

Geodynamika i neotektonika polskich Karpat zewnętrznych

Witold Zuchiewicz*

Geodynamics and neotectonics of the Polish Outer Carpathians (southern Poland). *Prz. Geol.*, 49: 710–716.

S u m m a r y. The Polish Outer Carpathians represent a fold-and-thrust belt, composed of a stack of nappes that were finally emplaced during the middle–late Miocene times. The neotectonic (Pliocene–Quaternary) activity of this area is evidenced by: deformed erosional surfaces of Pliocene and early Quaternary age, upwarped/downwarped/tilted strath and complex–response Quaternary terraces, drainage pattern changes, diversified rates of fluvial downcutting in different units during the same time–span, increased accumulation in subsiding intramontane basins and in the westernmost part of the Carpathian Foredeep, few examples of Late Quaternary faulting of fluvial and slope sediments, young jointing within Pliocene molasses in intramontane basins and those of early Quaternary age in the Carpathian foredeep, as well as by historical records of minor seismicity, usually confined to the Pieniny Klippen Belt and some oblique–slip faults that cut the inner parts of the Outer Carpathians, of magnitudes not exceeding 5.0 on the Richter scale. The zones showing tendencies to Recent uplift tend to be aligned subparallel to frontal thrusts of individual nappes and larger slices, suggesting the presence of Plio–Quaternary horizontal stresses in the flysch nappes. En echelon arrangement of these zones, however, slightly different in the western and eastern parts of the study area appears to indicate young sinistral motions along the Kraków–Lubliniec fault in the substratum of the overthrust nappes.

Key words: geodynamics, neotectonics, morphometric methods, Pliocene, Quaternary, Outer Carpathians

Opracowanie podsumowuje wyniki badań nad młodymi (plioceńsko-czwartorzędowymi) ruchami neotektonicznymi w polskim segmencie polskich Karpat zewnętrznych (ryc. 1, 2). Pojęcie „etapu neotektonicznego” jest tutaj traktowane zgodnie z definicją Şengöra i in. (1985) jako „okres czasu, który upłynął od momentu ostatniej wielkoskalowej przebudowy tektonicznej danego obszaru”.

*

Polskie Karpaty zewnętrzne są przykładem pasma fałdowo-nasuwczego, zbudowanego z wielu nasuniętych na siebie płaszczowin o wergencji głównie północnej. Pod nasuniętymi płaszczowinami Karpat zewnętrznych znajdują się utwory platformy europejskiej wieku prekambry–mezozoik, przykryte niezgodnie przez molasy mioceńskie (Oszczypko i in., 1989). Platforma europejska dzieli się na badany obszarze na blok górnośląski na zachodzie oraz blok małopolski na wschodzie, rozdzielone przez strefę uskoku Kraków–Lubliniec, wykazującą ruchy przesuwne od paleozoiku po czwartorzęd (Żaba, 1999).

Główne elementy strukturalne Karpat zewnętrznych zostały uformowane w trzeciorzędzie, kiedy to badany obszar był przymą akrecyjną związaną ze skierowaną ku południowi subdukcją platformy europejskiej pod blok ALCAPA (Tomek & Hall, 1993; Oszczypko, 1998; Fodor i in., 1999). Syndymentacyjne skracanie orogenu miało miejsce począwszy od eocenu w wewnętrznej części płaszczowiny magurskiej po baden–sarmat w jednostce zgłobickiej (Oszczypko, 1998; Świerczewska & Tokarski, 1998; Zoetemeijer i in., 1999 i literatura tam cytowana). Ostatni etap ruchów nasuwczych czoła Karpat zewnętrznych zaznaczył się przypuszczalnie jeszcze po pannonie (Wójcik i in., 1999). Współczesne ruchy nasuwcze wywołujące lokalne wypiętrzenie udokumentowano — jak dotychczas

— jedynie w najbardziej zachodnim, czeskim segmencie zapadliska przedkarpackiego (por. Leichmann & Hejl, 1996).

Przesłanki strukturalne

Subdukcja płyty eurazjatyckiej pod ALCAPĘ wywołała syndymentacyjne ruchy fałdowe i nasuwcze o wergencji NW do NNW (Decker i in., 1999). Etap ten został zastąpiony przez wielkoskalową prawoskrętną rotację regionalnego pola naprężeń (Aleksandrowski, 1985; Decker & Peresson, 1996), względnie lewoskrętną rotację Karpat Zachodnich (Márton i in., 1999), stowarzyszone z nasunięciami pozasekwencyjnymi o wergencji NE i powstaniem uskoku przesuwczych o rozciągłości równoległej do osi fałdów regionalnych (Decker i in., 1999). Wiek poszczególnych etapów deformacji jest przedmiotem wielu kontrowersji. Według cytowanych autorów, różnościowe skrócenie w całym polskim Karpatach zewnętrznych dokonało się w dwóch etapach: dzięki paleoceńsko-wczesnomioceńskiemu nasuwaniu sekwencyjnemu ku N i NNW, a następnie wczesno-późnomioceńskiemu nasuwaniu pozasekwencyjnemu skierowanemu ku NE (Decker i in., 1999).

Postorogeniczny kolaps w późnym miocenie spowodował powstanie wielu zespołów uskoku normalnych (Decker i in., 1997; Cieszkowski i in., 1998; Zuchiewicz i in., 2000). Niektóre z nich zostały uaktywnione ponownie w pliocenie i czwartorzędzie. Dobrym przykładem jest tutaj Kotlina Orawsko–Nowotarska, ograniczona od północy i południa przez równoleżnikowe uskoki normalne o kilkusetmetrowych zrzutach. Uskoki te powstały w późnym miocenie (Pomianowski, 1995), a niektóre z nich ujawniały aktywność w całym pliocenie i czwartorzędzie (Niedzielski, 1971; Birkenmajer, 1978; Baumgart–Kotarba, 1991–1992; Tokarski & Zuchiewicz, 1998), nie wyłączając holocenu (Baumgart–Kotarba, 1996, 2000). Czwartorzędowe uskoki normalne opisywano także z NW obramowania Kotliny Sądeckiej (Tokarski, 1978), Beskidu Żywieckiego (Wójcik, 1989) oraz Dołów Jasielsko–Sanockich (Starkel,

*Instytut Nauk Geologicznych UJ, ul. Oleandry 2A, 30-063 Kraków; e-mail: witold@ing.uj.edu.pl



Ryc. 1. Podział fizjograficzny Karpat polskich i ich przedpola (wg Starkla, 1991)

KON — Kotlina Orawsko-Nowotarska, KS — Kotlina Sądecka, PPS — pieniński pas skałkowy

Fig. 1. Geomorphological subdivision of the Polish Carpathians and their foreland (based on Starkel, 1991)

KON — Orawa-Nowy Targ Basin, KS — Nowy Sącz Basin, PPS — Pieniny Klippen Belt

1976; Gerlach i in., 1985; Zuchiewicz, 1987; Wójcik, 1999).

Można zatem sądzić, że po zakończeniu trzeciorzędowej subdukcji i kolizji rozwój strukturalny polskich Karpat zewnętrznych dokonywał się głównie w reżimie ekstensyjnym. W obrębie kotlin śródgórskich ekstensja ta przetrwała do późnego czwartorzędzie (por. dyskusję w Zuchiewicz i in., 2000).

Przesłanki geomorfologiczne

Tradycyjne studia geomorfologiczne zmierzały do rekonstrukcji długoterminowego rozwoju rzeźby w oparciu o analizę deformacji powierzchni zrównania, zmian układu sieci dolinnej, deformacji teras rzecznych i zróżnicowanej miąższości osadów czwartorzędowych w młodych basenach sedymentacyjnych.

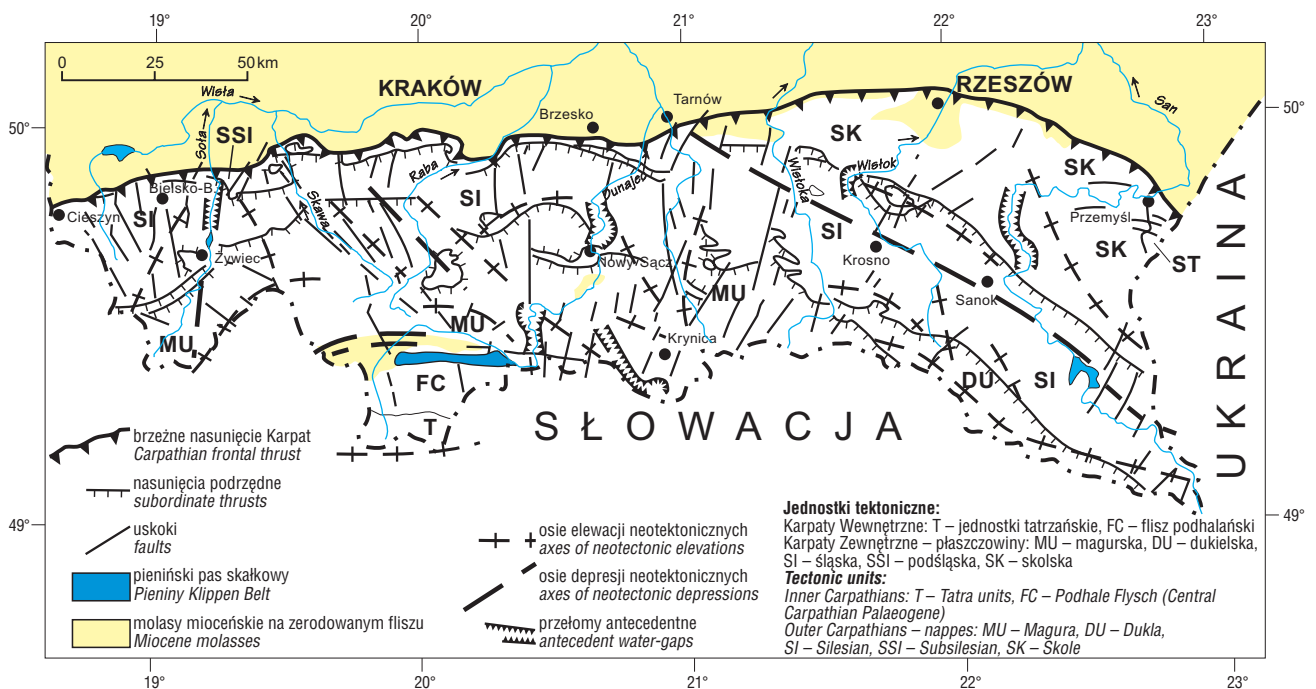
Powierzchnie zrównania a ewolucja morfotektoniczna Karpat zewnętrznych w pliocenie i wczesnym czwartorzędzie

Rozmiary wypiętrzenia środkowego segmentu polskich Karpat zewnętrznych w późnym neogenie i czwartorzędzie, oszacowane na podstawie rozmiarów rozcięcia trzech pliocenich i jednej wczesnoczwartorzędowej powierzchni zrównania (Starkel, 1972), oceniano na 150–900 m (przeciętnie 300 m; por. Zuchiewicz, 1984,

1991). Niemniej jednak, ilość i wiek „powierzchni zrównania” w Karpatach zewnętrznych są zagadnieniem nadal dyskusyjnym, a brak osadów korelatnych stawia pod znakiem zapytania przytaczany w literaturze przedmiotu wiek planacji, a zatem i rozcięcia poszczególnych poziomów. Bardziej wiarygodne są wyniki analiz postorogenicznego wypiętrzenia izostatycznego (Oszczypko, 1996), obliczane na 1 km w Beskidach Zachodnich do 260–360 m na Pogórzu Karpackim dla ostatnich 10 mln lat; więcej wątpliwości budzą szacowane wartości denudacji, oparte na analizach stopnia diagenety, ciekłych inkluzji i kompaktacji utworów fliszowych (por. Kuśmirek, 1990; Kotulova i in., 1998; Hurai i in., 2000; Oszczypko i in., 1993). Rzeczywistą ocenę tempa wypiętrzenia dadzą dopiero oznaczenia trakowe. Ostatnie badania wskazują, że umiarkowane wartości anomalii grawimetrycznych Bouguera przemawiają na korzyść nieizostatycznych procesów odpowiedzialnych za młode wypiętrzenie, szacowane na 250 do 550 m (Zoete-meijer i in., 1999).

Morfologiczne przejawy czwartorzędowej aktywności tektonicznej

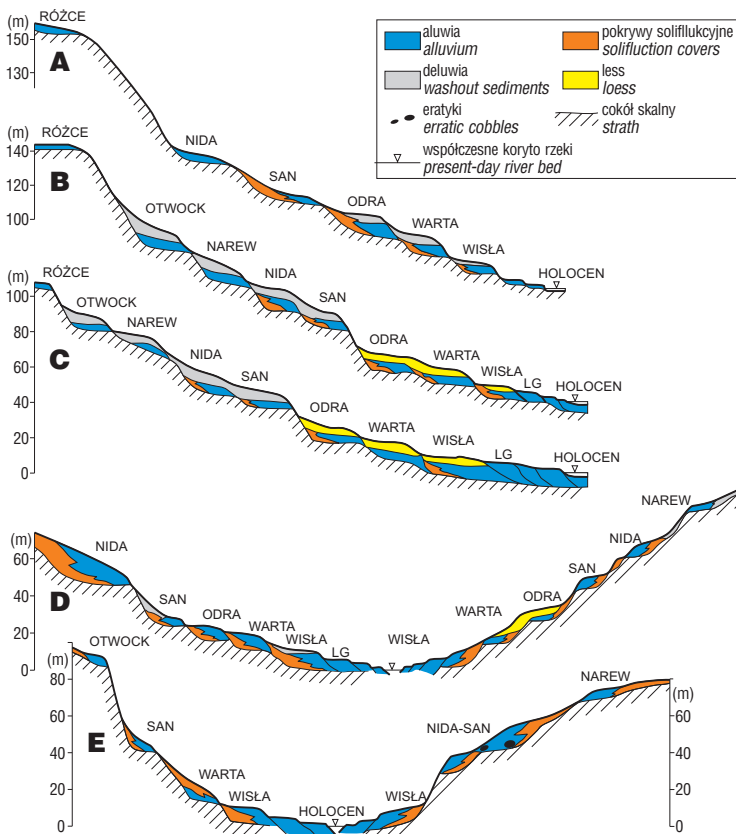
Morfologiczne przejawy aktywności tektonicznej w czwartorzędzie obejmują: zdeformowane profile podłużne cokołów skalnych teras skalno-osadowych głównych rzek polskich Karpat zewnętrznych (Starkel, 1972; Zuchiewicz, 1984, 1998a, b), niekompletne sekwencje aluwii w nie-



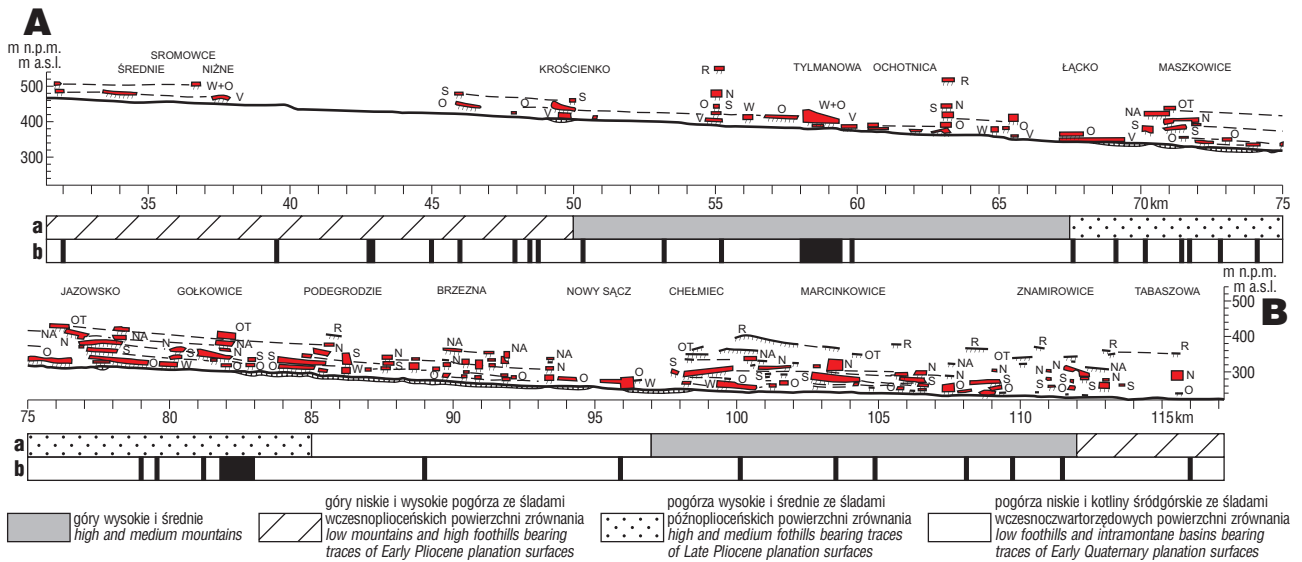
Ryc. 2. Szkic strukturalny Karpat polskich (wg Żytka i in., 1989; Starkla, 1972 i Zuchiewicz, 1991, 1998a)
 Fig. 2. Structural sketch of the Polish Carpathians (based on Żytka i in., 1989; Starkel, 1972, and Zuchiewicz, 1991, 1998a)

których obszarach (Starkel, 1985), wypukłe profile stoków w obszarach elewowanych (Starkel, 1972), zmiany układu sieci rzecznej w strefach ukatynnianych uskoków (Gerlach i in., 1985; Zuchiewicz, 1987), deformacje górno-plejstocenijskich osadów jeziornych w Dołach Jasiel-

sko-Sanockich (Gerlach i in., 1985), czy też przejawy młodej subsydencji (wzmoczona akumulacja aluwów i osadów organogenicznych) w zapadliskach śródgórskich (Baumgart-Kotarba, 1991–1992; Zuchiewicz, 1984). W zachodnim i środkowym segmencie polskich Karpat zew-

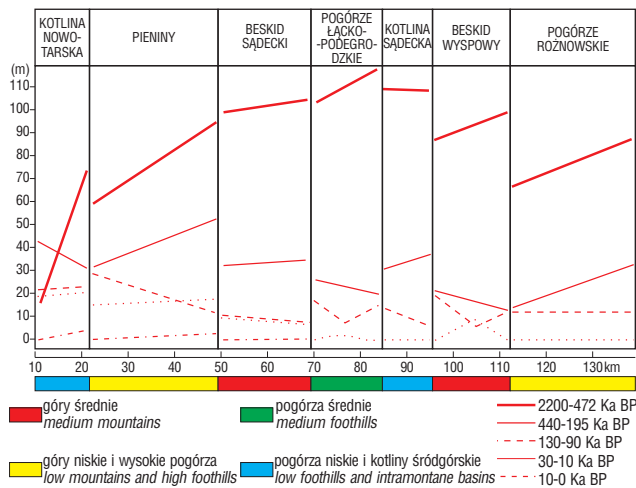


Ryc. 3. Schemat klimatostratigraficzny teras czwartorzędowych w dolinie Dunajca (wg Zuchiewicz, 1998a, b): A — Beskid Sądecki, B — południowa część Beskidu Wyspowego, C — Kotlina Sądecka, D — Pogórze Ciężkowickie, E — Pogórze Wiśnickie
 Fig. 3. Climatostratigraphic subdivision of Quaternary terraces in the Dunajec river valley (after Zuchiewicz, 1998a, b): A — Beskid Sądecki Mts., B — southern part of the Beskid Wyspowy Mts., C — Nowy Sącz Basin, D — Ciężkowice Foothills, E — Wiśnicz Foothills



Ryc. 4. Profil podłużny czwartorzędowych teras doliny Dunajca między Pieninami (A) a Pogorzem Ciężkowickim (B). Jednostki klimatostratygraficzne: R — Różce, OT — otwockie, NA — narwi, N — nidy, S — sanu, O — odry, W — warty, V — wisty; b — strefy dyslokacyjne

Fig. 4. Longitudinal profile of Quaternary terraces in the Dunajec River valley between Pieniny (A) and Ciężkowice Foothills (B). Climatostratigraphic units: R — Różce, OT — Otwock, NA — Narew, N — Nida, S — San, O — Odra, W — Warta, V — Vistulian; b — fault zones



Ryc. 5. Rozmiary rozcięcia erozyjnego cokołów skalnych czwartorzędowych teras w dolinie Dunajca w różnych przekrojach czasowych (wg Zuchiewicza, 1991)

Fig. 5. Size of erosional downcutting into Quaternary straths in the Dunajec River valley (based on Zuchiewicz, 1991)

nętrznych obecność silnie rozciętych erozyjnie struktur jest efektem wypiętrzania pliocenijsko-czwartorzędowego (Starkel, 1972; Zuchiewicz 1995; Zuchiewicz i in., 2000), podczas gdy segment środkowo-wschodni ujawnia silne uwarunkowania litologiczno-odpornościowe.

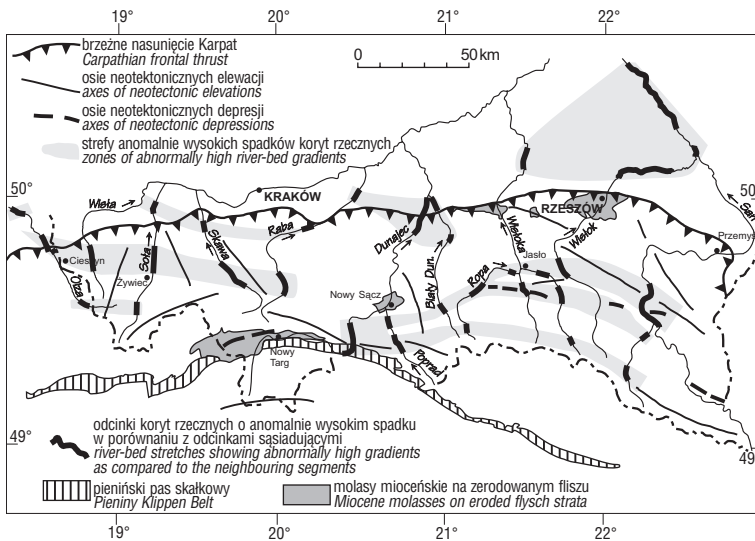
Zbocza dolin głównych rzek polskich Karpat zewnętrznych zawierają 5–9 stopni teras czwartorzędowych (Zuchiewicz, 1984, 1998a, b), w większości skalno-osadowych (ryc. 3). Terasy wistuliańskie i holocenijskie są formami akumulacyjnymi, z wyjątkiem obszarów najsilniej elewowanych, gdzie dominują terasy skalne i skalno-osadowe (Starkel, 1972; Zuchiewicz, 1984, 1987). Analiza deformacji profili podłużnych (ryc. 4) teras rzecznych sugeruje obecność wielu młodych elewacji i depresji o rozciągłości subrównoległej do orientacji głównych nasunięć i fałdów.

Maksymalne rozmiary czwartorzędowego wypiętrzania (do 150 m) stwierdzono w osi Beskidu Sądeckiego, rozciętego przez antecendentne przełomy Dunajca i Popradu (Starkel, 1972; Zuchiewicz, 1984, 1998a). Rozmiary i tempo rozcięcia cokołów teras skalno-osadowych tego samego wieku są różne w różnych jednostkach fizjograficznych (ryc. 5), co implikuje wpływ — oprócz czynnika klimatycznego — młodych, zróżnicowanych ruchów podnoszących (Zuchiewicz, 1998a, b; Zuchiewicz i in., 2000). Epizody wzmoczonego tempa rozcięcia erozyjnego cokołów teras miały miejsce w interwałach: 800–470 ka (0,15–0,21 mm/rok), 130–90 ka (0,18–0,40 mm/rok) oraz 15–0 ka (0,2–2,0 mm/rok; por. Zuchiewicz, 1991). Wartości maksymalne notuje się w segmentach dolin rzecznych rozcinających Beskid Sądecki, Bieszczady oraz północną krawędź Beskidu Niskiego (por. ryc. 2).

Wskaźniki morfometryczne

Analiza wybranych wskaźników morfometrycznych rzeźby (spadki koryt rzecznych, wysokości względne, wskaźnik szerokości dna — wysokości zboczy doliny, wskaźnik bifurkacji, udział dolin 1 rzędu w obrębie sieci dolinnej zlewni, parametry fizjograficzne małych zlewni) pozwala na wnioskowanie o młodych tendencjach tektonicznych (Zuchiewicz, 1987, 1991, 1995), uzupełniając dane uzyskane dzięki klasycznym badaniom geologiczno-geomorfologicznym.

Mapy energii rzeźby wykazują wartości zmieniające się od 50–100 m w obszarze pogórskim do >500 m w obrębie Beskidu Sądeckiego (Zuchiewicz, 1995). Analiza taksonomiczna powiązań między strukturą a typami dolin, grzbietów i nisz osuwisk skalnych w zachodniej części Karpat zewnętrznych wskazuje na młody wiek rzeźby w obszarach niezależnych od budowy geologicznej podłoża (Jakub-ska, 1995).



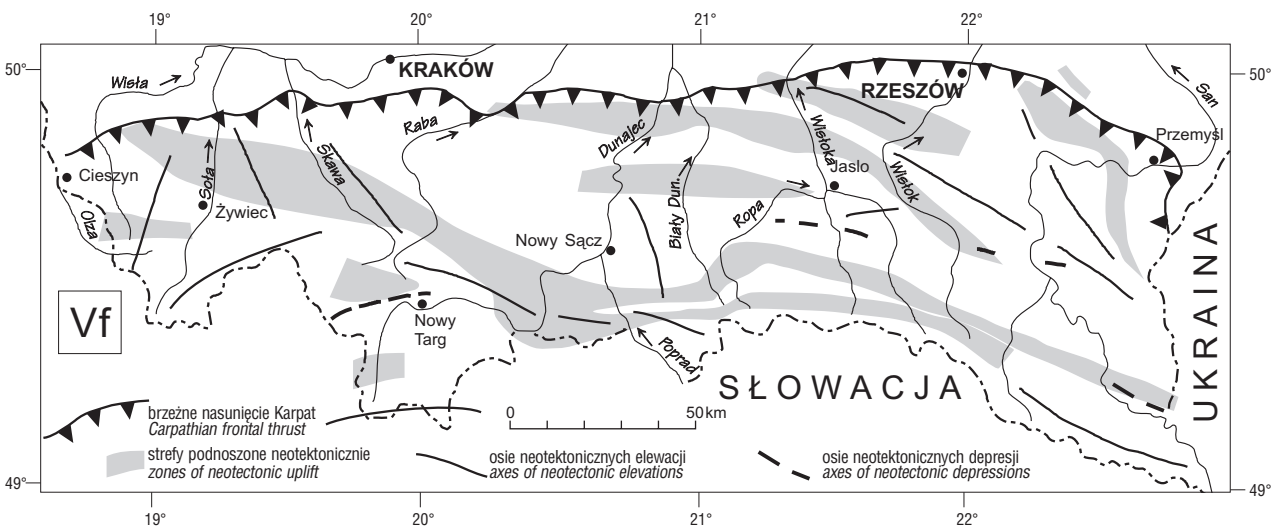
Ryc. 6. Strefy podnoszone neotektonicznie w polskich Karpatach zewnętrznych, wyznaczone na podstawie anomalnie wysokich spadków koryt rzecznych (wg Zuchiewicza, 1998a)

Fig. 6. Zones of neotectonic uplift in the Polish Outer Carpathians distinguished on the basis of anomalously high river-bed gradients (based on Zuchiewicz, 1998a)

Strefy anomalnie wysokich wartości spadków koryt rzecznych (ryc. 6) oraz obniżonych wartości wskaźnika szerokości dna — wysokości zboczy doliny (ryc. 7), sugerujących tendencje wypiętrzające, układają się pod niewielkim kątem względem rozciągłości głównych nasunięć i złuskowanych fałdów Karpat zewnętrznych (Zuchiewicz, 1995, 1998a, b). Dodatkowo, liczba tych struktur wzrasta z zachodu na wschód. We wschodniej części Karpat zewnętrznych niektóre z podnoszonych struktur wkraczają w obręb zapadliska przedkarpacciego, układając się kulisowo względem biegu brzeżnego nasunięcia Karpat, a subrównoległe do orientacji strefy Tesisseyre’a–Tornquista. Niewielka szerokość (15–25 km) i znaczna długość (100–250 km) omawianych struktur oraz ich prawie równoległe ułożenie względem rozciągłości nasunięć pozwoliło na wysunięcie hipotezy (Zuchiewicz, 1995, 1998a, b) o plio-czwartorzędowej roli naprężeń poziomych w obrębie płaszczowin karpaccich.

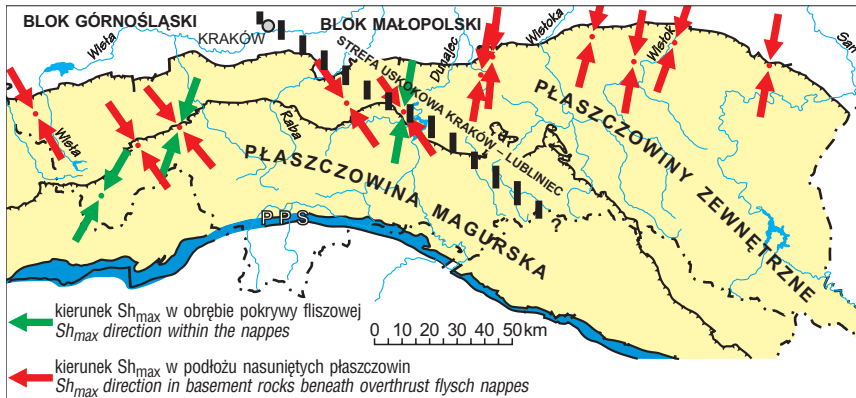
Współczesne pole naprężeń

Analiza struktur *break-outs* w otworach wiertniczych ujawnia dwupiętrowy układ współczesnego pola naprężeń w obrębie Karpat polskich (Jarosiński, 1998, 1999). Pod nasuniętymi płaszczowinami fliszowymi osie maksymalnej kompresji poziomej układają się radialnie i prostopadle do rozciągłości orogenu, w obrębie płaszczowin natomiast przybierają one orientację NNE (ryc. 8). W ujęciu Jarosińskiego (1999), głównym czynnikiem odpowiedzialnym za NNE orientację Sh_{max} w obrębie płaszczowin karpaccich oraz w skałach budujących masyw małopolski jest ruch ALCAPY ku N i NNE, natomiast NW orientacja Sh_{max} w obrębie masywu górnośląskiego pod nasuniętymi Karpatami wynika głównie z nacisku (*ridge-push*) grzbietu śródatlantyckiego. Współczesne naprężenia tektoniczne w łuku karpaccim warunkują także pole naprężeń w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej do odległości ok. 700 km od czoła Karpat (Jarosiński, op. cit.).



Ryc. 7. Strefy podnoszone neotektonicznie w polskich Karpatach zewnętrznych, wyznaczone na podstawie anomalnie niskich wartości wskaźnika szerokości dna — wysokości zboczy doliny Vf (wg Zuchiewicza, 1998a, b); $Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$, gdzie: Vfw — szerokość dna doliny, Eld, Erd i Esc — wysokości, odpowiednio, lewego i prawego zbocza oraz dna doliny

Fig. 7. Zones of neotectonic uplift in the Polish Outer Carpathians distinguished on the basis of anomalously low values of the valley floor width–valley height ratio (based on Zuchiewicz, 1998a, b); $Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$, where: Vfw = the width of the valley floor; Eld, Erd, Esc = the elevations of the left and right valley divides, and the stream, respectively



Ryc. 8. Schemat pokazujący rozmieszczenie kierunków współczesnej kompresji poziomej w polskich Karpatach zewnętrznych, uzyskany dzięki analizie struktur *break-outs* (wg Jarosińskiego, 1998 oraz Zuchewicza i in., 2000). Strzałki czerwone wskazują kierunki Sh_{max} w podłożu nasuniętych płaszczowin; strzałki zielone reprezentują kierunki Sh_{max} obrzebie pokrywy fliszowej

Fig. 8. Orientation of recent horizontal compression in the Polish Outer Carpathians obtained from *break-out* studies (based on Jarosiński, 1998, and Zuchewicz i in., 2000). Red arrows indicate Sh_{max} in basement rocks beneath overthrust flysch nappes; green arrows represent Sh_{max} within the nappes

Prędkości współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej w polskich Karpatach zewnętrznych wynoszą od ok. 0 mm/rok w części zachodniej i środkowej do +1 mm/rok w części wschodniej (Wyrzykowski, 1985). Tempo współczesnych ruchów poziomych w rejonie pienińskiego pasa skałkowego nie przekracza 0,5 mm/rok (Ząbek, i in. 1993). Pomiarzy GPS wskazują na NNE kierunek ruchów poziomych na całym badanym obszarze (Hefty, 1998).

Współczesna sejsmiczność koncentruje się wzdłuż południowego obramowania pienińskiego pasa skałkowego oraz wzdłuż niektórych uskokuw przesuwczych (Prochazková i in., 1978; Baumgart-Kotarba & Hojny-Kołoś, 1998). Magnitudy wstrząsów nie przekraczają 5 w skali Richtera, a najczęściej wynoszą 2,5–3,4 (Pagaczewski, 1972; Prochazková i in., 1978; Guterch, 1997). Analizy mechanizmu ogniska, aczkolwiek niejednoznaczne, są dostępne jedynie dla wstrząsów z lat 1992 i 1993 w rejonie Krynicy. Głębokość hipocentrum nie przekraczała 5 km (Dębski i in., 1997), a mechanizm ogniska sugeruje albo reżim kompresyjny o σ_1 zorientowanej NNW (Wiejacz, 1994), względnie przesuwczy (σ_1 o przebiegu południkowym) oraz ekstensyjny (Dębski i in., 1997).

Wnioski

Plioceno-czwartorzędowa mobilność tektoniczna polskich Karpat zewnętrznych była stosunkowo słaba i miała głównie charakter naskórkowy (*thin-skinned*). Uskoki normalne powstawały na obramowaniu zapadlisk śródgórskich oraz w zachodniej części orogenu. Tempo podnoszenia poszczególnych struktur było zróżnicowane w czasie i przestrzeni, a jego rozmiary były największe w późnym pliocenie i wczesnym plejstocenie. Dedukowane z przesłanek geomorfologicznych strefy ruchów pod-

noszących są stosunkowo wąskie i układają się subrównolegle do orientacji głównych nasunięć oraz złusko- wanych fałdów, co sugeruje postramianie czoł nasunięć na skutek nacisków poziomych w obrębie płaszczowin karpackich. Taką hipotezę zdają się potwierdzać wyniki analiz współczesnego pola naprężeń oraz wstępne wyniki powtarzanych kampanii GPS. Kulisowy układ omawianych stref, nieco odmienny w zachodnim i wschodnim segmencie Karpat zewnętrznych, może także sugerować młode ruchy lewoprzesuwcze wzdłuż strefy uskokuwej Kraków–Lubliniec. Teza ta wymaga jednak szczegółowego przetestowania.

Literatura

- ALEKSANDROWSKI P. 1985 — Interference fold structure of the Western Flysch Carpathians in Poland. Proc. Reports, XIIIth Congress Carpatho-Balkan Geol. Assoc., Cracow, Poland. Geol. Inst., Pt. I: 159–162.
- BAUMGART-KOTARBA M. 1991–1992 — Rozwój geomorfologicznej Kotliny Orawskiej w warunkach ruchów neotektonicznych. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 25–26: 3–28.
- BAUMGART-KOTARBA M. 1996 — On origin and age of the Orawa Basin, West Carpathians. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 30: 101–116.
- BAUMGART-KOTARBA M. 2000 — Tectonique quaternaire de la dépression d'Orava (Carpatés occidentales). Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1: 61–68.
- BAUMGART-KOTARBA M. & HOJNY-KOŁOŚ M. 1998 — Relacja czwartorzędowego zapadliska Wróblówki do neogeńskiego zapadliska orawskiego w świetle badań geomorfologicznych i trzęsienia ziemi z dnia 11 września 1995 r. Spraw. Czynn. Pos. PAU, 61 (1997): 102–106.
- BIRKENMAJER K. 1978 — Neogene to Early Pleistocene subsidence close to the Pieniny Klippen Belt, Polish Carpathians. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 12: 17–28.
- CIESZKOWSKI M., ZUCHIEWICZ W. & SCHNABEL W. 1998 — Sedimentological and tectonic features of the Poprad Sandstone Member, Eocene, Magura Nappe: case study of the Klikuszowa quarry, Outer West Carpathians, Poland. Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci., 46: 55–74.
- DECKER K., NESCIERUK P., REITER F., RUBINKIEWICZ J., RYŁKO W. & TOKARSKI A. K. 1997 — Heteroaxial shortening, strike-slip faulting and displacement transfer in the Polish Carpathians. Prz. Geol., 45: 1070–1071.
- DECKER K. & PERESSON R. 1996 — Tertiary kinematics in the Alpine Carpathian-Pannonian system: links between thrusting, transform faulting and crustal extension. [W:] G. Wessely & W. Liebl (Eds.), Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe. EAGE London, Spec. Publ., 5: 69–77.
- DECKER K., TOKARSKI A. K., JANKOWSKI L., KOPCIOWSKI R., NESCIERUK P., RAUCH M., REITER F. & ŚWIERCZEWSKA A. 1999 — Structural development of Polish segment of the Outer Carpathians (eastern part). [W:] K. Decker i in. (Eds.), 5th Carpathian Tectonic Workshop — Poprad — Szymbark, 5–9th June, 1999, Kraków: 26–29.
- DĘBSKI W., GUTERCH B., LEWANDOWSKA H. & LABAK P. 1997 — Earthquake sequences in the Krynica region, Western Carpathians, 1992–1993. Acta Geophys. Pol., 45: 255–290.
- FODOR L., CSONTOS L., BADA G., GYÖRFI I. & BENKOVICS L. 1999 — Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. [W:] B.

- Durand, L. Jolivet, F. Horvath & M. Seranne (Eds.), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 156: 295–334.
- GERLACH T., KOSZARSKI L. & KOSZARSKI A. 1985 — Stop 23. Łężany–Jabłonica–Niebylec–Krasna–Węglówka. Selected problems of geomorphology and Quaternary along the Dukla Pass–Rzeszów transect. [W:] D. Poprawa (Ed.), Guide to Excursion 5, XIII Congress, Carpatho-Balkan Geol. Assoc., Cracow, Poland 1985. Geol. Inst., Kraków: 96–110.
- GUTERCH B. 1997 — Western Carpathian seismic events recorded in Poland. *Prz. Geol.*, 45: 1075–1076.
- HEFTY J. 1998 — Estimation of site velocities from CEGRN GPS campaigns referred to CERGOP reference frame. *Publ. Warsaw Tech. Univ., Inst. Geod. Geodetic Astron.*, 39: 67–79.
- HURAI V., ŚWIERCZEWSKA A., MARKO F., TOKARSKI A. K. & HRUŠECKÝ I. 2000 — Paleofluid temperatures and pressures in Tertiary accretionary prism of the Western Carpathians. *Slovak Geol. Mag.*, 6: 194–197.
- JAKUBSKA O. 1995 — Tectonic features of young structural relief of the Western Carpathians, South Poland. *Folia Quaternaria*, 66: 123–130.
- JAROSIŃSKI M. 1998 — Contemporary stress field distortion in the Polish part of the Western Outer Carpathians and their basement. *Tectonophysics*, 297: 91–119.
- JAROSIŃSKI M. 1999 — Badania współczesnych naprężeń skorupy ziemskiej w głębokich otworach wiertniczych w Polsce metodą analizy struktur *breakouts*. *Instr. Met. Bad. Geol.*, 56: 1–147.
- KOTULOVÁ J., BIRÓN A. & SOTAK J. 1998 — Organic and illite-smectite diagenesis of the Central Carpathians Paleogene bas. [W:] implications for thermal history. Abstracts, XVI Congress, Carpatho-Balkan Geol. Assoc., Vienna, Aug. 30th–Sept. 2nd, 1998, Vienna: 293.
- KUŚMIEREK J. 1990 — Zarys geodynamiki centralnokarpackiego basenu naftowego. *Pr. Kom. Geol. Komitetu Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, 135: 1–85.
- LEICHMANN J. & HEJL E. 1996 — Quaternary tectonics at the eastern border of the Bohemian massif: new outcrop evidence. *Geol. Mag.*, 133: 103–105.
- MÁRTON E., TOKARSKI A. K. & Galicia T. Group. 1999 — Northward migration of north ALCAPA boundary during Tertiary accretion of the Outer Carpathians — paleomagnetic approach. *Romanian J. Tect. Reg. Geol.* 77, Suppl. 1: 22.
- NIEDZIELSKI H., 1971. Tektoniczne pochodzenie wschodniej części Kotliny Nowotarskiej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41: 397–408.
- OSZCZYPKO N. 1996 — Miocenska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 44: 1007–1018.
- OSZCZYPKO N. 1998 — The Western Carpathian Foredeep — development of the foreland basin in front of the accretionary wedge and its burial history (Poland). *Geol. Carpath.*, 49: 415–431.
- OSZCZYPKO N., TOMAŚ A. & ZUCHIEWICZ W. 1993 — Rola kompaktacji w ocenie mobilności neotektonicznej pogórzy karpackich. *Prz. Geol.*, 41: 411–416.
- OSZCZYPKO N., ZAJĄC R., GARLICKA I., MENČIK E., DVORAK J. & MATEJOVSKA O. 1989 — Geological map of the substratum of the Tertiary of the Western Outer Carpathians and their foreland, 1: 500 000. [W:] D. Poprawa & J. Nemčok (Eds.), *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- PAGACZEWSKI J. 1972 — Catalogue of earthquakes in Poland in 1000–1970 years. *Mater. Pr. Inst. Geofiz. PAN*, 51: 3–36.
- POMIANOWSKI P. 1995 — Budowa depresji orawskiej w świetle analizy wybranych materiałów geofizycznych. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 64: 67–80.
- PROCHAZKOVÁ D., BROUČEK I., GUTERCH B. & LEWANDOWSKA-MARCINIĄK H. 1978 — Map and list of the maximum observed macroseismic intensities in Czechoslovakia and Poland. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, B–3 (122): 1–75.
- STARKEL L. 1972 — Karpaty zewnętrzne. W: M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*, T. I. PWN, Warszawa: 52–115.
- STARKEL L. 1976 — Zagadnienie młodych ruchów tektonicznych w świetle przeglądowej mapy geomorfologicznej Polski. *Mater. I Kraj. Symp. „Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce”*, T. II: 127–133, Wyd. Geol.
- STARKEL L. 1985 — Controversial opinions on the role of tectonic movements and climatic changes in the Quaternary evolution of the Polish Carpathians. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 19: 45–60.
- STARKEL L. 1991 — Rzeźba terenu. [W:] I. Dynowska & M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły. Część I*. PWN, Warszawa–Kraków: 42–54.
- ŚWIERCZEWSKA A. & TOKARSKI A. K. 1998 — Deformation bands and the history of folding in the Magura nappe, Western Outer Carpathians (Poland). *Tectonophysics*, 297: 73–90.
- ŞENGÖR C. M. A., GÖRÜR N. & ŞAROĞLU F. 1985 — Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 37: 227–264.
- TOKARSKI A. K. 1978 — O czwartorzędowym ciosie i uskoku w Kotlinie Sądeckiej, Zachodnie Karpaty Zewnętrzne. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 48: 509–516.
- TOKARSKI A. K. & ZUCHIEWICZ W. 1998 — Popękane klasty w stożku Domańskiego Wierchu: przyczynek do rekonstrukcji ewolucji pola naprężeń w rejonie Kotliny Orawskiej (Karpaty) podczas neogenu i czwartorzęd. *Prz. Geol.*, 46: 62–66.
- TOMEK Č. & HALL J. 1993 — Subducted continental margin imaged in the Carpathians of Czechoslovakia. *Geology*, 21: 535–538.
- WIEJACZ P. 1994 — An attempt to determine tectonic stress pattern in Poland. *Acta Geophys. Pol.*, 42: 169–176.
- WÓJCIK A. 1989 — Systemy teras rzecznych dorzecza Koszarawy w Beskidzie Żywieckim i ich związek z ruchami tektonicznymi. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 22: 21–45.
- WÓJCIK A. 1999 — Tektoniczne deformacje utworów glacialnych i limnoglacialnych Karpat (Pogórze Dynowskie). *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 55: 113–115.
- WÓJCIK A., SZYDŁO A., MARCINIEC P. & NESCIERUK P. 1999 — The folded Miocene of the Andrychów region. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 387: 191–195.
- WYRZYKOWSKI T. 1985 — Map of recent vertical crustal movements on the territory of Poland. *Inst. Geod. Kartogr.*, Warszawa.
- ZĄBEK Z., BARLIK M., KNAP T., MARGAŃSKI S. & PACHUTA A. 1993 — Continuation of geodynamic investigations in the Pieniny Klippen Belt, Poland, from 1985 to 1990. *Acta Geophys. Pol.*, 41: 131–150.
- ZOETEMEIJER R., TOMEK Č. & CLOETINGH S. 1999 — Flexural expression of European continental lithosphere under the western outer Carpathians. *Tectonics*, 18: 843–861.
- ZUCHIEWICZ W. 1984 — The Late Neogene–Quaternary tectonic mobility of the Polish West Carpathians. A case study of the Dunajec drainage basin. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 54: 133–189.
- ZUCHIEWICZ W. 1987 — Evolution of the eastern Beskid Niski Mts. and morphotectonics of the Polish Carpathians. *Z. Nauk. AGH, Geologia*, 13: 3–167.
- ZUCHIEWICZ W. 1991 — On different approaches to neotectonics: A Polish Carpathians example. *Episodes*, 14: 116–124.
- ZUCHIEWICZ W. 1995 — Selected aspects of neotectonics of the Polish Carpathians. *Folia Quaternaria*, 66: 145–204.
- ZUCHIEWICZ W. 1998a — Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297: 121–132.
- ZUCHIEWICZ W. 1998b — Structural geomorphological studies in the Polish Carpathians. A review. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 32: 31–45.
- ZUCHIEWICZ W., TOKARSKI A. K., JAROSIŃSKI M. & MÁRTON E. 2000 — Late Miocene to Recent structural development of the Polish segment of the Outer Carpathians in the light of structural, geomorphic, break-out and palaeomagnetic data. *Reports on Geodesy*, 53: 107–121.
- ŻABA J. 1999 — The structural evolution of Lower Palaeozoic succession in the Upper Silesia Block and Małopolska Block border zone (Southern Poland). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 166: 1–162.
- ŻYTKO K., ZAJĄC R., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., GARLICKA I., NEMČOK J., ELIAŚ M., MENČIK E., STRANIK Z. 1989 — Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their foreland 1: 500 000. [W:] D. Poprawa & J. Nemčok (Eds.), *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.