

Kształt powierzchni nasunięcia karpackiego i jego związku z tektoniką podkarpackiego podłoża skonsolidowanego

Adam Tomasz*

Morphology of the Carpathian overthrust and its implications for the form of the Carpathian consolidated basement. *Prz. Geol.*, 51: 159–162.

Summary. Present paper an analysis of the morphology of the Carpathian overthrust surface and its connection with the form of the Carpathian consolidated basement, formed during the Neogene reconstruction of the south-eastern Poland.

Various methods, using Surfer software, were applied to the overthrust surface approximation. Among them the method of kriging linear and radial basic functions. The picture of the overthrust surface established by the method of kriging does not differ from these obtained established by Wdowiarz (1976), Oszczytko and Tomasz (1985).

The analysis of the differences between the value of kriging and the value of actual depths of the overthrust surface and its approximation done by multiquadric radial basic function suggest that this surface is not homogeneous.

These analyses have proved that, considering the degree of regularity of the surface, three zones may be distinguished. The first zone, with the lowest level of regularity, is situated between western border of Poland and a dislocation zone A–A, the second, of intermediary regularity, between dislocation zones A–A and B–B, and the most regular zone between zone B–B and the eastern border of Poland. There is an evident correlation between degree of regularity and the thickness of flysch sediments, and what's more, between the degree of regularity and the tectonic variability of the Carpathian consolidated basement. That surface had been formed during the Neogene reconstruction of the consolidated basement. These two processes were almost simultaneous, the formation of the overthrust surface had began shortly after the of reconstruction of the Carpathian consolidated basement.

Key word: Carpathians, flysch, overthrust surface, mathematical methods, consolidated basement, tectonic

Powierzchnia nasunięcia karpackiego jest to powierzchnia oddzielająca masy fliszowe od podścielającego je podłoża Karpat, zbudowanego z różnowiekowych utworów platformowych i molas rowu przedgórskiego. Jest to również powierzchnia, wzdłuż której Karpaty nasuwały się na swoje przedpole i w trakcie tych ruchów nasuwczych ukształtowała się ona ostatecznie. Jej kształt analizowany był przez Koniora (1981) na obszarze zachodniej części polskich Karpat fliszowych oraz na całym obszarze polskich Karpat przez Wdowiarza (1976), Oszczytkę i Tomasia (1985). Na kształt powierzchni nasunięcia karpackiego miały wpływ zarówno litologia spągowych partii fliszu, to po czym się Karpaty nasuwały, jak i ukształtowanie powierzchni przedpola Karpat. Przedpole to nie było stabilne, lecz ulegało systematycznej przebudowie w trakcie nasuwania się mas fliszowych. Istnieje więc możliwość powiązania obecnego kształtu powierzchni nasunięcia karpackiego z głównymi rysami tektonicznymi podłoża ostatecznie uformowanymi w trakcie jego neogeńskiej przebudowy (Rytko & Tomasz, 2001).

Analiza kształtu

Do analizy kształtu powierzchni nasunięcia wykorzystano wyniki z wierceń, wykonanych przez przemysł naftowy oraz wcześniejsze spostrzeżenia zawarte w pracach Wdowiarza (1976), Koniora (1978) oraz Oszczytki i Tomasia (1985). W sumie oparto się o wyniki z ok. 150 wierceń usytuowanych między Cieszynem i Przemyślem, w pasie o szerokości ok. 30 km. Gęstość rozpoznania wiertniczego wynosiła ok. 1 pkt./50 km². Powierzchnię nasunięcia aproksymowano różnymi metodami za pomocą programu Surfer. W pierwszej kolejności zastosowano aproksymację krigingiem liniowym (ryc. 1). Metoda ta

oddaje przede wszystkim regionalny kształt powierzchni, eliminując (uśredniając) zaburzenia lokalne. Uzyskany obraz powierzchni nasunięcia nie odbiega od obrazu uzyskanego przez Wdowiarza (1976), czy Oszczytkę i Tomasia (1985). Powierzchnia ta ma kształt regularny, izolinie stałej głębokości mają przebieg WSW–NEE w części wschodniej polskich Karpat, na wschód od Krosna, skręcając ku południowi. Zaburzona jest ona prawdopodobnie w swojej części północnej, w pasie o szerokości kilku kilometrów, zlokalizowanym wzdłuż linii nasunięcia karpackiego. Wnioskować o tym można z przebiegu izoliny w tym pasie, a właściwie z ich braku oraz nieciągłości. Przy dużym względnym zróżnicowaniu wartości głębokości do spągu powierzchni nasunięcia w tym obszarze metoda kriginu nie przynosiła rezultatów. Lokalne zaburzenia obserwujemy w pasie Żywiec–Wadowice–Mszana Dolna. Jak już wspomniano powierzchnia nasunięcia karpackiego ma kształt regularny i nachylona jest ku południowi. Gradient nachylenia tej powierzchni zmierzony na wschód od południka Tarnowa, między Gorlicami a Jasłem wynosi 225 m/km. Największe przegłębienia tej powierzchni obserwujemy między Baligrodem a południową granicą państwa. Miąższości fliszu mogą tutaj osiągać 9,5–10 km.

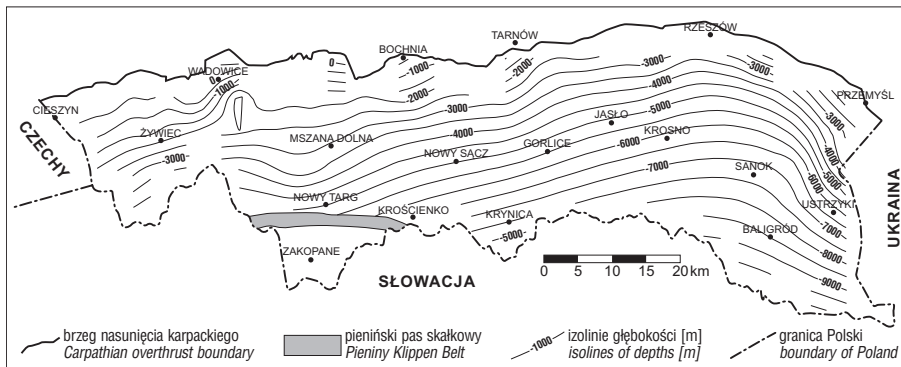
Istotny jest problem jakości odwzorowania aproksymowanej powierzchni. W celu określenia popełnionych błędów skonstruowano mapę odchyłek bezwzględnych powierzchni kriginu od wartości rzeczywistych pochodzących z głębokich wierceń (ryc. 2).

Odchylenie bezwzględne definiujemy jako różnicę między wartością głębokości H_r powierzchni nasunięcia aproksymowaną metodą kriginu a wartością tej głębokości uzyskaną z głębokich wierceń H_a :

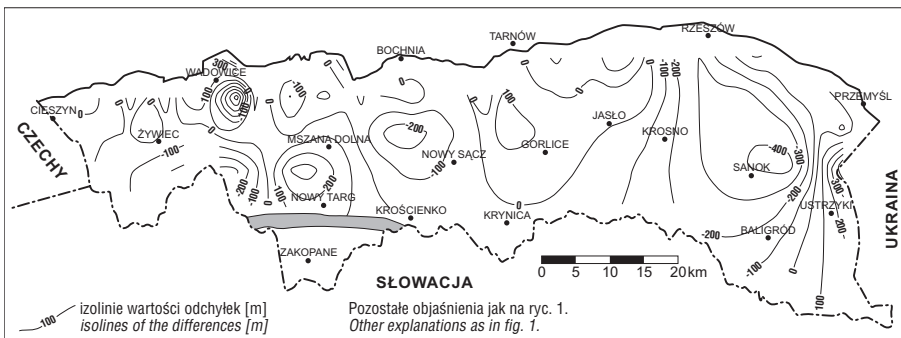
$$O_{bw} = H_r - H_a$$

Tak uzyskane wartości ekstrapolowano na obszary, gdzie nie posiadano informacji z głębokich wierceń również metodami kriginu. Wartości odchyłek zawierają się

*Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków



Ryc. 1. Mapa głębokości powierzchni nasunięcia karpackiego — kriging liniowy
Fig. 1. Map of depths of Carpathian overthrust surface — linear kriging



Ryc. 2. Mapa odchylek bezwzględnych rzeczywistych głębokości powierzchni nasunięcia od wartości krigingu liniowego
Fig. 2. Map of absolute differences between the value of linear kriging and the value of real actual depths of the overthrust surface

w przedziale -1250 — $+824$ m na ogół nie przekraczając wartości 300 m, przy odchyleniu standartowym równym 266 m. Największe odchylenia obserwujemy przy samym brzegu nasunięcia, gdzie aproksymacja jest problematyczna i istnienie izolinii jest jedynie sygnalizowane. Problematyczność aproksymacji w tym obszarze jest wynikiem dużej komplikacji (silnego zaburzenia) powierzchni nasunięcia w strefie jego brzegu. Po odrzuceniu ok. 15 otworów, usytuowanych tuż przy brzegu nasunięcia, sytuacja ulega diametralnej zmianie i odchylenie powierzchni krigingu od rzeczywistej powierzchni nie przekracza wartości 400 m, nawet dla maksymalnych miąższości utworów fliuszowych. Dodatkowo odchylenia obserwuje się głównie w północnej części obszaru (ryc. 2), natomiast ujemne w jego południowej części. Największe bezwzględne odchylenia obserwujemy na południe od Wadowic (-300 m) oraz w rejonie Sanoka (-400 m).

Równie interesujący jest rozkład odchyleń względnych. Jako odchylenie względne zdefiniujemy bezwzględną wartość różnicy, pomiędzy rzeczywistą głębokością do spągu nasunięcia karpackiego a głębokością aproksymowaną metodą krigingu liniowego, podzieloną przez głębokość rzeczywistą i wyrażoną w procentach:

$$O_w = (H_r - H_a) / H_r \cdot 100\%$$

gdzie:

O_w — odchylenie względne,

H_r — wartość rzeczywista głębokości do powierzchni nasunięcia,

H_a — wartość aproksymowana.

Odchylenia względne wahają się od 0 do kilkudziesięciu procent. Ich średnia wartość wynosi 15,6%. Największe wartości odchyleń względnych (ryc. 3) obserwujemy w rejonie Cieszyń-Żywiec-Wadowice, gdzie osiągają wartości do 40% oraz w rejonie Bochni (do 25%).

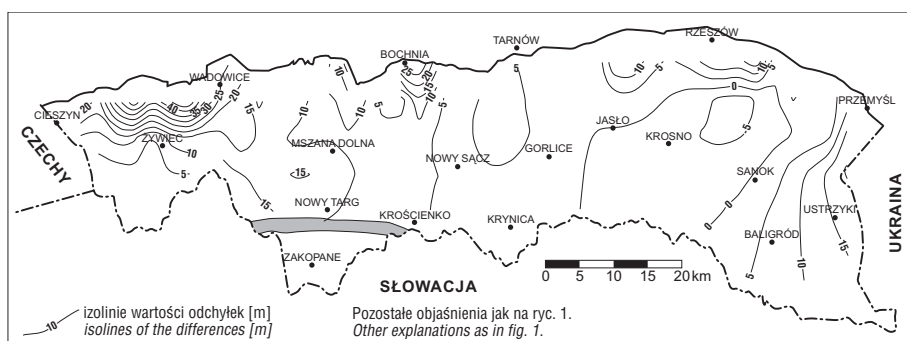
Porównując ryc. 1, 2, 3 możemy zauważyć interesującą prawidłowość, że powierzchnia nasunięcia aproksymowana metodą krigingu, pomimo iż jest bardzo regularna (ryc. 1), to zarówno odchylenia względne (ryc. 2), jak i bezwzględne (ryc. 3) układają się w zupełnie odmienny, nieregularny sposób. Może to sugerować, że powierzchnia nasunięcia w rzeczywistości nie jest tak regularna jak dotąd przyjmowano (Wdowiarz, 1976; Oszczykko & Tomasz, 1985). W przypadku obrazu przedstawionego przez Wdowiarza (1976) oraz Oszczykko i Tomasia (1985) regularność ta może wynikać z naturalnej tendencji do wygładzania konstruowanych izolinii w przypadku niewystarczającej gęstości danych. Zastosowana w niniejszej pracy metoda aproksymacji, za pomocą krigingu liniowego (ryc. 1) odzwierciedla przede wszystkim zmienność regionalną, eliminując w znacznym stopniu zaburzenia lokalne. Metodami aproksymacji, pozwalającymi na próbę wychwycenia niejednorodności lokalnych, jest grupa metod opierających się na funkcjach promieniowych (*radial basis function*), a szczególnie promieniowej funkcji kwadratowej (Carlson & Foley, 1991). Wariogram tej funkcji przedstawia wyrażenie:

$$B(h) = (h^2 + R^2)^{1/2}$$

gdzie:

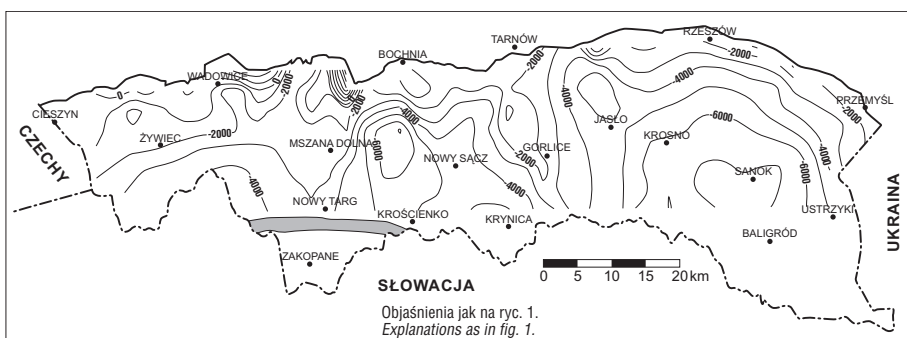
h — założona odległość od punktu węzłowego,
 R — przyjęty współczynnik wygładzania.

Aproksymacja przedstawioną metodą pozwoliła na uzyskanie nieco odmiennego obrazu powierzchni nasunięcia karpackiego (ryc. 4). W części zachodniej, między granicą państwa a Mszaną Dolną oraz w części wschodniej, na E od Jasła obserwujemy podobny układ izolinii, jak w przypadku krigingu liniowego (ryc. 1). W północnej części obszaru zachodniego izolinie są tylko bardziej rozbudowane, powtarzając ostrzejszy przebieg linii nasunięcia karpackiego w tym obszarze. W obszarze wschodnim, podobnie jak dla krigingu liniowego, obszar maksymalnych przegłębienia jest zlokalizowany na południe od Sanoka. Największe różnice w obrazie obserwujemy w części centralnej Karpat między Mszaną Dolną a Jasłem. Pojawia się tutaj wyraźne przegłębienie powierzchni nasunięcia między Krościen-



Ryc. 3. Mapa odchyłek względnych rzeczywistych głębokości powierzchni nasunięcia od wartości kriginu liniowego

Fig. 3. Map of the relative differences between the value of linear kriging and the values of real actual depths of the overthrust surface



Ryc. 4. Mapa głębokości powierzchni nasunięcia karpacciego — funkcja promieniowa; objaśnienia jak na ryc. 1

Fig. 4. Map of depths of Carpathian overthrust surface — radial basic function; explanations as in Fig. 1

kiem i Mszaną Dolną (ryc. 4) oraz jej podniesienie, w postaci wąskiego wału o kierunku NNW–SSE w rejonie Gorlic, a także lokalne obniżenie o podobnym kierunku w rejonie Jasła.

Powierzchniowy obraz odchyłek wartości kriginu liniowego od wartości rzeczywistych (ryc. 2, 3) oraz nowa aproksymacja (ryc. 4) sugerują większą niejednorodność powierzchni nasunięcia niż to wynikało z wcześniejszych jej opisów. Wyraźnie jest widoczny jej podział na trzy różne obszary:

- obszar zachodni między granicą państwa a rejonem Mszany Dolnej,
- obszar środkowy między Mszaną Dolną a Jasłem oraz
- obszar wschodni między Jasłem i wschodnią granicą państwa.

Obszary te kojarzą się z wydzielonymi, w podłożu skonsolidowanym Karpat, przez Ryłkę i Tomasza (2001 — ryc. 16) sektorami o odmiennej tektonice, rozdzielonymi strefami dyslokacyjnymi A–A i B–B. W związku z tym, przeprowadzono analizę powierzchni nasunięcia karpacciego dla każdego z tych sektorów, oddzielnie, tak by układ izolinii w jednym sektorze nie rzutował na drugi sektor. Zbiór głębokości do spągu powierzchni nasunięcia rozdzielono na trzy grupy:

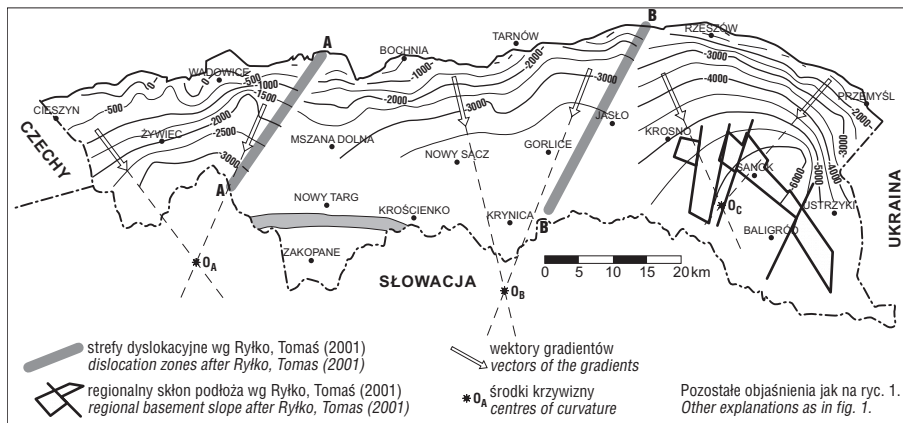
- grupę wartości z obszaru między zachodnią granicą państwa i linią A–A,
- grupę wartości między liniami A–A i B–B oraz
- grupę wartości na wschód od linii B–B.

Dla każdej z tych grup wykonano aproksymację powierzchni nasunięcia metodą kriginu liniowego (ryc. 5). Generalnie obraz izolinii jest zbliżony do obrazu uzyskanego dla całego obszaru przy aproksymacji kriginem

liniowym, lecz widocznych jest wiele różnic. Jedną z istotniejszych jest przesunięcie ku północy izolinii tej samej głębokości między sektorami wzdłuż linii A–A i B–B o ok. 4 km. Przesunięcie to sugeruje, że wzdłuż linii A–A powierzchnia nasunięcia karpacciego ulega gwałtownemu przegłębieniu w sektorze środkowym w stosunku do sektora zachodniego i analogicznie w sektorze wschodnim powierzchnia ta ulega przegłębieniu wzdłuż linii B–B, w stosunku do sektora centralnego. Ten układ przegłębienia powierzchni nasunięcia odpowiada układowi rzutów podłoża skonsolidowanego Karpat w tych sektorach opisanych przez Ryłkę i Tomasza (1999, 2001). W obrębie sektorów zaznacza się teraz wiele lokalnych zaburzeń. W sektorze zachodnim, w jego części wschodniej uwidacznia się dość silne zaburzenie powierzchni, szczególnie wyraźnie zaznaczające się w przebiegu izolinii –2000 m. Z zaburzeniem tym może być związane wysunięcie w rejonie Wadowic ku północy jednostki podśląskiej i strefa rotacji

między Beskidem Małym i nasuniętym płatem płaszczowiny śląskiej Pogórza Lanckorońskiego (Książkiewicz, 1951). W północnej części sektora zachodniego, na zachód od Wadowic undulują izolinie –500 m i 0 m. Undulacje te mogą być wynikiem porozrywania i zdwojenia w tym rejonie mas jednostki podśląskiej. W sektorze centralnym obraz powierzchni nasunięcia jest spokojniejszy. W rejonie Mszany Dolnej obserwujemy rozejście się izolinii –2000 i –3000 m, może to być związane z powstaniem okna tektonicznego Mszany Dolnej. Dalej na wschód jest widoczne ugięcie powierzchni nasunięcia, szczególnie w przebiegu izolinii –3000 m wzdłuż linii Tarnów–Nowy Sącz. Zaburzenie to może być związane z tzw. dyslokacją Dunajca (Książkiewicz, 1972). Najbardziej regularna jest powierzchnia nasunięcia w sektorze wschodnim. Widoczne jest tu tylko jej maksymalne przegłębienie na południe od Sanoka.

Dla każdego z sektorów określono wartości przeciętne i podano kierunki wektorów reprezentatywnych gradientów jej nachylenia (ryc. 5). Przykładowo dla każdego z sektorów podano dwa wybrane wektory gradientów, są to jednak wektory skonstruowane na podstawie szczegółowej analizy wielu wyznaczonych kierunków wektorów gradientów w każdym z sektorów. Można uznać, że są one w pełni reprezentatywne dla kształtu powierzchni nasunięcia w danym sektorze. Dla sektora zachodniego gradienty te wynoszą odpowiednio 214 m/km w jego części zachodniej i 132 m/km w jego części wschodniej. W sektorze środkowym wzdłuż linii Bochnia–Nowy Sącz gradient ten przybiera wartość 230 m/km, a w jego najbardziej wschodniej części 190 m/km. W sektorze zachodnim gradienty nachylenia powierzchni nasunięcia wynoszą odpowiednio 177



Ryc. 5. Sektorowa mapa powierzchni nasunięcia karpackiego
Fig. 5. Map of depths of Carpathian overthrust surface — in the zones

m/km w jego zachodniej części i 410 m/km w części wschodniej. Dla całego obszaru polskiej części Karpat gradient nachylenia powierzchni nasunięcia wynosi 225 m/km. Są to wartości zbliżone do podanych przez Oszczypkę i Tomasia (1985), które wahają się między 60 a 250 m/km. Od podanych wartości gradientów wyraźnie odróżnia się gradient w wschodniej części sektora wschodniego (410 m/km). Jest to związane z dużym nachyleniem powierzchni nasunięcia w kierunku punktu jej maksymalnego przegłębienia na południe od Sanoka.

Interesujące jest położenie punktów przecięcia się kierunków wektorów gradientów O_A , O_B , O_C (ryc. 5) w każdym sektorze. Punkty te reprezentują średnie środki krzywizny powierzchni nasunięcia w każdym z sektorów. W sektorze zachodnim środek krzywizny powierzchni nasunięcia (O_A) jest zlokalizowany na linii dyslokacyjnej A–A skonsolidowanego podłoża Karpat, oddzielającej sektor zachodni od centralnego. Środek krzywizny powierzchni nasunięcia w sektorze centralnym (O_B) jest zlokalizowany na linii dyslokacyjnej B–B. W sektorze wschodnim środek krzywizny (O_C) znajduje się (ryc. 5) w rejonie zerwania regionalnego skłonu podłoża skonsolidowanego (Ryłko & Tomasz, 1999, 2001), rygla Rymanowa (Żytko, 1997, 1999). Ponieważ środek krzywizny powierzchni jest związany z punktem przyłożenia siły ją deformującej można uznać, że działające siły w trakcie nasuwania się Karpat na swoje przedpole miały swoje punkty przyłożenia zlokalizowane na ważnych strefach dyslokacyjnych A–A i B–B skonsolidowanego podłoża Karpat i były genetycznie związane z jego neogeńską przebudową, której model został przedstawiony przez Ryłkę i Tomasia (2001). Można również wysnuć wniosek, że cytowani autorzy nie docenili w pełni roli rygla Rymanowa.

Podsumowanie

Powierzchnia nasunięcia karpackiego jest powierzchnią o regularnym kształcie (ryc. 1, 5) nachyloną w kierunku NNW–SSE. Średni gradient jej nachylenia można ocenić na ok. 225 m/km. Strefa jej maksymalnych przegłębienia, a co za tym idzie maksymalnych miąższości utworów fliszowych znajduje się między Baligrodem a południową granicą państwa osiągając tu prawie 10 km. Strefa ta pokrywa się ze strefą maksymalnego przegłębienia podłoża skonsolidowanego Karpat. Pomimo regularności, na liniach dys-

lokacyjnych A–A i B–B związanych ze skonsolidowanym podłożem następuje jej gwałtowne przegłębienie z zachodu na wschód.

Ze względu na stopień regularności powierzchnia nasunięcia karpackiego dzieli się na trzy sektory. Sektor zachodni znajdujący się między zachodnią granicą państwa i linią dyslokacyjną A–A, gdzie ona jest najbardziej zaburzona, sektor środkowy zawarty między liniami dyslokacyjnymi A–A i B–B, gdzie powierzchnia ta cechuje się średnią nieregularnością oraz sektor wschodni między linią B–B i wschodnią granicą państwa o naj-

bardziej regularnej powierzchni nasunięcia. W obrębie sektorów widoczna jest wyraźna korelacja stopnia nieregularności z miąższością utworów fliszowych, a także, co jest szczególnie istotne, ze zmiennością tektoniczną skonsolidowanego podłoża Karpat.

Środki krzywizny powierzchni nasunięcia wyznaczone dla sektorów układają się na ważnych liniach dyslokacyjnych podłoża skonsolidowanego, liniach A–A, B–B oraz rygla Rymanowa. Takie położenie środków krzywizny pozwala wysnuć wniosek, że również na tych liniach znajdowały się punkty przyłożenia sił deformujących tą powierzchnię w trakcie ruchów nasuwczych.

Reasumując, można wysnuć wniosek, że powierzchnia nasunięcia karpackiego wykazuje silne związki z tektoniką podłoża skonsolidowanego Karpat i formowała się w trakcie jej neogeńskiej przebudowy. Były to procesy prawie równoczesne, proces formowania się powierzchni nasunięcia mógł być tylko nieznacznie późniejszy od procesów przebudowy podłoża skonsolidowanego Karpat opisanych przez Ryłkę i Tomasia (2001) i zachodził w tych samych etapach.

Problematyka poruszana w artykule jest obecnie realizowana w ramach tematu badawczego KBN 6 P04D01421 a przedstawiona praca wykonana została w trakcie jej realizacji.

Literatura

- CARLSON R. E. & FOLEY T. A. 1991 — The Parameter R2 in Multiquadratic Interpolation. *Comput. Math. Applic.*, 21: 29–42.
 KONIOR K. 1981 — Rola miocenu w budowie i tektogenezie brzożnej strefy Karpat obszaru Cieszyn–Wadowice. *Prz. Geol.*, 29: 5–12.
 KSIĄŻKIEWICZ M. 1951 — Objasnienia arkusza Wadowice. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 1–283.
 KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa geologiczna Polski. T. IV. Tektonika, cz. 3. Karpaty. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
 OSZCZYPKO N. & TOMAŚ A. 1985 — Tectonic evolution of marginal part of the Polish Flysch Carpathians in the Middle Miocene. *Kwart. Geol.*, 29: 109–126.
 RYŁKO W. & TOMAŚ A. 1999 — Obraz skonsolidowanego podłoża Karpat polskich w świetle badań magnetotellurycznych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 168: 195–208.
 RYŁKO W. & TOMAŚ A. 2001 — Neogeńska przebudowa podłoża Karpat i jej reperkusje. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 395.
 WDOIARZ S. 1976 — O stosunku Karpat do zapadliska przedkarpackiego w Polsce. *Prz. Geol.*, 24: 350–357.
 ŻYTKO K. 1997 — Electrical conductivity anomaly of the Northern Carpathians and the deep structure of the orogen. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 67: 25–43.
 ŻYTKO K. 1999 — Symetryczny układ późnoalpejskich rysów podłoża północnych Karpat oraz ich przedpola i zagorza: szew orogenu i kratonu. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 168: 165–192.