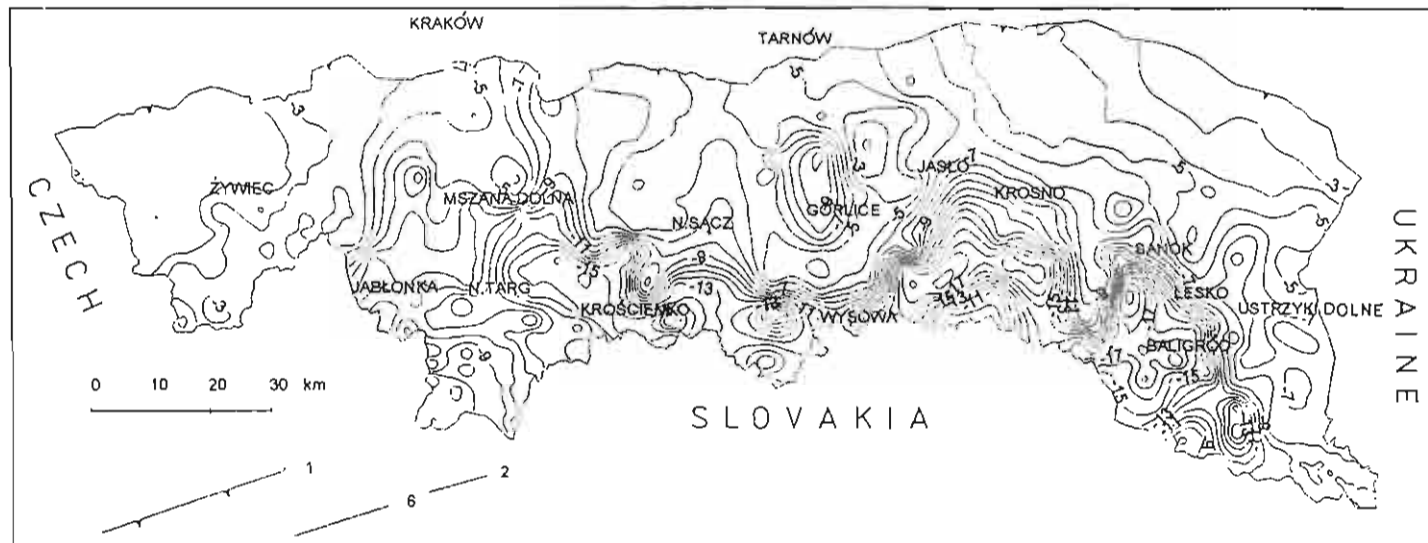


Fig. 1. Map of the depth of the consolidated Carpathian basement

1 — northern boundary of the Carpathians, 2 — depth contours of the consolidated Carpathian basement

Mapa głębokości skonsolidowanego podłoża Karpat

1 — północna granica Karpat, 2 — izolinie głębokości podłoża skonsolidowanego

The first results were published in previous work (W. Bachan, 1981; M. Molek, A. Oraczewski, 1988; M. Molek, W. Klimkowski, 1991; J. Świącicka-Pawliszyn, M. Molek, 1975; J. Świącicka-Pawliszyn, 1980, 1984).

The products of this research are maps of the depth of the magnetotelluric horizon associated with the consolidated Carpathian basement. Comparison of the resulting picture with facts known from deep boreholes and from interpretation by other geophysical methods, particularly seismic methods, indicates that the traced "horizon of high specific resistivity associated with the consolidated basement" reflects the morphology of the consolidated Carpathian basement with a high degree of certainty.

To analyze the morphology of the consolidated basement, a wide variety of statistical and computer methods were used. The results of magnetotelluric soundings were analyzed using the program SURFER and approximation by kriging was used to produce the most accurate image possible. "Inverse distance" methods with the highest power index were used for discontinuity analysis of the surface. Also analyzed was the spatial image of the surface of the consolidated basement. Perspective views from different directions and different angles turned out to be particularly important because they allowed recognition of a series of discontinuity zones obscure or invisible on depth maps of this horizon.

## MORPHOLOGY OF THE CONSOLIDATED BASEMENT SURFACE

The morphology of the consolidated basement surface of the Carpathians is very variable. Depth to the top of the basement varies from several hundred metres in the western part of the Carpathians (in the vicinity of the so-called "Cieszyn Island") to around 20 km in the southeastern part (Fig. 1). Generally, the surface drops from the northwest toward the southeast. The drop is not uniform, but it does have a largely continuous character.

As can be seen on the map of residuals (Fig. 2), the smallest deviations from the kriged surface are observed in the western, northern, and northeastern parts of the Carpathians. This is undoubtedly the result of shallow depth of the consolidated basement in these areas. The greatest deviations from the kriged surface are observed in the regions of Krościenko (near the Dunajec river), Sanok, and Baligród.

The irregularity of the surface of the consolidated basement is best seen on the positive and negative residuals maps (Figs. 3, 4). On the positive residuals map (Fig. 3), the zones of largest deviation from the kriged surface are found southeast of Gorlice and the region of Rymanów. On the negative residuals map (Fig. 4), the zones of greatest deviation are observed in the region of Gorlice and in the large triangular area bounded by Wysowa – Sanok – Baligród. Local irregularities are also observed in the region of Cisna.

On all the maps, the most visible, eye-catching feature of the consolidated basement is the sharp drop in the southeastern and central parts of the Polish Carpathians. This zone runs from the region of Ustrzyki Górne through the vicinity of Lesko to the region of Jasło. Along the Jasło – Wysowa line, it is displaced about 45 km to the south. From the region of Wysowa, the drop zone can be traced as far as Mszana Dolna. It is the most important discontinuity element in the area of the consolidated Carpathian basement. From now on it will be called the "regional basement slope".



Fig. 2. Residuals distribution of the kriged surface

1 — northern boundary of the Carpathians, 2 — deviation in kilometres

Rozkład residuum powierzchni kriginu

1 — północna granica Karpat, 2 — odchyłka w kilometrach

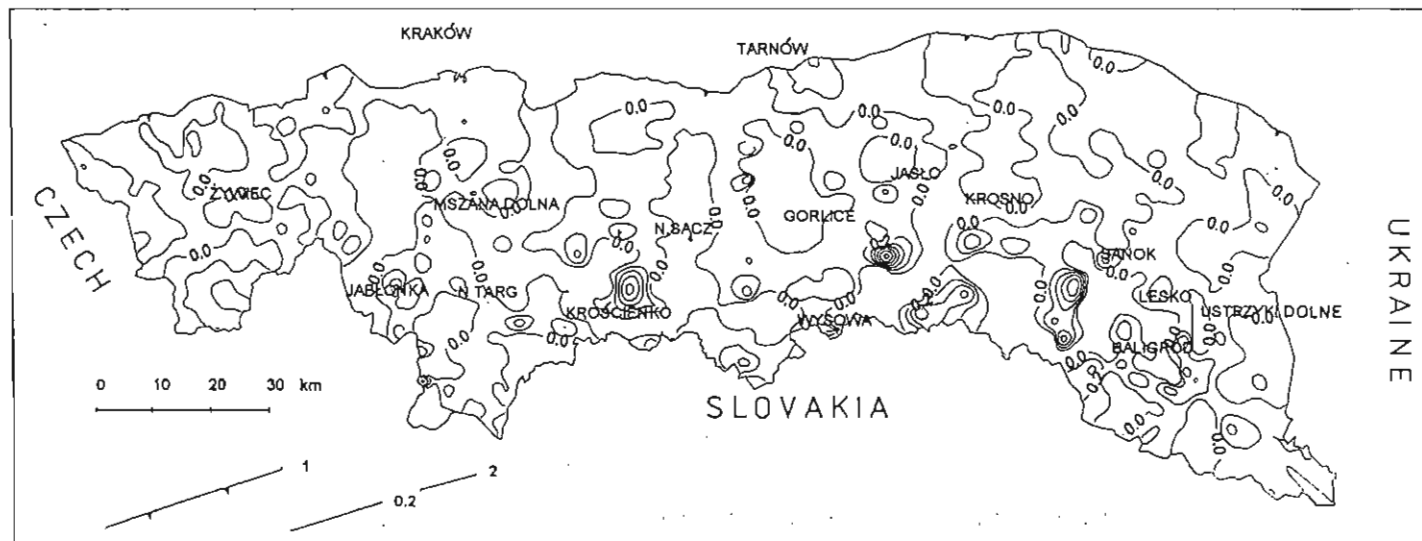


Fig. 3. Map of positive residuals  
 Explanations as in Fig. 2  
 Mapa residuum dodatniego  
 Objaśnienia jak na fig. 2

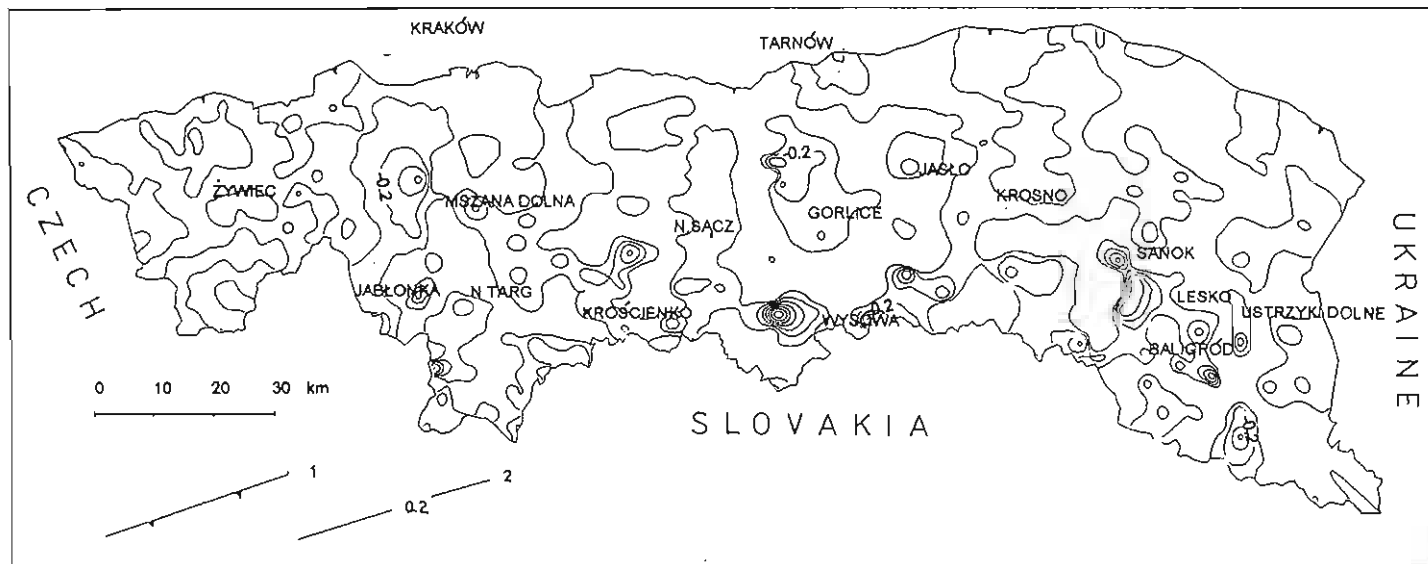


Fig. 4. Map of negative residuals  
 Explanations as in Fig. 2  
 Mapa residuum ujemnego  
 objaśnienia jak na fig. 2

The next sharp drop zone of the consolidated basement surface appears in the western part of the Carpathians along a line from Babia Góra to Maków Podhalański. In the region of Maków Podhalański, this zone is partly obscured. It is possible to trace it further along a line from Babia Góra to Kraków, but only in a very general way. West of this line, in a southwest-northeast direction, a more gentle zone where the surface drops is visible. Its trend may indicate the eastern boundary of the so-called "Cieszyn Island".

The surface of the consolidated basement is also characterized by a series of local drops and rises. The greatest drop extends along the southern Polish border from Wetlina through Baligród to the vicinity of Wysowa. It is as much as 20 km deep and is about 12 km lower than the more northern area. (An interesting point is that the magnitude of the basement drop corresponds to the magnitude of a drop in the Moho surface from profile III GSS located not far to the east in the Ukrainian Carpathians.) The described drop is two-part, divided into the Rymanów Elevation, with four distinct basins. The first two (in the southeastern part) are located in the region of Wetlina and Bukowsko, and the remaining two (in the western part) are located northeast of Wysowa in the region of Świątkowa and Dukla. To the south, it is bounded by an elevation of 6 to 8 km below the surface. Further to the west, a series of local depressions along the "line" from Krynica to Jabłonka can be seen. In the northern, elevated part of the basement, only one significant depression can be seen at the meridian of Tarnów in the region of Gorlice. Its relative depression is 4 km, and at its center the consolidated basement surface drops to a depth of 10 km below the Earth's surface.

The heterogeneity and disorder of the consolidated basement surface are much more visible on the three dimensional models of this surface. Views from different directions and different angles can be changed to highlight fragments of interest.

The first example is the surface seen from the southeast at a rather low angle (Fig. 5). Particularly visible is the previously described "slope" of this surface toward the south. It is usually reasonably steep. Its relative drop between Lesko and Jasło is 9 km; on the Lesko – Sanok segment it drops at an angle of 40°, whereas between Sanok and Jasło the slope does not exceed 20°. West of Wysowa, the angle of the "slope" again increases to 35 to 40°. In this interval it is more heterogeneous, probably with transverse displacement.

On the Jasło – Wysowa line, the "regional basement slope" is shifted to the south about 45 km. The surface along which displacement occurred is also steeply tilted to the southeast at an angle of 50°. The amount of the relative "slope" on this interval is 12 km.

The northern margin of the "slope" is very visible when the basement surface is examined from the north at an angle of 75° (Fig. 6). Equally visible are the Babia Góra – Kraków line and the northern margin of the Gorlice Depression.

Certain morphological elements are particularly visible when seen from the southwest at an angle of 30° (Fig. 7). The eastern margin of the "Island", the "Cieszyn – Andrychów Swell", can be seen. Farther to the east, both the edge of the Rzeszotary Elevation and the southern edge of the "regional basement slope" are present as well as the transverse discontinuity on the Jasło – Wysowa line.

Figure 8 presents a view of the basement surface from the southwest at an angle of 45°. Visible in the eastern part is the northern margin of the "regional basement slope". Farther to the west, the two-level "slope" is particularly easy to observe on the Wysowa – Jasło

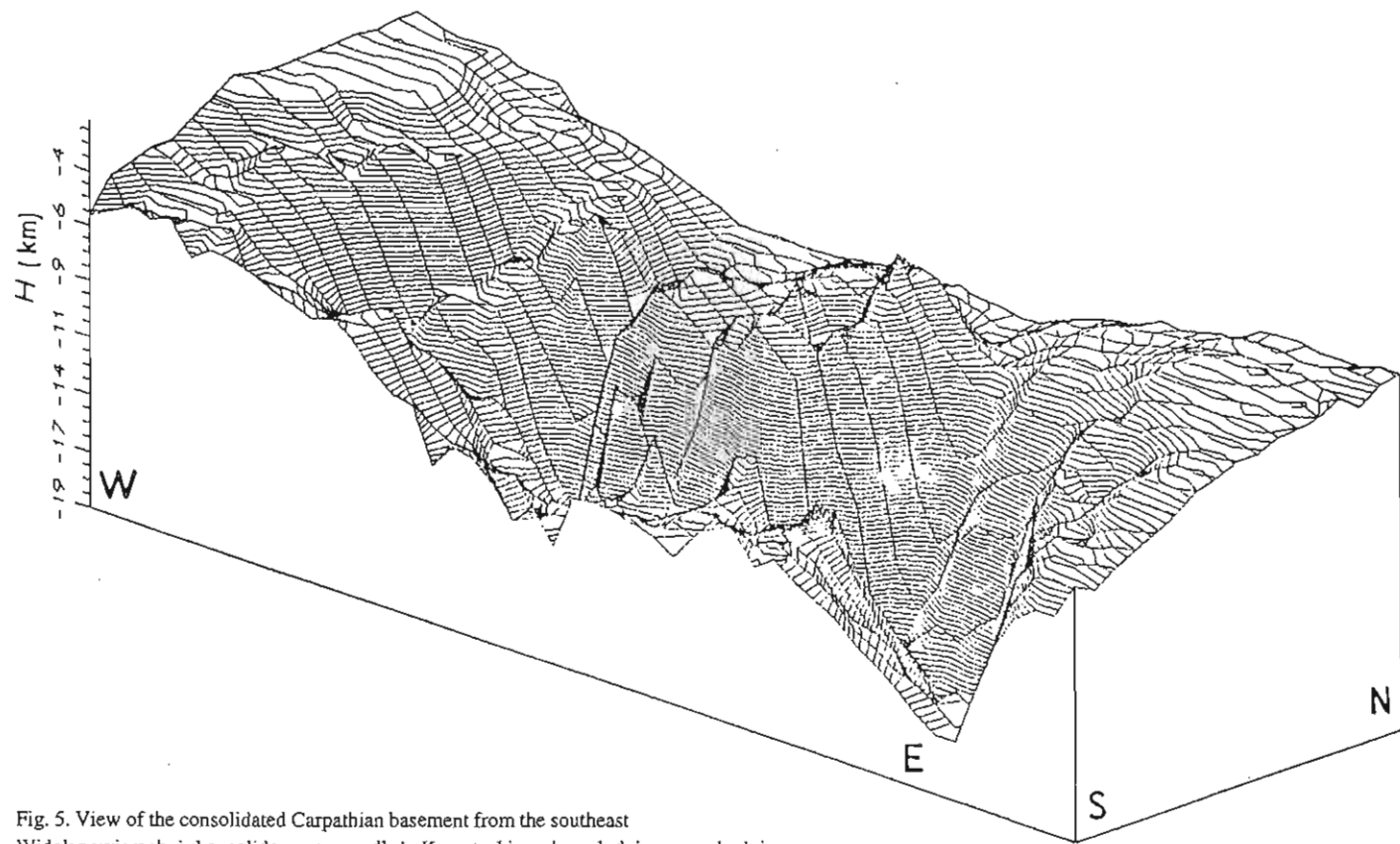


Fig. 5. View of the consolidated Carpathian basement from the southeast  
Widok powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat z kierunku południowo-wschodniego



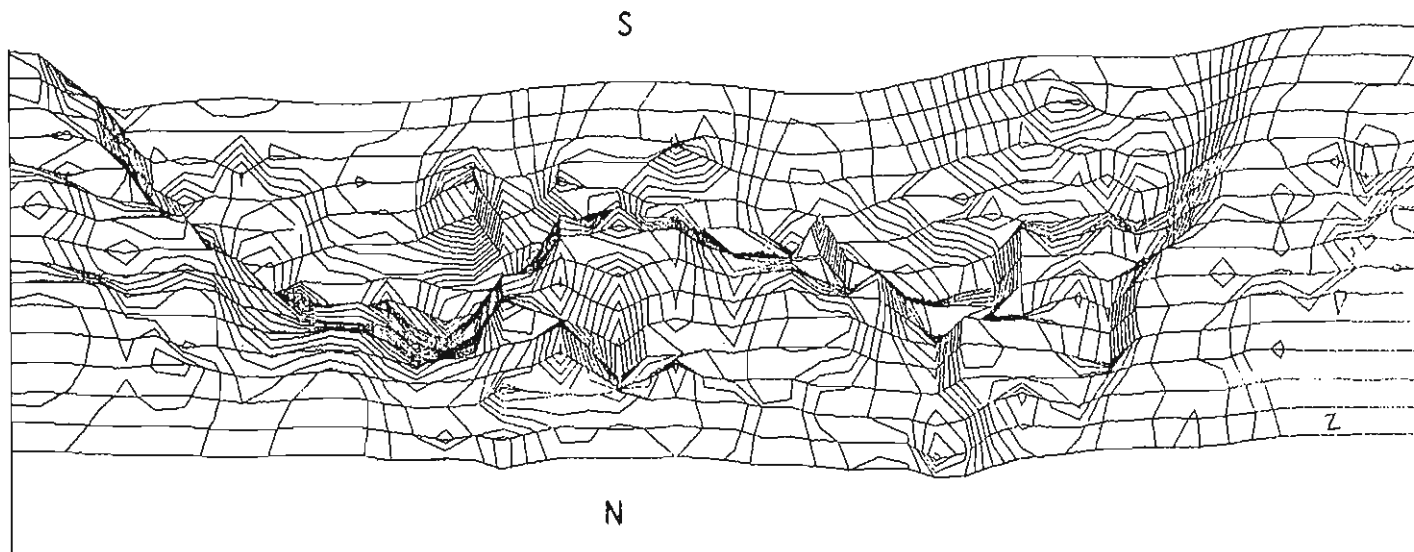


Fig. 6. View of the consolidated Carpathian basement from the north at a 75° angle  
Widok powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat z kierunku północnego pod kątem 75°

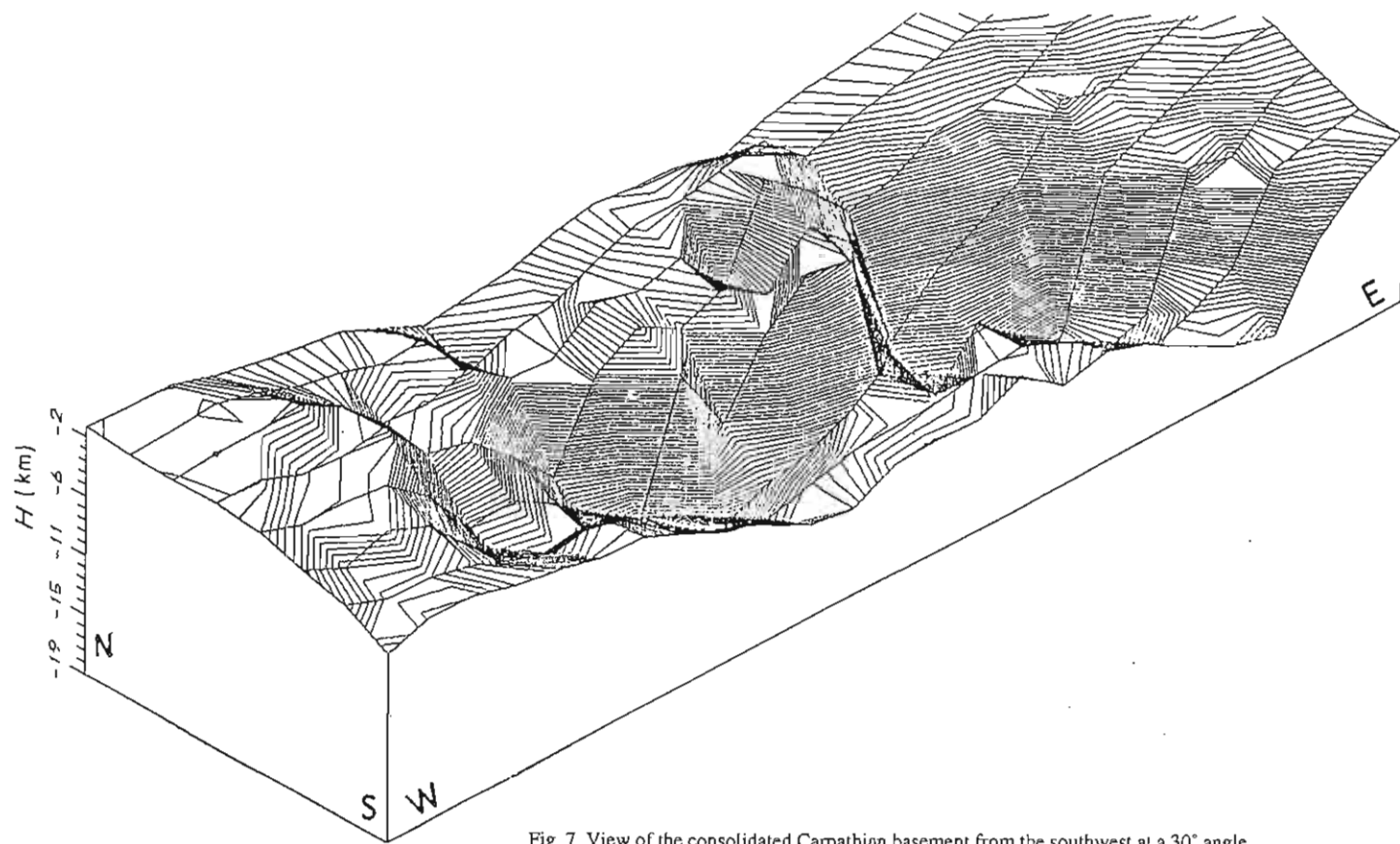


Fig. 7. View of the consolidated Carpathian basement from the southwest at a 30° angle  
 Widok powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat z kierunku południowo-zachodniego pod kątem 30°

line. Even farther to the west, the "slope" along the Babia Góra – Maków Podhalański line can be seen and beyond that the southwestern slope of "Cieszyn Island".

Viewed from the northeast (Fig. 9), the southeastern slope of the "Cieszyn – Andrychów Swell" can be discerned clearly, marked within its northeast-southwest fracture. It may be within the yet unseen Żywiec – Rzeszotary fracture zone.

## CONCLUSIONS

A high level of confidence can be placed in the data concerning the depth of the consolidated Carpathian basement as interpreted from magnetotelluric soundings. This is confirmed by comparison of its morphology with known facts from deep boreholes and interpretation by other geophysical methods (particularly seismic). Magnetotelluric soundings show the depth to the top of the consolidated Carpathian basement in a realistic way.

The most important subdivided element of the "regional basement slope" runs along a largely northwest-southeast line (Fig. 10). It is broken in the region of Krynica – Wysowa; from the Ustrzyki Górne – Jasło line to the east it is shifted toward the south along the Krynica – Mszana Dolna line. The amount of displacement is as much as 45 km.

The "regional basement slope" is probably the southern boundary of platform carbonates under the Carpathian Flysch. The slope of the basement is tilted toward the south at an average angle of 35 to 50°. Considering the dip, it is possible to believe that its intersection with the Moho surface in the region east of Krynica (fracture zone W–W according to G. Bojdys, M. Lemberger, 1986) occurs along a line coinciding with the trend of the Perypieńiny Dislocation. West of the W–W zone, regularity of this sort can no longer be observed, and the intersection with the Moho is presumably along the Krompachy (Slovakia) – Nowy Targ "line". It is also possible that displacement perpendicular to the dip direction results from dissection by transverse fracture. From this perspective, the noticeable Babia Góra – Maków Podhalański tectonic line (zone) may be associated with the deep Bańska Bystrzyca – Żywiec fracture suggested by W. Sikora (1976).

Farther to the east, the Wysowa – Jasło line can be tied to the Preszów – Gorlice fracture of W. Sikora (1976) or the Jasło – Połaniec fracture of K. Żytko (1982). This zone may also coincide with the W–W fracture of G. Bojdys and M. Lemberger (1986).

The disorder of the upper surface of the basement northeast of Sanok can be tied to the Lesko – Żołynia line defined by K. Żytko (1982).

Based on the morphology of the consolidated Carpathian basement surface, this region can be divided into three separate regions each having their own influence on the sedimentary platform and geosynclinal deposits. The western region is bounded on the east by the Wadowice – Jordanów – Krościenko (near the Dunajec river) line (zone). It includes the "Cieszyn – Andrychów Swell", and its eastern slope is filled with Palaeozoic sediments. The shape and character of the consolidated basement surface in this region suggest continuation of the Palaeozoic trough farther to the south and southeast, even farther south of the "regional platform slope". These ideas, proposed by K. Żytko (1991), suggest that south of the "regional platform slope" there may even be coal-bearing Carboniferous. Its reflections in this area would be the magnetotelluric horizon of low specific resistivity.

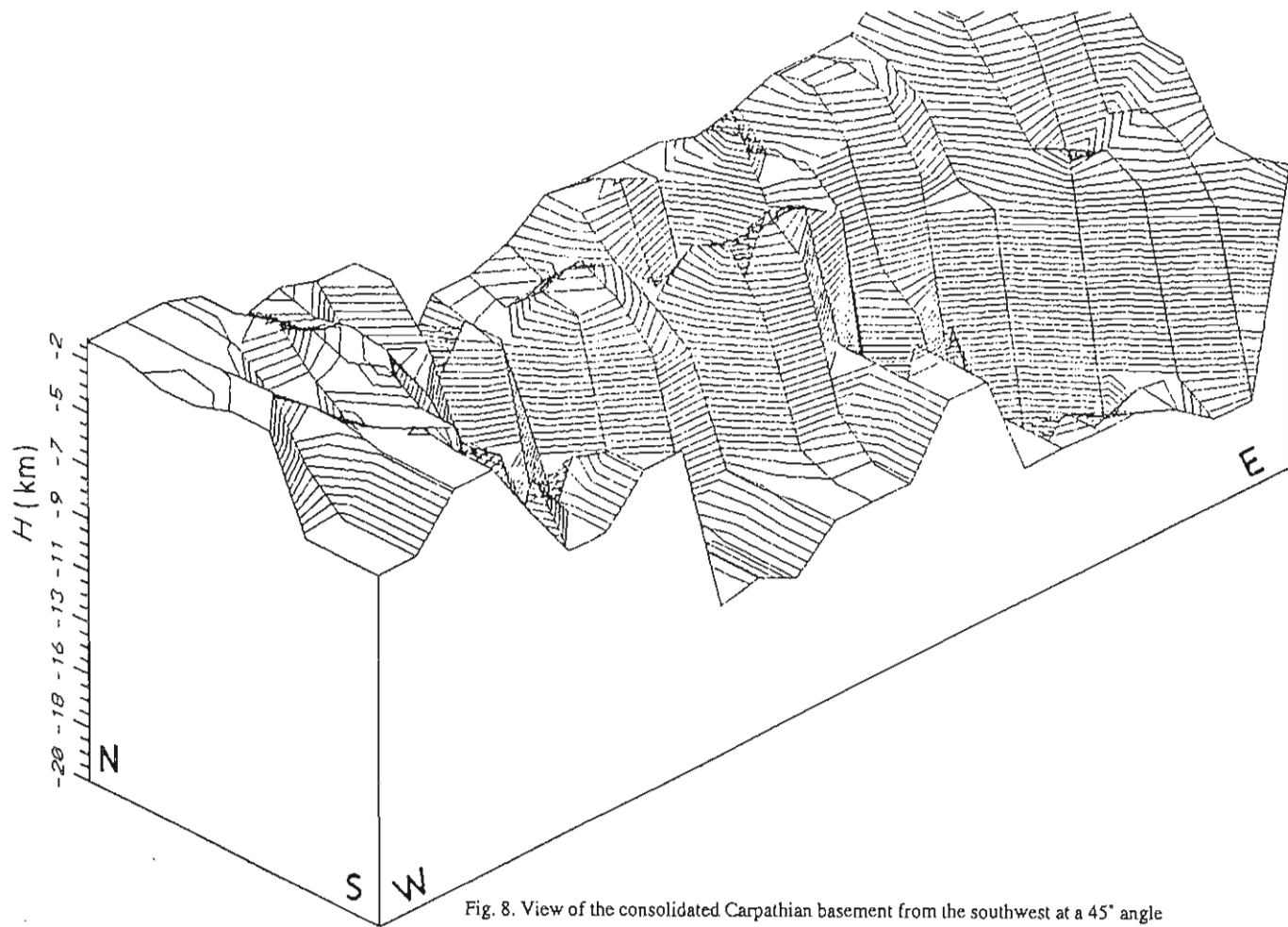


Fig. 8. View of the consolidated Carpathian basement from the southwest at a 45° angle  
 Widok powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat z kierunku południowo-zachodniego pod kątem 45°

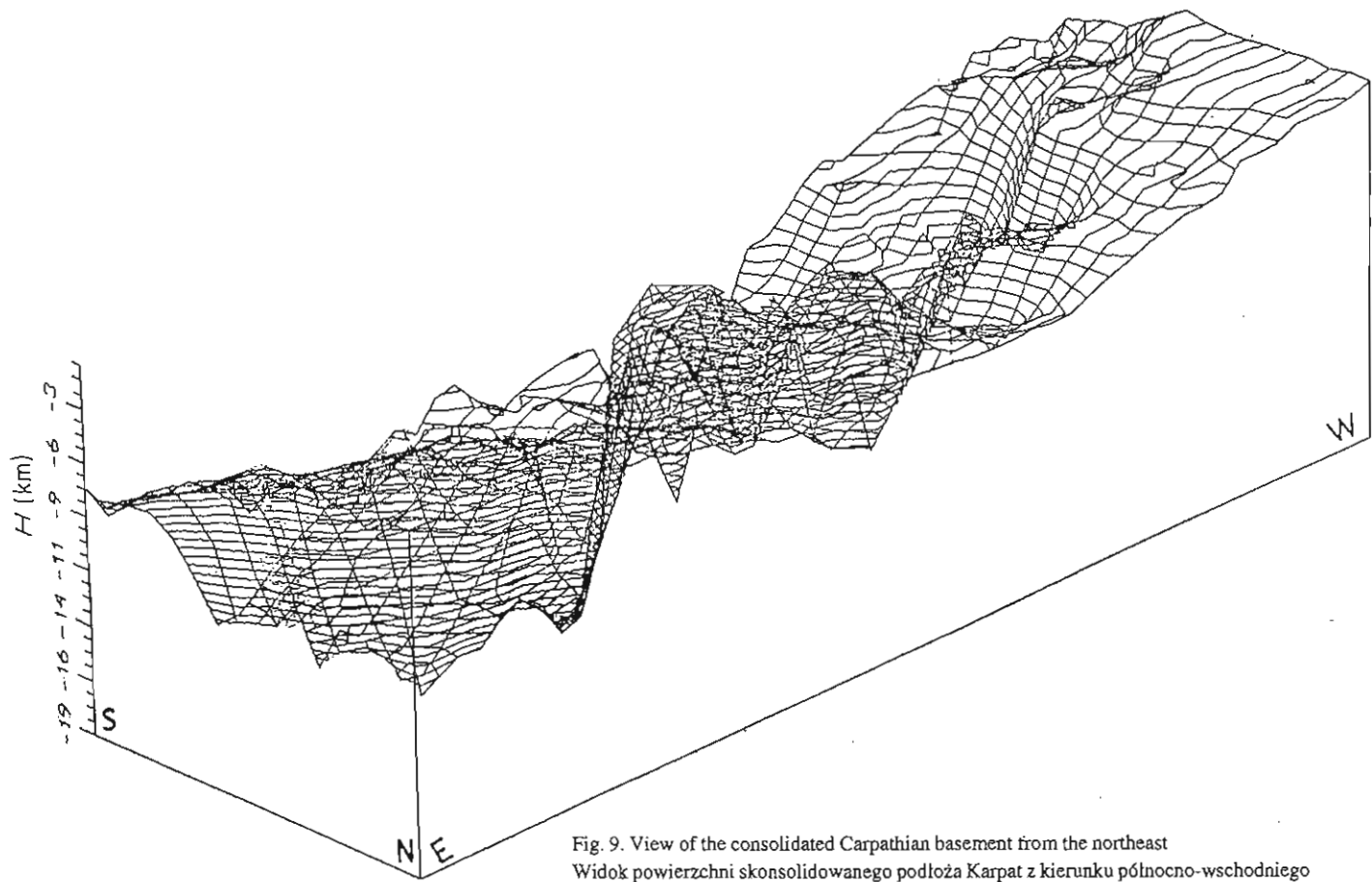


Fig. 9. View of the consolidated Carpathian basement from the northeast  
 Widok powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat z kierunku północno-wschodniego

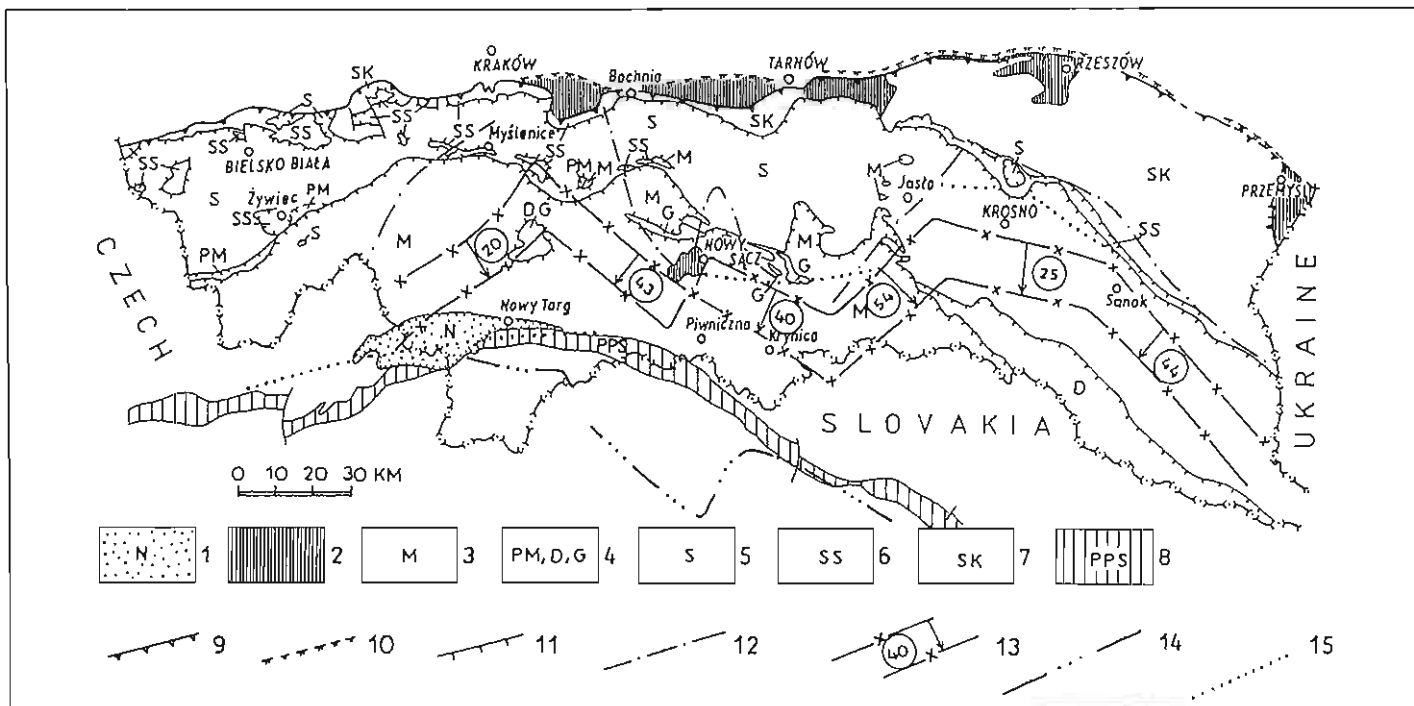


Fig. 10. Trend of the consolidated Carpathian basement slope

1 — Neogene Orawa – Nowy Targ Trough, 2 — Miocene (including folded Miocene) overlying external Carpathian Flysch deposits, 3 — Magura unit, 4 — pre-Magura units (PM — pre-Magura, D — Dukla, G — Grybów), 5 — Silesian unit, 6 — Subsilesian unit, 7 — Skole unit, 8 — Pieniny Klippen Belt, 9 — northern boundary of the Carpathians, 10 — northern boundary of the folded Miocene, 11 — boundaries of the main external Carpathian tectonic units, 12 — intersection of the slope of the consolidated basement with the surface of the earth, 13 — zone of maximum dip of the consolidated basement surface (arrow — dip direction, circled number — average dip), 14 — intersection of the slope of the consolidated basement with the Moho surface, 15 — minimum gravimetric axis

#### Przebieg skłonu skonsolidowanego podłoża Karpat

1 — neogen niecki orawsko-nowotarskiej, 2 — miocen sfałdowany i miocen leżący na utworach flyszowych Karpat zewnętrznych, 3 — jednostka magurska, 4 — jednostki przedmagurskie (PM — przedmagurska, D — dukielska, G — grybowska), 5 — jednostka śląska, 6 — jednostka podśląska, 7 — jednostka skolska, 8 — pieniniński pas skałkowy, 9 — północna granica Karpat, 10 — północna granica miocenu sfałdowanego, 11 — granice głównych jednostek tektonicznych Karpat zewnętrznych, 12 — kład skłonu podłoża skonsolidowanego na powierzchnię terenu, 13 — strefa maksymalnego gradientu nachylenia powierzchni skonsolidowanego podłoża (strzałka — kierunek nachylenia, liczba w kółku — średni kąt nachylenia), 14 — kład skłonu podłoża skonsolidowanego na powierzchnię Moho, 15 — oś minimum grawimetrycznego

The Carboniferous sea could have "filled" it from the south through a passage located between Żywiec and Jordanów.

In the eastern region, east of the Wadowice – Jordanów – Krościenko (near the Dunajec river) line (zone), both southern and northern zones of the "regional basement slope" can be distinguished.

With respect to the northern part, the southern part is thrown on average around 10 km. The movement zone is discontinuous, along the Jasło – Wysowa line it is broken and its eastern part is shifted around 45 km northward. North of it was the Tethys Ocean, where the oldest flysch sediments were deposited. They were deposited, for example, over the coal-bearing deposits of the Upper Carboniferous.

*Translated by Thomas Olszewski*

Oddział Karpacki  
Państwowego Instytutu Geologicznego  
Kraków, ul. Skrzatów 1  
Received: 5.07.1994

#### REFERENCES

- BACHAN W. (1981) — Rozpoznanie geoelektrycznej budowy Karpat pod kątem skonsolidowanego podłoża. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- BOJDYS G., LEMBERGER M. (1986) — Gravimetric modelling as a method of lithosphere examinations on example of Carpathians (in Polish with English summary). Zesz. Nauk. AGH, 33, p. 105–106.
- MOLEK M., ORACZEWSKA A. (1988) — Dokumentacja badań magnetotellurycznych. Temat: Badania w głębszej budowy geologicznej Karpat „Karpaty” lata 1986–1987, część I (obszar I i II). Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MOLEK M., KLIMKOWSKI W. (1991) — Dokumentacja badań magnetotellurycznych i tellurycznych. Temat: Badania w głębszej budowy geologicznej Karpat „Karpaty” lata 1988–1990, część 2 (obszar III i IV) i podsumowanie wyników badań od 1975 roku. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- SIKORA W. (1976) — On lineaments found in the Carpathians (in Polish with English summary). Roczn. Pol. Tow. Geol., 46, p. 3–54, no. 1/2.
- ŚWIĘCICKA-PAWLISZYN J. (1980) — Dokumentacja badań geoelektrycznych. Temat: Karpaty. Profile regionalne F i V rok 1975 i lata 1978–1979. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- ŚWIĘCICKA-PAWLISZYN J. (1984) — Dokumentacja badań magnetotellurycznych. Temat: Karpaty — część wschodnia, rok 1975 i lata 1978–1979, 1981–1983. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- ŚWIĘCICKA-PAWLISZYN J., MOLEK M. (1975) — Dokumentacja badań geoelektrycznych. Temat: Profile regionalne, profil F (Baligród – Przemyśl). Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- ŻYTKO K. (1982) — The Atlantic, the Indian Ocean and main linear fracture zones of the Post-Varyscjan Europe. Roczn. Pol. Tow. Geol., 52, p. 3–38, no. 1/2.
- ŻYTKO K. (1991) — Ewolucja orogenu w granicznej strefie Karpat Zachodnich i Wschodnich. 80 Sesja Naukowa Państw. Inst. Geol. (referat, inf. ustna). Kraków.

Wojciech RYŁKO, Adam TOMAŚ

## MORFOLOGIA SKONSOLIDOWANEGO PODŁOŻA POLSKIEJ CZĘŚCI KARPAT W ŚWIETLE BADAŃ MAGNETOTELLURYCZNYCH

### Streszczenie

Na obszarze polskich Karpat fliszowych badania magnetotelluryczne i telluryczne prowadzono od 1975 r. z inicjatywy i na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego. W latach 1975–1990 wykonano 518 sondowań magnetotellurycznych na 61 profilach, zlokalizowanych prostopadle do osi łuku karpackiego.

Porównanie uzyskanego obrazu morfologii powierzchni podłoża skonsolidowanego z faktami znanymi z głębokich otworów wiertniczych oraz interpretacja innych metod geofizycznych, a szczególnie badań sejsmicznych, wskazuje na dużą wiarygodność uzyskanych danych. W związku z tym można uznać, że wyniki sondowań magnetotellurycznych w rzeczywisty sposób odzwierciedlają głębokość stropu skonsolidowanego podłoża Karpat.

Najważniejszy wydzielony element — „regionalny skłon podłoża” przebiega w przybliżeniu wzdłuż linii NW–SE. W rejonie Krynicy – Wysowej jest on rozerwany i z linii Ustrzyki Górne – Jasło, na wschodzie, przesunięty o ok. 45 km ku południowi na linię Krynica – Mszana Dolna.

Można sądzić, że „regionalny skłon podłoża” odpowiada południowej granicy zasięgu utworów platformowych pod Karpatami fliszowymi. Jest on nachylony ku południowi przeciętnie pod kątem od 35 do 50°. Uwzględniając te kąty nachylenia, można stwierdzić, że jego rzut na powierzchnię Moho w rejonie położonym na E od południka Krynicy (strefy rozłamowej W–W według G. Bojdysa i M. Lembergera, 1986) układa się wzdłuż linii pokrywającej się z przebiegiem rozłamu perypienińskiego. Na zachód od strefy W–W prawidłowości takiej już nie obserwujemy, rzut skłonu podłoża na powierzchnię Moho układa się przypuszczalnie wzdłuż „linii” Krompachy (Słowacja) – Nowy Targ.

Można przyjąć również hipotezę, że przemieszczenia prostopadle do biegu skłonu wynikają z jego przecięcia rozłamami transwersalnymi. W tym ujęciu zauważalna w zachodniej części Karpat linia (strefa) tektoniczna Babiej Góry – Makowa Podhalańskiego może być powiązana z sugerowanym przez W. Sikorę (1976) głębokim rozłamek Bańskiej Bystrzycy – Żywca.

Posuwając się ku wschodowi, linię Wysowa – Jasło można by wiązać z rozłamek Preszowa – Gorlic (według W. Sikory, 1976) lub rozłamek Jasta – Połańca stwierdzonym przez K. Żytkę (1982). Strefa ta może się pokrywać również z rozłamek W – W w ujęciu G. Bojdysa i M. Lembergera (1986). Widoczne zaburzenie powierzchni stropu podłoża na NE od Sanoka można wiązać ze zdefiniowaną przez K. Żytkę (1982) linią Lesko – Żołyńca.

Na podstawie analizy morfologii powierzchni skonsolidowanego podłoża Karpat region ten można podzielić na trzy odrębne obszary, mające odzwierciedlenie w sedymentacji zarówno utworów platformowych, jak i geosynklynalnych. Obszar zachodni ograniczony jest od wschodu linią (strefą) Wadowice – Jordanów – Krościenko n. Dunajcem. Obejmuje on „wał cieszyńsko-andrychowski” oraz jego wschodni skłon wypełniony osadami paleozoicznymi. Kształt i charakter powierzchni podłoża skonsolidowanego w tym rejonie sugeruje możliwość kontynuowania się niecki paleozoicznej ku południowi i południowemu wschodowi, nawet na południe od „regionalnego skłonu platformy”. Koncepcję taką wysunął K. Żytko (1991), sugerując że na południe od „regionalnego skłonu platformy” mogą występować nawet utwory karbonu węglonośnego. Jego odzwierciedleniem na tym obszarze byłby magnetotelluryczny horyzont niskooporowy. Morze karbońskie mogłoby się „wlać” na południe poprzez kanion zlokalizowany między rejonem Żywca i Jordanowa.

W obszarze wschodnim, na wschód od linii (strefy) Wadowice – Jordanów – Krościenko n. Dunajcem, można wyróżnić część północną i południową, rozdzielone „regionalnym skłonem podłoża” skonsolidowanego. W stosunku do części północnej część południowa jest zrzucona średnio o ok. 10 km. Strefa zrzutu jest nieciągła, wzdłuż linii Wysowa – Jasło jest rozcięta i przesunięta w części wschodniej o ok. 45 km na północ. W północnej części strefy wschodniej osadzały się utwory platformowe. Na południe od niej istniał już Ocean Tetydy i osadzały się w nim najstarsze utwory fliszu (np. na węglonośnych utworach karbonu górnego).