

Morfotektonika uskoku rzeki Lo w rejonie Tam Dao (północny Wietnam): próba prognozy sejsmicznej

Nguyen Quoc Cuong*, ***, Witold Zuchiewicz**, ***

Morphotectonics of the Lo River fault near Tam Dao (northern Vietnam): an attempt at seismic prognosis. Prz. Geol., 49: 885–893.

Summary. The Lo River Fault near Tam Dao, northern Vietnam, is a young right-lateral normal fault that has been active throughout the Quaternary. The rates of dextral slip range from 1 to 2 mm/yr, whereas those of uplift can be estimated roughly at 0.1–1 mm/yr. The drainage deflection and arrangement of shutter ridges suggest 1.5–2.0 km of dextral offset during the past 1–2 m.y., and the height of the youngest faceted spurs averages at 170 m. The analysis of morphometric parameters of the mountain front at Tam Dao indicates that this segment shows properties typical for nearly rectilinear, young normal scarps that belong to class I or II of relative tectonic activity and that are capable of generating potentially strong earthquakes in the future.

Key words: morphotectonics, morphometric indices, Red River Fault Zone, Lo River Fault, Vietnam

Artykuł omawia wstępne wyniki badań morfotektonicznych prowadzonych w ramach współpracy wietnamsko-polskiej przez Narodowe Centrum Badań Naukowych i Technologii w Hanoi, a także Instytuty Nauk Geologicznych PAN i UJ oraz Galicia T. Group, a zapoczątkowanej w 1999 roku (por. Cuong i in., 1999a).

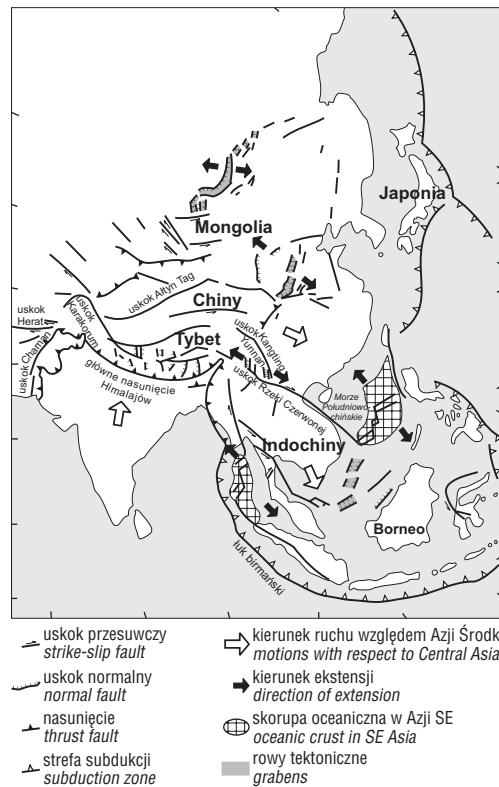
Strefa uskoku Rzeki Czerwonej (SURC) w chińskiej prowincji Junan oraz północnym Wietnamie jest jednym z głównych uskokuw przesuwczych w Azji SE, oddzielając bloki południowochiński oraz indochiński (ryc. 1, 2). Dotychczasowe badania wykazują, że uskok ten reprezentuje wielkoskalową strefę ścinania, powstałą w dwóch fazach: (1) w trakcie lewoprzesuwczego ścinania w warunkach podatnych w okresie 27–16 Ma (z kulminacją w okresie 21–16 Ma, zastąpione następnie przez wypiętrzenie i ekshumację skał skorupy z głębokości ok. 20–25 km) oraz (2) podczas prawoprzesuwczego ścinania w warunkach kruchych, począwszy od ok. 5,5 Ma (por. Allen i in., 1984; Tapponnier i in., 1990; Lacassin i in., 1993; Leloup i in., 1995 i literatura tam cytowana). Ostatnie oznaczenia trakowe sugerują jednak, że główny etap deformacji podatnej w SURC zakończył się już 25 Ma (Anczkiewicz i in., 2000). Skalę przemieszczenia lewoprzesuwczego szacowano na 550–900 km (Leloup i in., 1995), a prawoprzesuwczego — od 5,5 km do 20–30 km (Allen i in., 1984; Trinh, 1995).

SURC w północnym Wietnamie dzieli się na trzy odgałęzienia, o długości 300 km i orientacji NW–SE, zwane (od SW ku NE) uskoki: rzeki Czerwonej (Song Hong), rzeki Chay (Song Chay) oraz rzeki Lo (Song Lo; ryc. 3, 5, 6). Są to uskoki prawoprzesuwcze i prawoprzesuwczo-normalne, wykazujące wzrastającą ku SE rolę składowej normalnej (Trinh, 1995). Między uskokiemi rzeki Lo i Chay notuje się także obecność współcześnie rosnących antyklin o orientacji WNW–ESE oraz W–E (Lacassin i in., 1994).

Zarówno w prowincji Junan, jak też w wietnamskim segmencie SURC nie zanotowano wstrząsów o $M > 5,5$

(ryc. 4; por. także Allen i in., 1984; Lap, 1989, 1991). Może to wskazywać na długi okres powtarzalności silnych wstrząsów w omawianej strefie (Allen i in., 1984), współczesne „zaczopowanie” (*locking*) uskoku na głębokości 5–20 km (Cong & Feigl, 1999), względnie przewagę mechanizmu pełnienia uskoku w płicenie i czwartorzędzie (Cuong i in., 1999b).

Przeprowadzone dotychczas analizy wskaźników kinematycznych w odsłonięciach zlepieńców neogennych w SW skrzydle uskoku rzeki Lo (Cuong i in., 1999b) wskazują, że drobne struktury tektoniczne o charakterze kruchym powstały w trakcie kilku faz deformacji, na przemian ekstensyjnych i kompresyjnych, z których ostatnia jest zbieżna z prawoprzesuwczym charakterem ruchu strefy uskoku. Ponadto, brak spękanych klastów w parzalepieniach czwartorzędowych (w odróżnieniu od powszech-



Ryc. 1. Szkic tektoniczny Azji SE (wg Tapponnier i in., 1982)
Fig. 1. Tectonic sketch of SE Asia (based on Tapponnier et al., 1982)

*Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Ośrodek Badawczy w Krakowie, ul. Senacka 1, 30-002 Kraków; National Center for Science and Technology, Hanoi, Vietnam, e-mail: nquong_pl@yahoo.com

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

***Galicia T. Group

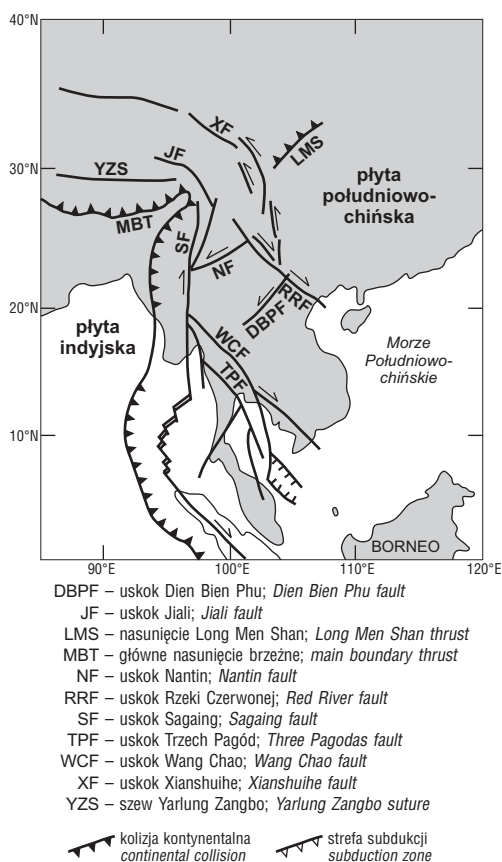
nie spękanych klastów w zlepieńcach neogeńskich) w całej SURC sugeruje przewagę pełznięcia uskokowego (*fault creep*) w najmlodszej etapie rozwoju tego obszaru.

Celem badań była analiza morfotektonicznych przesłanek ruchu prawoprzesuwczego-normalnego w SE segmencie SURC, ze szczególnym uwzględnieniem spektakularnej skarpy Tam Dao (por. ryc. 6). Badania terenowe zostały uzupełnione przez studia teledetekcyjne i kartometryczne.

Sytuacja morfotektoniczna

Cechy morfotektoniczne SURC w prowincji Junan zostały opisane szczegółowo przez Allena i in. (1984), a ostatnio przez Weldona i in. (1994), podczas gdy dla segmentu wietnamskiego dysponujemy jedynie kilkoma pracami przeglądowymi i niepublikowanymi ekspertyzami (m.in. Winter & Costaz, 1993; Lacassin i in., 1994; Trinh i in., 1993; Trinh, 1995; Cuong i in., 1999b).

Wskaźniki ruchu prawoprzesuwczego (ryc. 5–8), szczególnie dobrze widoczne wzdłuż niektórych segmentów uskoków rzek Chay (na północ od Yen Bai) i Czerwonej (na południe od Lao Cai, Cam Duong, Trai Hut) obejmują: defleksję sieci drenażu (od 10–50 m do 2500 m), obecność dolin ogłowionych (*beheaded streams*) i grzbietów zagradzających (*shutter ridges*), kulisowo ułożone drobne skarpy uskokowe i pseudouskokowe, przemieszczone tarasy i stożki napływowe, prostolinijne doliny uskokowe oraz prostolinijne, długie skarpy o deniwelacjach nie przekraczających 30–50 m (Cuong i in., 1999b).



Ryc. 2. Układ aktywnych uskoków w Azji SE (wg Huchon i in., 1994)

Fig. 2. Pattern of active faults in SE Asia (based on Huchon et al., 1994)

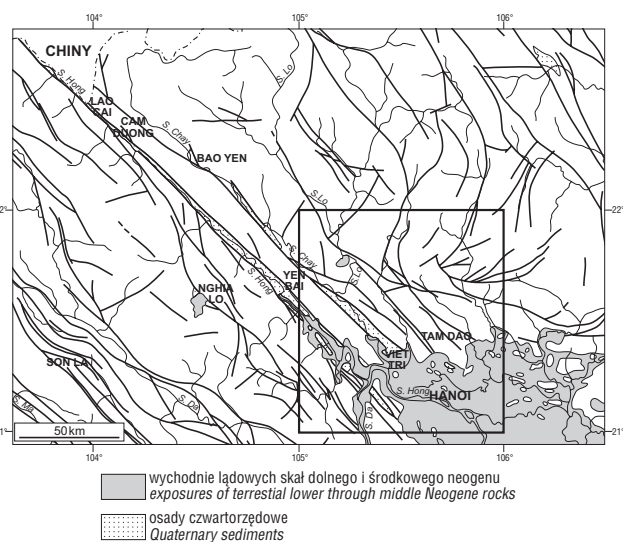
Rozmiary przemieszczenia prawoprzesuwczego, oszacowane na podstawie defleksji sieci drenażu, przedstawiają ryc. 5 i 8.

Do morfotektonicznych wskaźników ruchu normalnego w SE odcinkach uskoków rzek Czerwonej, Chay oraz Lo należą natomiast: dobrze wykształcone trójkątne lica progów uskokowych (*triangular facets*), powszechnie obserwowane doliny zawieszane o charakterze dolin klepsydrowych (*hourglass valleys*) oraz prostolinijne skarpy u podnóża masywów górskich, którym często towarzyszą półrowy tektoniczne, niewielkie zręby oraz grzbiety z wyciskania (*pressure ridges*; por. Cuong i in., 1999b). Najbardziej spektakularnym przykładem jest fragment uskoku rzeki Lo w rejonie masywu Tam Dao (ryc. 7).

Uskok rzeki Lo dzieli się na badanym obszarze na trzy kulisowo ułożone segmenty (ryc. 5) o orientacji NW–SE, wykazujące zróżnicowane wartości dekstralnego przemieszczenia sieci drenażu. Są to, od NW, segmenty: Thac Dal–Nac Yem, Lang The–Tuyen Quang oraz Tam Dao (Winter & Costaz, 1993).

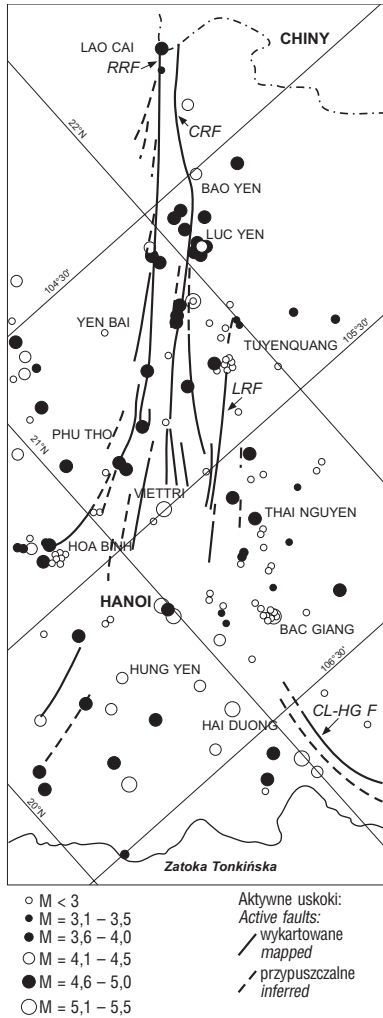
Skarpa Tam Dao: normalno-prawoprzesuwczy segment uskoku rzeki Lo

Obszar wybrany do badań szczegółowych obejmuje czoło masywu górskiego Tam Dao, wznoszącego się 1200–1300 m n.p.m., a zbudowanego ze środkowotriasowych (anizyjskich) ryolitów i porfirów ryolitowych. Masyw ten jest obcięty od SW przez uskok rzeki Lo, obramowujący wąski rów tektoniczny wypełniony górnotriasowymi skałami suity Van Lang, złożonymi z łupków, piaskowców i zlepieńców z wkładkami wapieni, a przykrytych niezgodnie przez cienką pokrywę czwartorzędowych osadów rzecznych i proluwialnych (ryc. 6). Dalej ku SW występuje zrąb zbudowany ze środkowokambryjskich fyl-



Ryc. 3. Szkic tektoniczny wietnamskiego segmentu strefy uskoku Rzeki Czerwonej (SURC) wg Tri i in. (1973; uproszczony). Ramka wyznacza obszar przedstawiony na ryc. 6

Fig. 3. Tectonic sketch of the Red River Fault Zone (RRFZ), based on Tri et al. (1973; simplified). The area shown in Fig. 6 is boxed



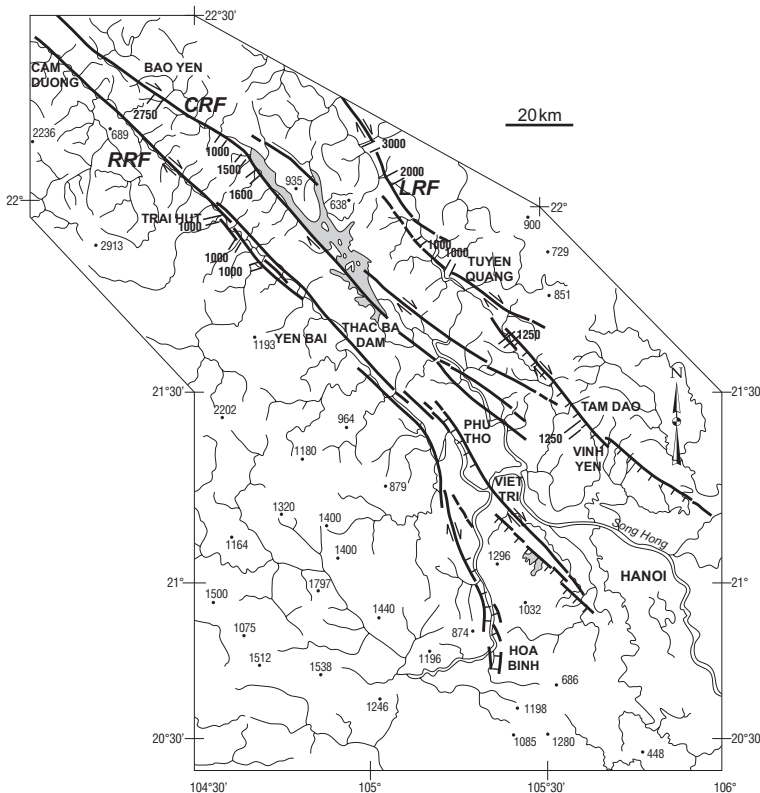
Ryc. 4. Przejawy historycznej sejsmiczności SURC w północnym Wietnamie. RRF 1 uskoku Rzeki Czerwonej, CRF — uskoku rzeki Chay, LRF — uskoku rzeki Lo, CL-HGF — uskoku Chi Linh–Hong Gai

Fig. 4. The pattern of historic seismicity in RRFZ in northern Vietnam. RRF — Red River Fault, CRF — Chay River Fault, LRF — Lo River Fault, CL-HGF — Chi Linh–Hong Gai Fault

litów, kwarcytów oraz wapieni oolitowych formacji Hagiang (Tri, 1973; Tri i in., 1979).

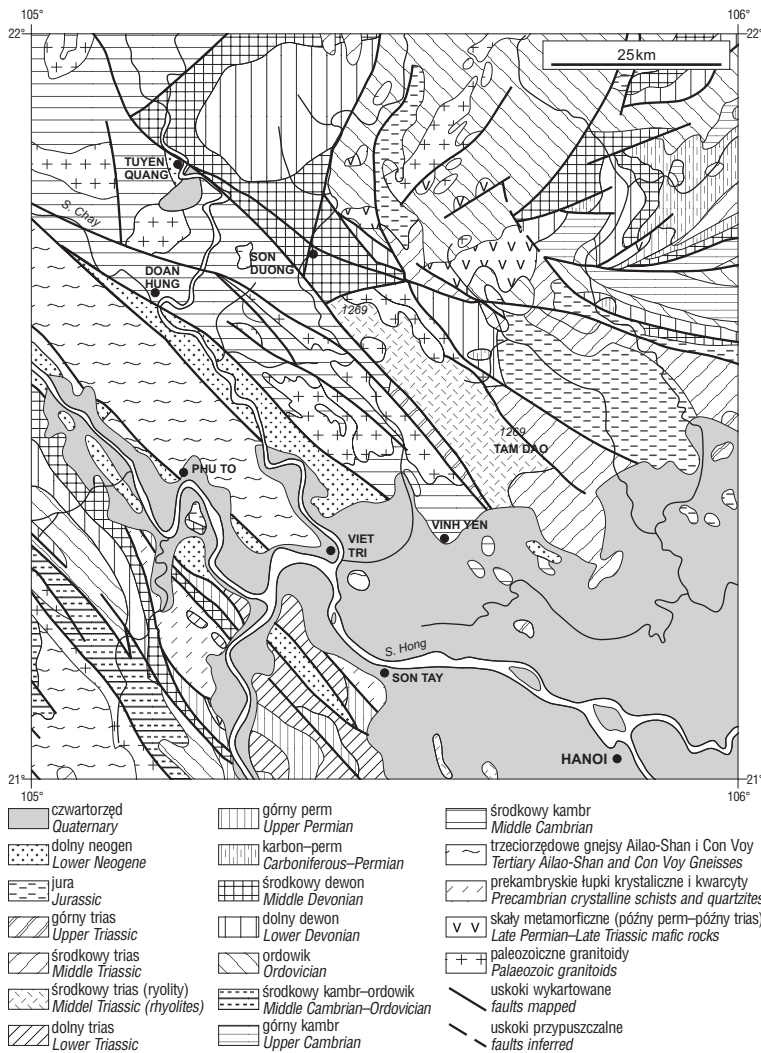
Orientacja skarpy Tam Dao zmienia się od $N42^{\circ}W$ do $N29^{\circ}W$, a jej długość w pobliżu Tam Dao sięga 20 km. Analizowano trzy segmenty skarpy o nieco odmiennej orientacji (ryc. 9). Skarpa wznosi się od 1200 m do 200–150 m ponad równinę aluwialną, a jej deniwelacje wyraźnie maleją ku SE (ryc. 10–12). Profil podłużny grzbietu Tam Dao jest niewyrównany: Ma on przebieg zygzakowaty, obniżając się miejscami o 250–300 m w najwyższej położonej partii (ryc. 12), przypuszczalnie dzięki erozji uwarunkowanej zróżnicowaną odpornością skał podłoża. W środkowej części masywu górskiego zaznacza się kilka wyraźnych załamań stoku, o wysokościach względnych malejących od 850 do 90 m. Załamania te dowiadują do uskokuw podrzędnych, biegnących równolegle do uskoku rzeki Lo, który obcina masyw od SW (ryc. 13B). Wzdłuż tego ostatniego lokuje się spektakularna skarpa bazalna o zróżnicowanej wysokości (przeciętnie 170 m), osiągającej najwyższe wartości w środkowej części badanego segmentu (ryc. 12, 13).

Czoło masywu górskiego Tam Dao jest głęboko rozcięte przez V-kształtne doliny o charakterze wciósów ostrokątnych i jarów, o deniwelacjach przekraczających niekiedy 550 m. Doliny te tworzą układ dendrytyczny i należą do kilku wąskich a długich, na ogół symetrycznych



Ryc. 5. Młode uskoki wietnamskiego segmentu SURC (wg Trinh, 1995; zmienione). Strzałki pokazują zwrot przemieszczenia uskokuw przesuwających, linie ząbkowane wyznaczają uskoki normalne, liczby pogrubione oznaczają rozmiary przemieszczenia uskokuw w metrach, oszacowane na podstawie defleksji sieci drenażu; pozostałe liczby oznaczają wysokości w metrach n.p.m. Odgałęzienia SURC: RRF — uskoku Rzeki Czerwonej, CRF — uskoku rzeki Chay, LRF — uskoku rzeki Lo

Fig. 5. Young faults in the RRFZ Vietnamese segment (based on Trinh, 1995; modified). Sense of strike-slip motion is arrowed, barbed lines denote normal faults, bold numbers on fault traces indicate recent offset (in metres) estimated from drainage deflection; the other numbers show elevation in metres a.s.l. The RRFZ fault branches: RRF — Red River fault, CRF — Chay River fault, LRF — Lo River fault



Ryc. 6. Uproszczona mapa geologiczna SE segmentu SURC w pobliżu Tam Dao (wg Tri i in., 1973; uproszczone). Liczby oznaczają wysokości w metrach n.p.m.

Fig. 6. A simplified geological map of the southeastern portion of RRFZ close to Tam Dao (based on Tri et al., 1973; simplified). Numbers indicate elevation in metres a.s.l.

Wskaźniki morfometryczne

Analiza wybranych parametrów morfometrycznych wykazuje, że skarpa Tam Dao, pomimo usytuowania w strefie subtropikalnego klimatu monsunowego, wykazuje cechy typowe dla prostolinijnych skarp młodych uskoków normalnych, opisanych z półpustynnych obszarów Nowady i Kalifornii (por. Bull, 1977, 1978).

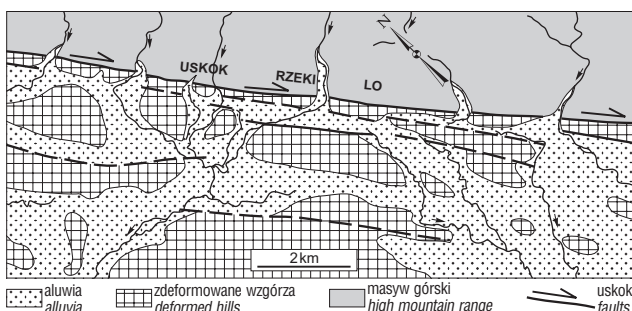
Wskaźnik krętości czoła masywu górskiego (Bull, 1977, 1978) jest definiowany jako stosunek L_{mf} do L_s , gdzie L_{mf} oznacza długość czoła masywu górskiego mierzoną u podnóża wzdłuż wyraźnego załamania stoku, a L_s — analogiczną długość mierzoną w linii prostej:

$$S_{mf} = L_{mf}/L_s$$

Czoła masywów górskich ulegające aktywnemu wypiętrzaniu są na ogół prostolinijne i wykazują niskie wartości S_{mf} , zmieniające się w warunkach suchego klimatu prowincji Basin-and-Range

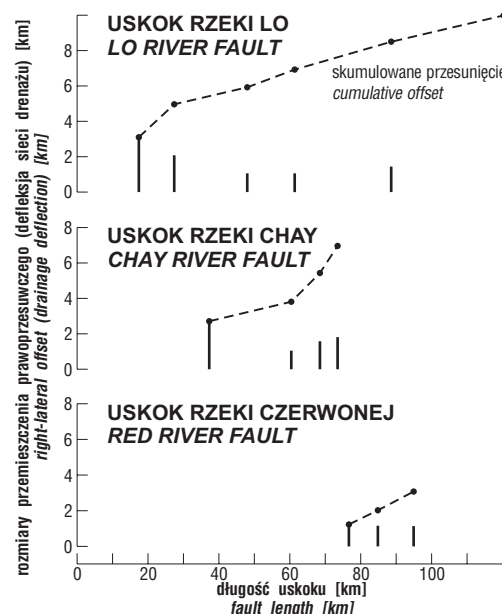
zlewni. Czynniki asymetrii AF (Hare & Gardner, 1985) osiąga wartości zbliżone do 50 wskazując, że wymienione zlewnie nie uległy pochyleniu tektonicznemu w poprzek ich profilu podłużnego, a wartości czynnika poprzecznej symetrii topograficznej T (Cox, 1994) zmieniają się 0,21–0,32, tj. typowo dla niemal symetrycznych zlewni (por. tab. 2).

Wnosząc z obecności grzbietów zagradzających wyloty dolin rozcinających czoło masywu, a także ugięcia (defleksji) sieci drenażu (ryc. 9, 11, 13), rozmiary młodego przemieszczenia prawoprzesuwczego tego segmentu uskoku rzeki Lo można oszacować na 1500–2500 metrów.



Ryc. 7. Szkic obrazujący fragment uskoku rzeki Lo na południe od Tam Dao (lokalizacja na ryc. 5)

Fig. 7. A cartoon illustrating a fragment of the Lo River fault south of Tam Dao (see Fig. 5 for location)



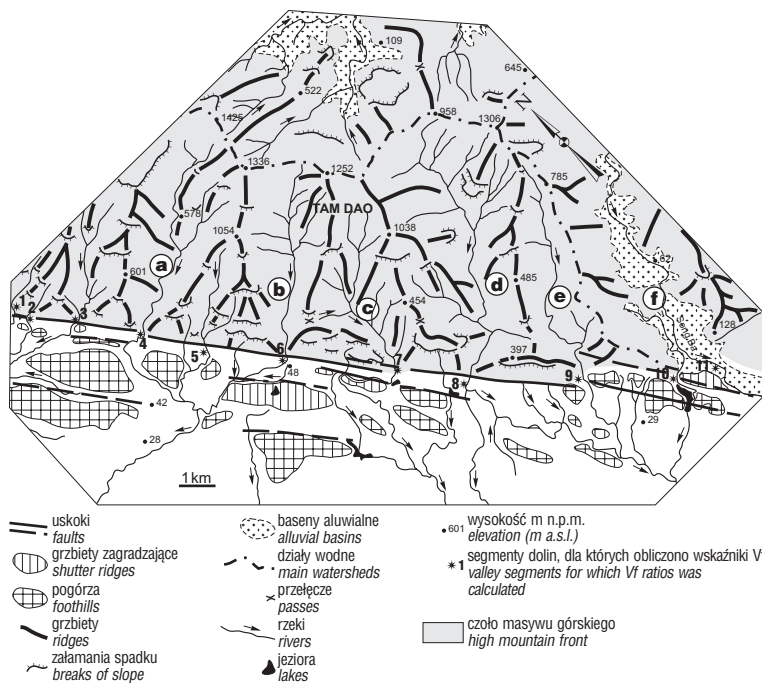
Ryc. 8. Wielkości młodego przemieszczenia prawoprzesuwczego wzdłuż głównych odgałęzień SURC, obliczone dla segmentu pokazanego na ryc. 5

Fig. 8. An amount of Recent dextral offset along main branches of tRRFZ, calculated for the segment shown in Fig. 5

Tab. 1. Wskaźniki szerokości dna–wysokości zboczy obliczone dla dolin rozcinających skarpe Tam Dao w odległości 1 km w górę biegu od podstawy skarpy (lokalizacja na ryc. 9).
 Table. 1. Valley floor width–valley height ratios calculated for valleys dissecting the Tam Dao scarp 1 km upstream of the mountain front (see Fig. 9 for location)

Stanowisko	Vfw	Eld-Esc	Erd-Esc	Vf
1	20	125	125	0,160
2	25	220	90	0,161
3	25	470	356	0,061
4	75	460	520	0,153
5	60	567	325	0,135
6	50	348	260	0,164
7	50	380	265	0,155
8	50	347	350	0,143
9	150	230	280	0,588
10	100	105	196	0,664
11	500	48	120	5,952

Wartości Vfw, Eld-Esc oraz Erd-Esc w metrach



Ryc. 9. Uproszczony szkic czoła masywu górskiego Tam Dao (por. także ryc. 7). Litery (a) do (f) wskazują lokalizację zlewni, dla których obliczono wskaźniki morfometryczne

Fig. 9. A simplified sketch of the Tam Dao mountain front (cf. also Fig. 7). Letters (a) through (f) indicate catchment areas for which physiographic parameters were calculated

Tab. 3. Oszacowanie wieku wypiętrzenia masywu Tam Dao (Ho) oraz najmłodszej skarpy uskokowej (Hy) u jego podstawy dla różnych wariantów tempa wypiętrzenia. Liczby pogrubione przedstawiają wartości uśrednione

Table. 3. Estimation of the age of uplift of the Tam Dao mountain block (Ho) and the youngest fault scarp (Hy) at its base, depending on possible uplift rates. Bold numbers indicate average values

Obszar/tempo	1 mm/rok	0,5 mm	0,1 mm
Ho	0,15–1,18 Ma 760 ka	0,30–2,36 Ma 1,50 Ma	1,50–11,80 Ma 7,60 Ma
Hy	50–360 ka 170 ka	100–730 ka 340ka	0,50–3,60 Ma 1,70 Ma

Tab. 2. Wskaźniki wydłużenia zlewni oraz czynniki asymetrii zlewni w obrębie skarpy Tam Dao (lokalizacja na ryc. 9)
 Table. 2. Basin elongation ratios and asymmetry factors of the Tam Dao scarp drainage basins (see Fig. 9 for location)

Zlewnia	A	L	Re	A _R	AF	T
a	13,420	6,70	0,617	6,298	46,93	0,237
b	10,240	5,50	0,657	6,000	58,59	0,212
c	9,378	5,80	0,596	4,170	44,46	0,224
d	22,305	7,35	0,725	12,128	54,37	0,222
e	8,408	6,60	0,496	4,360	51,86	0,315
f	28,235	8,50	0,705	17,420	61,70	0,276

A — powierzchnia zlewni, L — maksymalna długość zlewni, A_R — wskaźnik wydłużenia zlewni, Re — wskaźnik wydłużenia zlewni (patrząc w dół biegu) części zlewni, A_R — wskaźnik wydłużenia zlewni, AF — czynnik asymetrii; AF = 100 (A_R/A); AF odzwierciedla pochylenie tektoniczne zlewni poprzeczne do koryta głównego potoku, AF <50 lub AF >50 wskazują na pochylenie; T — czynnik poprzecznej asymetrii topograficznej; T = D_a/D_w, gdzie D_a oznacza odległość od osi zlewni do osi aktywnego koryta lub pasa meandrowego, a D_w — odległość od osi zlewni do działu wodnego; dla zlewni idealnie symetrycznych T = 0, w miarę wzrostu asymetrii T wzrasta i zbliża się do wartości 1,0

od 1,0 do 1,6. Analogiczne wartości dla obszarów o słabej aktywności tektonicznej oraz obszarów nieaktywnych wynoszą, odpowiednio: 1,4–3,0 oraz 1,8 do >5,0 (Bull, 1977, 1978; Bull & McFadden, 1977).

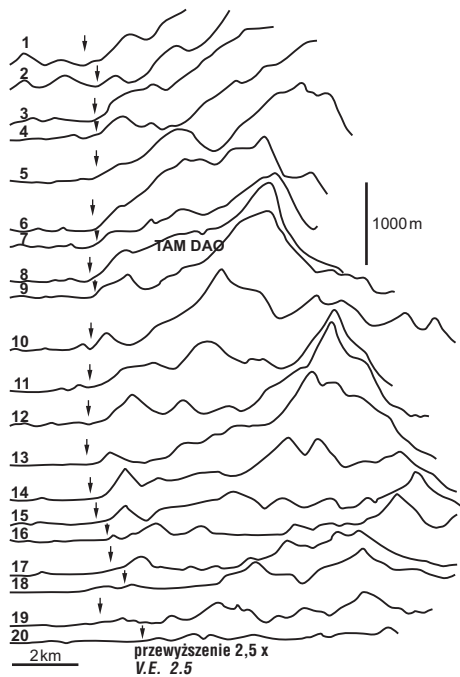
Wartości obliczone dla skarpy Tam Dao (por. ryc. 14) zmieniają się od 1,04 do 1,16, sugerując znaczną aktywność młodych ruchów podnoszących, nawet po uwzględnieniu poprawki na kontrasty odpornościowe między skrzydłem wiszącym i zrzuconym uskoku rzeki Lo.

Do podobnych wniosków prowadzi analiza innych wskaźników morfometrycznych, w tym wskaźnika szerokości dna - wysokości zboczy doliny (Bull, 1977, 1978; Bull & McFadden, 1977), wykazującego anomalnie niskie wartości dla dolin rozcinających czoło masywu Tam Dao. Wymieniony parametr jest definiowany jako:

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)];$$

gdzie Vfw oznacza szerokość dna doliny, Eld i Erd są wysokościami zboczy, odpowiednio, lewego i prawego, a Esc to wysokość dna doliny. Wskaźnik ten pozwala na rozróżnienie między dolinami szerokodennymi, o względnie wysokich wartościach Vf oraz V-kształtnymi kanionami i jarami, o wartościach bardzo niskich. Niskie wartości Vf są typowe dla głęboko wciętych dolin, towarzyszących często obszarom intensywnie podnoszonym (Keller & Pinter, 1996).

Wartości cytowane przez Bulla i McFaddena (1977) dla prowincji Basin-and-Range zmieniają się od 0,05 do 47, wynosząc przeciętnie 1,3–11,0. Doliny rozcinające czoło masywu górskiego Tam Dao wykazują wartości Vf (obliczone dla przekrojów poprzecznych dolin usytuowanych 1 km w górę biegu u podstawy czoła masywu) mieszczące się w przedziale 0,061–5,952 (przeciętnie 0,758). Pomijając szeroką dolinę rozcinającą SW krawędź badanego segmentu w części wschodniej (*11 na ryc. 9; tab. 1), uzyskujemy wartości jeszcze niższe: 0,061–0,664 (średnio 0,238).



Ryc. 10. Profile topograficzne o orientacji N55°E, wykreślone w odległości co 1 km w poprzek skarpy Tam Dao (segment pokazany na ryc. 9). Pozycję uskoku rzeki Lo wskazują strzałki **Fig. 10.** Topographic profiles orientated N55°E, drawn every 1 km across the Tam Dao mountain front in a segment shown in Fig. 9. Position of the Lo River fault is arrowed

Wskaźnik wydłużenia zlewni (Bull & McFadden, 1977) jest jednym ze wskaźników szacunkowych, pozwalającym na ocenę młodej aktywności tektonicznej. Parametr ten (Re) jest obliczany jako stosunek powierzchni zlewni (A) i maksymalnej długości zlewni (L), tj. odległości między skrajnymi punktami w jej obrębie:

$$Re = (2A:\pi)/L$$

Zlewnie usytuowane w klimatach suchych i półsuchych ujawniają wartości Re od $<0,50$, poprzez

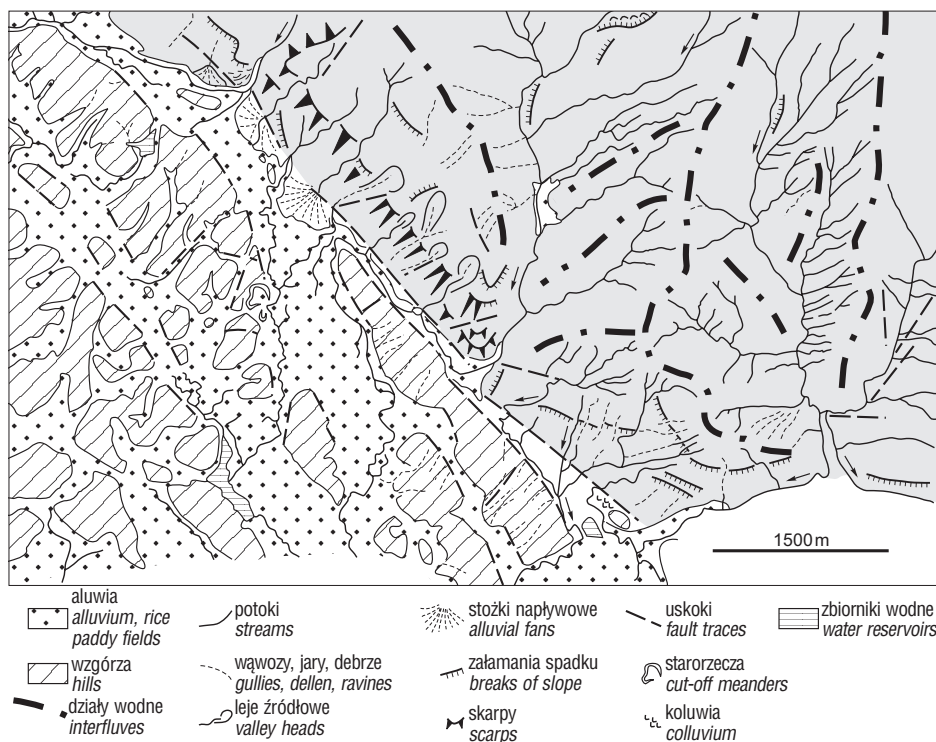
0,50–0,75 do $>0,75$ dla struktur wykazujących — odpowiednio — aktywność tektoniczną: znaczną, umiarkowaną, względnie brak aktywności.

Wartości Re obliczono dla 6 niewielkich zlewni usytuowanych na SW skłonie czoła masywu Tam Dao (por. ryc. 9, a do f; tab. 2). Zmieniają się one od 0,496 do 0,725, sugerując umiarkowanie intensywne wypiętrzanie skrzydła wiszącego uskoku rzeki Lo w obrębie badanego segmentu.

Zróżnicowanie wartości wymienionych parametrów morfometrycznych (ryc. 14, 15) pozwala na zaklasyfikowanie skarpy Tam Dao do struktur o I lub II klasie względnej aktywności tektonicznej, zdolnych do generowania potencjalnie silnych wstrząsów sejsmicznych w przyszłości (Bull, 1978; Keller & Pinter, 1996).

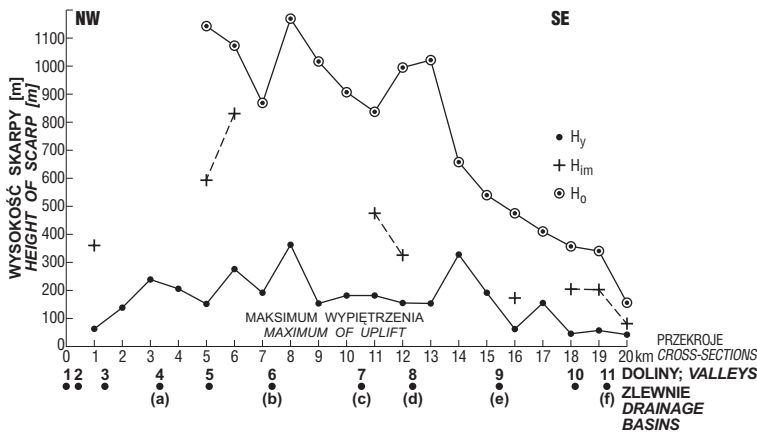
Dyskusja

Ocena tempa wypiętrzania oraz ruchu przesuwczego w obrębie segmentu Tam Dao uskoku rzeki Lo nie jest na razie możliwe, z uwagi na brak datowań przemieszczonych osadów czwartorzędowych. Szybkie podnoszenie masywu Tam Dao było już sugerowane przez Lacassina i in. (1994)



Ryc. 11. Uproszczony fotointerpretacyjny szkic geomorfologiczny czoła masywu górskiego Tam Dao (między punktami *6 i *8 na ryc. 9)

Fig. 11. A simplified geomorphic sketch of the Tam Dao mountain front (between *6 and *8 in Fig. 9), based on 1 : 30,000 aerial photograph interpretation



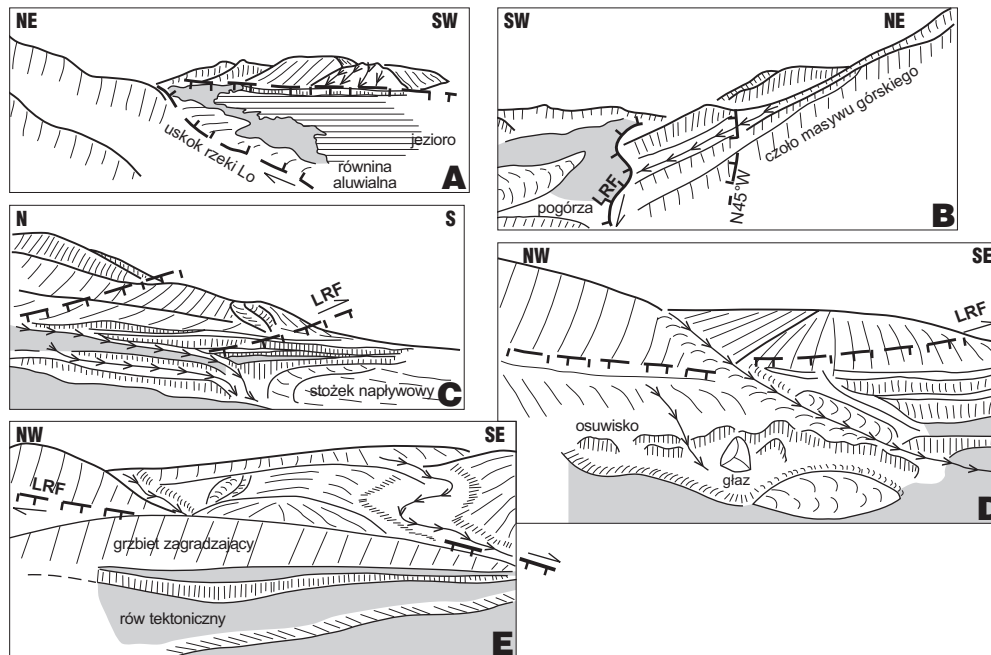
Ryc. 12. Diagram obrazujący wysokości najmłodszej (H_y) skarpy uskokuowej, pośredniego załamania stoku (H_{im}) oraz górnej krawędzi czoła masywu górskiego (H_o) Tam Dao

Fig. 12. A plot showing heights of young scarps (H_y), intermediate breaks of slope (H_{im}) and the oldest ridge crests (H_o) along the Tam Dao mountain front

oraz Trinh (1995), jednakże bez podania jakichkolwiek prędkości. Biorąc pod uwagę wysokości najniższej skarpy uskokuowej oraz najwyższej wzniesionej krawędzi masywu górskiego (ryc. 10, 12), można pokusić się o ocenę ich wieku na podstawie współczesnych pomiarów geodezyjnych (tab. 3).

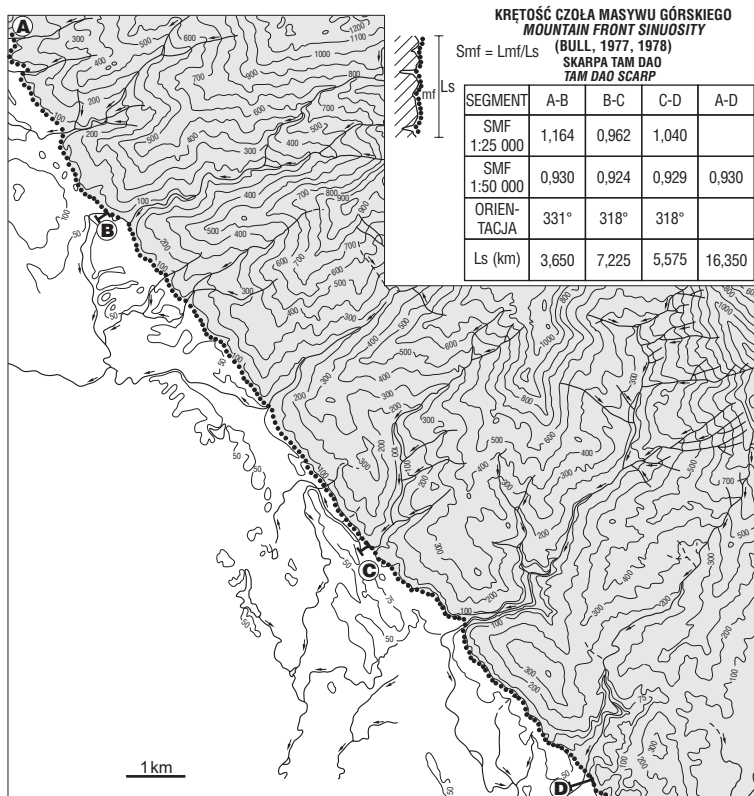
Wyniki powtarzanych niwelacji precyzyjnych z lat 1963–1985 (To & Yem, 1991) wskazują, że współczesne pionowe ruchy skorupy ziemskiej w SE segmencie SURC zmieniają się od +1 mm/rok w rejonie Viet Tri do -2 mm/rok SE od Hanoi. Z drugiej strony, współczesne pomiary GPS nie wykazały istotnych przemieszczeń w

poprzek strefy uskokuowej, przekraczających 0,3 μ rad/rok (Cong & Feigl, 1993). Dlatego też, prędkości podnoszenia rzędu 0,1–1,0 mm/rok można uznać za najbardziej dogodne przybliżenie (tab. 3). Wartości te trzeba jednak traktować z dużą dozą ostrożności, ponieważ nie mamy przekonujących argumentów na rzecz stałej prędkości wypiętrzania w dłuższym okresie czasu. Biorąc pod uwagę wartości minimalne (0,1 mm/rok), otrzymamy wiek wypiętrzania najwyższej wzniesionej krawędzi masywu Tam Dao rzędu 7,6 Ma, a najniższej skarpy uskokuowej — 1,7 Ma. Wiek 7,6 Ma jest zbliżony z wiekiem zakończenia ruchu lewoprzesuwczego wzdłuż SURC w rowie Hanoi,



Ryc. 13. Szczegóły morfotektoniczne podnóża czoła masywu górskiego Tam Dao w środkowej części badanego segmentu uskoku rzeki Lo: A — widok ku SE na niewielki rów tektoniczny między czołem masywu górskiego a grzbietem zagradzającym (NW od *7 na ryc. 9), B — widok ku NW wzdłuż skarpy podrzędnej uskoku $N45^\circ W$ (NW od *7 na ryc. 9; LRF — uskoku rzeki Lo), C — widok ku wschodowi na wylot potoku *8 (por. ryc. 9); zauważ terasy nieparzyste powyżej współczesnego stożka aluwialnego (NW od *8 na ryc. 9), D — widok ku NE na dwie kulisowo ułożone skarpy uskokuowe; na pierwszym planie współczesne osuwisko (NW od *8 na ryc. 9), E — widok ku NE na grzbiet zagradzający u wylotu dwóch niewielkich potoków rozcinających skarpe uskokuową (SE od *7 na ryc. 9)

Fig. 13. Topographic features of the Tam Dao mountain front in central part of the studied segment of the Lo River fault: A — looking SE upon a small graben between the mountain front and a shutter ridge (NW of *7 in Fig. 9), B — looking NW along a scarp of a subsidiary fault $N45^\circ W$ (NW of *7 in Fig. 9, LRF — Lo River Fault), C — looking east towards the outlet of the stream *8 (cf. Fig. 9); note unpaired terraces above recent alluvial fan (NW of *8 in Fig. 9), D — looking NE at two en echelon fault line scarps; recent landslide in the foreground (NW of *8 in Fig. 9), E — looking NE at a shutter ridge blocking the outlets of two small streams (SE of *7 in Fig. 9)

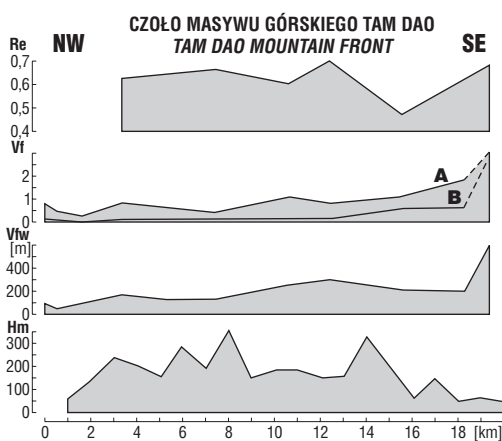


Ryc. 14. Szkic topograficzny czoła masywu górskiego Tam Dao (między *1 i *9 na ryc. 9; A — *1, B — *4, C — *7, D — *9), wykazującego bardzo niskie wartości wskaźnika krętości, obliczone na mapach w skali 1 : 25 000 oraz 1 : 50 000

Fig. 14. A topographic sketch of the Tam Dao mountain front (segment comprised between *1 and *9 in Fig. 9; A — *1, B — *4, C — *7, D — *9) showing very low values of the mountain front sinuosity, calculated on both 1 : 25,000 and 1 : 50,000 topographic maps

sugerowanym przez Phach i Que (1999) na 8–6 Ma. Natomiast prędkości maksymalne pozwalają na oszacowanie wieku najwyżej wzniesionej skarpy oraz skarpy najniższej na — odpowiednio — 760 ka i 170 ka, tj. granicę epok paleomagnetycznych Brunhes/Matuyama oraz przedostatnie piętro chłodne. Rozwiązanie problemu przyniosą oznaczenia trakowe oraz datowanie osadów czwartorzędowych, przemieszczonych przez uskoku rzeki Lo.

Rozmiary przemieszczenia prawoprzesuwczego, oszacowane na podstawie defleksji potoków rozcinających podnóże skarpy Tam Dao w strefie uskoku rzeki Lo wynoszą od 1,5 do 2 km. Wiek przemieszczenia jest trudny do ustalenia z uwagi na brak datowań czwartorzędowych osadów rzecznych i proluwialnych. Najbliższym obszarem, dla którego udokumentowano 30 m prawoprzesuwcze przemieszczenie w holocenie, jest rejon zapory Thac Ba w strefie uskoku rzeki Chay (Pho i in., 1999; por. także ryc. 5). Przyjmując tę wartość jako przybliżenie młodych przemieszczeń dekstralnych w SE części SURC, otrzymamy tempo 3 mm/rok dla młodych ruchów przesuwczych oraz wiek rzędu 500–670 ka dla przemieszczenia wylotów dolin i stożków napływowych u podnóża skarpy Tam Dao. Pomiary GPS sugerują prędkości ruchu dekstralnego 1–5 mm/rok (Cong & Feigl, 1999), podczas gdy przesunięte przez SURC formy rzeźby w prowincji Junan wskazują na prędkości rzędu 2 do 5 mm rocznie (Allen i in., 1984), a według ostatnich datowań radiowęglowych 2 mm/rok (Weldon i in., 1994). Uskok rzeki Chay wykazuje największe tempo przemieszczeń dekstralnych spośród odgałęzień SURC, dlatego też najbardziej prawdopodobnym oszacowaniem czwartorzędowego tempa ruchu przesuwczego uskoku rzeki Lo w rejonie Tam Dao wydają się być prędkości 1–2 mm/rok. W takim przypadku, wiek przemieszczenia omawianego segmentu uskoku Lo wynosi 1–2 Ma. Z drugiej strony, Winter i Costaz (1993) notują 5–7 km prawoprzesuwcze przemieszczenie grzbietów wzdłuż całego segmentu Tam Dao uskoku rzeki Lo, co implikuje zapoczątkowanie ruchu 3,5 Ma lub nawet 7 Ma. Wymienione wartości należy traktować jako bardzo wstępne oszacowanie do czasu uzyskania wiarygodnych wyników datowań zaburzonych osadów.



Ryc. 15. Diagramy podsumowujące zróżnicowanie wartości parametrów fizjograficznych czoła masywu górskiego Tam Dao dla segmentu zawartego między *1 i *11 na ryc. 9. Objasnienia skrótów: Re — wskaźnik wydłużenia zlewni, Vf — wskaźnik szerokości dna-wysokości zboczy doliny (obliczony dla podstawy czoła masywu A oraz 1 km w górę biegu B), Vfw — szerokość dna doliny, Hm — wysokość najmłodszej skarpy uskokowej

Fig. 15. Diagrams summarising physiographic parameters of the Tam Dao mountain front comprised between *1 and *11 in Fig. 9. Abbreviations: Re — basin elongation ratio, Vf — valley floor width - valley height ratio (calculated A at the mountain front, B — 1 km upstream), Vfw — valley floor width, Hm — height of the youngest fault-line scarp

Wnioski

Segment Tam Dao uskoku rzeki Lo jest aktywnym uskokiem zrzutowo-przesuwczym, wykazującym prędkości przemieszczenia dekstralnego rzędu 1–2 mm/rok oraz tempo podnoszenia sięgające przynajmniej 0,1 mm rocznie w trakcie ostatnich 1–2 Ma. Analiza wybranych parametrów morfometrycznych wskazuje, że skarpa Tam Dao ujawnia cechy właściwe prostolinijnym skarpom młodych uskoków normalnych, opisywanych z suchych obszarów prowincji Basin-and-Range. Niskie wartości wskaźników krętości czoła masywu górskiego, szerokości dna–wysokości zboczy, czy też wydłużenia zlewni pozwalają na zaklasyfikowanie badanego segmentu uskoku do struktur mieszczących się w I lub II klasie aktywności tektonicznej, zdolnych do generowania potencjalnie silnych wstrząsów sejsmicznych w przeszłości.

Badania zostały sfinansowane z grantu KBN nr. 6 PO4E 026 18 (dla W. Zuchiewicz) oraz częściowo przez Galicia T. Group.

Autorzy wyrażają szczególną wdzięczność Prof. Nguyen Trong Yemowi z Narodowego Centrum Badań Naukowych i Technologii w Hanoi za wszechstronną pomoc logistyczną oraz Doc. T. D. To za informacje o najnowszych wynikach pomiarów GPS w Wietnamie. Dr L. Chudzikiewiczowi składamy podziękowanie za pomoc w komputerowym przygotowaniu ilustracji.

Literatura

- ALLEN C. R., GILLESPIE A. R., HAN Y., SIEH K. E., ZHUN B. & ZHU Ch. N. 1984 — Red River and associated faults, Yunnan Province, China: Quaternary geology, slip rates, and seismic hazard. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95: 686–700.
- ANCZKIEWICZ R., VIOLA G., CUONG N. Q. & CHI C. T. 2000 — Structural and fission track study of the Red River shear zone in N-Vietnam. [In:] R. Cocks (ed.), *Abstracts, Geoscience 2000*. Univ. of Manchester, 17–20 April 2000. *Geol. Soc. London, Manchester*: 123.
- BULL W. B. 1977 — Tectonic geomorphology of the Mojave Desert. U.S. Geol. Surv. Contract Rep. 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, Calif.: 1–188.
- BULL W. B. 1978 — Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geol. Surv. Contract Rep. 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, Calif.: 1–59.
- BULL W. B. & McFADDEN L. D. 1977 — Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: D. O. Doehring (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*. Proc. 8th Ann. Geomorph. Symp., State Univ. of New York at Binghamton: 115–138.
- CONG D. Ch. & FEIGL K. L. 1999 — Geodetic measurement of horizontal strain across the Red River fault near Thac Ba, Vietnam, 1963–1994. *J. Geod.*, 73: 298–310.
- COX R. T. 1994 — Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106: 571–581.
- CUONG N. Q., ZUCHIEWICZ W., ANCZKIEWICZ R., TOKARSKI A. K. & ŻELA NIEWICZ A. 1999a — Strefa uskoku Rzeki Czerwonej w Wietnamie: ekspedycja polsko-wietnamska — 05.01–10.02.1999. *Prz. Geol.*, 47: 411–413; 503–504.
- CUONG N. Q., ZUCHIEWICZ W. & TOKARSKI A. K. 1999b — Morphotectonic evidence for right-lateral normal slip in the Red River Fault Zone: insights from the study on Tam Dao fault scarp (Viet Nam). *J. Geol.*, Ser. B, 13–14: 57–59.
- HARE P. W. & GARDNER T. W. 1985 — Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. [In:] M. Morisawa & J. T. Hack (eds.), *Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*, September 1984, Allen & Unwin, Boston: 90–104.
- HUCHON P., Le PICHON X. & RANGIN C. 1994 — Indochina Peninsula and the collision of India and Eurasia. *Geology*, 22: 27–30.
- KELLER E. A. & PINTER N. 1996 — Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey: 1–338.
- LACASSIN R., LELOUP P. H. & TAPPONNIER P. 1993 — Bounds on strain in large Tertiary shear zones of SE Asia from boudinage restoration. *J. Struct. Geol.*, 15: 677–692.
- LACASSIN R., TAPPONNIER P., LELOUP P. H., TRINH P. T. & YEM N. T. 1994 — Morphotectonic evidence for active movements along the Red River fault zone. *Actes du Colloque, Colloq. Int. Sur la sismotectonique et le risque sismique en Asie du Sud Est*, 27 Janv. 4 FPvr. 1994, Hanoi: 66–71.
- LAP N. K. 1989 — Seismicity of the territory of Vietnam. *Acta Geophys. Pol.*, 37: 248–261.
- LAP N. K. 1991 — A note on earthquakes in the Hanoi district in Vietnam. *Acta Geophys. Pol.*, 39: 223–231.
- LELOUP P. H., LACASSIN R., TAPPONNIER P., SCHAEERER U., ZHONG D., LIU X., ZHANG L., JI Sh. & TRINH P. T. 1995 — The Ailao Shan – Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251: 3–84.
- PHACH Ph. V. & QUE B. C. 1999 — Late Cenozoic tectonic activity in North Vietnam. *J. Geol.*, Ser. B, 13–14: 33–41.
- PHO N. V., NGA H. T. & TRA D. T. 1999 — Study on the stability of Thac Ba hydropower dam by using nuclear track detector method. *J. Geol.*, Ser. B, 13–14: 270–271.
- TAPPONNIER P., LACASSIN R., LELOUP P. H., SCHAEERER U., ZHONG D., HAIWEI W., LIU X., JI Sh., ZHANG L. & ZHONG J. 1990 — The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343: 431–437.
- TAPPONNIER P., PELTZER G., LeDAIN A. Y., ARMIJO R. & COBBOLD P. 1982 — Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611–616.
- TO T. D. & YEM N. T. 1991 — Vertical movements of the territory of Vietnam (North part) by repeated precise levelling. *Geology*, 202–203: 20–27.
- TRI T. V. (ed.) 1973 — Geological map of Viet Nam 1 : 1 000 000. The General Geological Department of the Democratic Republic of Vietnam, Hanoi.
- TRI T. V. (ed.) 1979 — Geology of Vietnam (north part). *Res. Inst. Geol. Miner. Res.*, Hanoi: 1–80.
- TRINH Ph. T. 1995 — Influence des failles actives sur les réservoirs de Hoabinh et de la rivière Chay (nord du Viet Nam). [In:] J.-M. Dubois, M. R. Boussema, F. Boivin & P. Lafrance (eds.), *Télé-détection des ressources en eau. Actes des journées scientifiques de Tunis 1993*, Universités Francophones, Actualité Scientifique, AUPELF, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy–Montréal: 31–42.
- TRINH Ph. T., LACASSIN R., TAPPONNIER P., LELOUP P. H. & YEM N. T. 1993 — Evidence for active strike-slip movements in North-western Vietnam. *Terra Abstracts, Abstract Suppl. No. 1 to Terra Nova*, 5: 265.
- WELDON R., SIEH K., ZHU Ch. N., HAN Y., YANG J. W. & ROBINSON S. 1994 — Slip rate and recurrence interval of earthquakes on the Hong He (Red River) fault, Yunnan, PRC. Proc. IWSSH-SEA, 27 Jan.–4. Feb. 1994, Hanoi: 244–248.
- WINTER T. & COSTAZ J. 1993 — Hoa Binh area. Geological mapping, UNDP Program VIE/92/035, Coyne et Bellier, Paris. *Arch. Nat. Center Sc. Tech.*, Hanoi.