

Tektoniczne struktury deformacyjne w łach krakowieckich sarmatu w Wylewie k. Sieniawy (zapadlisko przedkarpackie): świadectwo młodej przesuwczej aktywności podłoża miocenu

Piotr Nescieruk*, Antoni Wójcik**, Tomasz Malata*, Paweł Aleksandrowski***



P. Nescieruk

A. Wójcik

T. Malata

P. Aleksandrowski

Tectonic deformation structures in the Sarmatian (Miocene) Krakowiec clays at Wylewa near Sieniawa (Carpathian foreland basin): a record of young strike-slip fault activity in the basement. *Prz. Geol.*, 55: 690–698.

S u m m a r y. Tectonic deformation structures (folds, strike-slip, reverse and normal faults as well as joints) are reported here from the topmost part of the youngest, clayey sediments of the Carpathian foreland basin (Krakowiec clays, Sarmatian, Miocene), in a clay pit located at a village of Wylewa near Sieniawa. Our structural study has revealed several joint sets, accompanying products of intense folding and faulting, and defining a structural pattern that can be easily interpreted in terms of structures formed in a transpressive regime above strike-slip faults in the basement. The origin of these structures is ascribed to tectonic activity of the NW-SE-trending Ryszkowa Wola horst known to occur directly beneath the Wylewa clay pit, at a depth of c. 500 to 1300 m and to involve the basement and the lower part of the Miocene succession. The structural pattern in question most likely reflects a sinistral strike-slip displacement on sub-vertical boundary faults of the lowermost part of the horst. Undisputable effects of this strike-slip motion have been recently documented by other authors using 3D seismic data. The deformation structures at Wylewa must have resulted from a young, late to post-Sarmatian tectonic activity in the basement of the Carpathian foreland basin, probably reflecting an E-W to ENE-WSW directed regional shortening episode.

tural study has revealed several joint sets, accompanying products of intense folding and faulting, and defining a structural pattern that can be easily interpreted in terms of structures formed in a transpressive regime above strike-slip faults in the basement. The origin of these structures is ascribed to tectonic activity of the NW-SE-trending Ryszkowa Wola horst known to occur directly beneath the Wylewa clay pit, at a depth of c. 500 to 1300 m and to involve the basement and the lower part of the Miocene succession. The structural pattern in question most likely reflects a sinistral strike-slip displacement on sub-vertical boundary faults of the lowermost part of the horst. Undisputable effects of this strike-slip motion have been recently documented by other authors using 3D seismic data. The deformation structures at Wylewa must have resulted from a young, late to post-Sarmatian tectonic activity in the basement of the Carpathian foreland basin, probably reflecting an E-W to ENE-WSW directed regional shortening episode.

Key words: southeast Poland, Carpathian foreland basin, Miocene, Sarmatian, strike-slip tectonics, folds, faults, joints

W dotychczasowej literaturze (Jucha, 1974; Żytko i in., 1988) przyjmuje się, że utwory zewnętrznej części zapadliska przedkarpackiego, oddalanej od czoła orogenu, są praktycznie niezdeformowane tektonicznie, zwłaszcza w wyższych, przypowierzchniowych partiach sukcesji mioceńskiej. Zmienne upady warstw i zaburzenia uskokuwe obserwuje się jednak, i to dość często, na sekcjach sejsmicznych w dolnych i środkowych poziomach tej sukcesji. W dotychczasowej literaturze przyjmuje się, że te efekty deformacyjne są związane głównie z wczesnymi, synsedymencyjnymi ruchami tektonicznymi podłoża zapadliska oraz z kompakcyjnym oblekaniem różnej genyzy nierówności tego podłoża i że zasadniczo nie kontynuują się one w górę aż do powierzchni terenu (np. Dziadzio & Jachowicz, 1996; Krzywiec, 1998, 1999). Pomimo to z kilku rejonów zapadliska znane są powierzchniowe odsłonięcia miocenu, ukazujące mniej lub bardziej zdeformowane osady jego wyższych ogniw.

Wyrobnisko eksploatacyjne typowo wykształconych łów krakowieckich w Wylewie koło Sieniawy wyróżnia się wyjątkowo silnym zaangażowaniem tektonicznym osadów najwyższej części profilu stratygraficznego zapadliska przedkarpackiego. Z uwagi na związek genetyczny występujących w Wylewie struktur tektonicznych z budową podłoża zapadliska, odsłonięcie to jest pod względem tektonicznym jednym z najbardziej interesujących w całej Kotlinie Sandomierskiej.

*Państwowy Instytut Geologiczny Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; Piotr.Nescieruk@pgi.gov.pl; Antoni.Wojcik@pgi.gov.pl; Tomasz.Malata@pgi.gov.pl

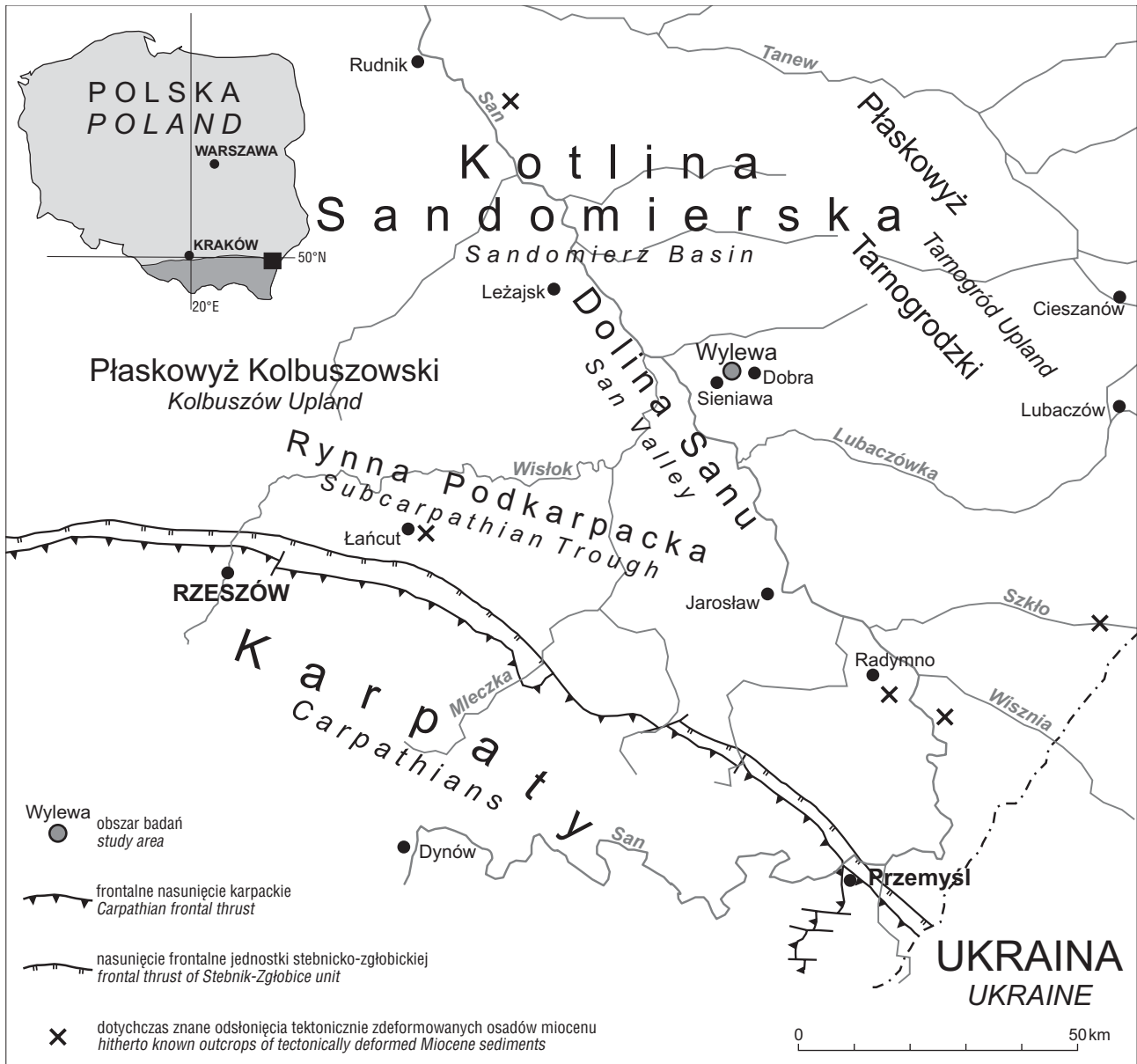
**Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

***Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, ul. Cybulskiego 32, 50-205 Wrocław

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań strukturalnych przeprowadzonych na terenie wyrobiska w Wylewie. Obserwacje terenowe zostały przeprowadzone w latach 1998–1999 w południowo-zachodniej i południowej części wyrobiska, a w latach 2002–2004 w jego części północnej. W miarę postępu prac eksploatacyjnych obserwowano odsłanianie się kolejnych struktur fałdowych oraz zespołów spekań ciosowych i uskoków. W roku 1998 w obecnie już wyeksploatowanej części wyrobiska widoczne były fałdy, na których temat pierwsze dane zamieścił Malata i in. (1999a, b). Podczas prac terenowych sukcesywnie inwentaryzowano odsłanianie w trakcie eksploatacji struktury i wykonywano systematyczne pomiary ich orientacji.

Deformacje tektoniczne w przypowierzchniowej strefie mioceńskich osadów zapadliska przedkarpackiego

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego odsłonięcia skał starszych od czwartorzędu należą do rzadkości. Nieczęsto również spotyka się w nich odształcenia i struktury tektoniczne, dlatego też dotyczące ich dane są w literaturze rzadkie (ryc. 1). Pierwsze wzmianki na ten temat pochodzą od autorów wykonujących prace kartograficzne w ramach przygotowywania Atlasu Geologicznego Galicji. Wychodnie łów neogeńskich sfałdowanych w wyraźne siodła i łęki oraz poprzesuwanymi uskoki opisał Łomnicki (1898, 1900) z doliny Szklą pod Krakowcem. W okolicach Krzeszowa nad Sanem Samsonowicz (1927) stwierdził skierowane ku południowi upady łów krakowieckich rzędu 5–10°, prawdopodobnie związane z występowaniem w tym rejonie łagodnych fałdów o przebiegu osi zbliżonym do równoleżnikowego.



Ryc. 1. Położenie geograficzne opisywanego wyrobiska ilów sarmackich w Wylewie
Fig. 1. Geographic location of the clay pit at Wylewa

Deformacje tektoniczne w utworach miocenijskich zapadliska przedkarpacciego w sztucznym odsłonięciu kopalni siarki w Machowie koło Tarnobrzega opisał Jaroński (1992); wcześniej były one też przedmiotem obserwacji Niecia (1970), Góreckiego (1973) i Krysiak (1985, 1986). Zaburzenia zalegania osadów miocenijskich obserwowano także m.in. na terenie wyrobisk w Kupnie oraz w obrębie naturalnego odsłonięcia w Dąbrowie Tarnowskiej. Stwierdzono je także w niektórych pełnordzeniowych otworach badawczych w okolicach Radymna (Wójcik, w druku). W zachodniej części zapadliska przedkarpacciego tektoniczne odkształcenia utworów miocenijskich zarejestrowali Mitura i Kuciński (1952), Gradziński (1955), Alexandrowicz (1964), a ostatnio Nescieruk (1999) oraz Nescieruk i Wójcik (2001).

Obserwacje w odsłonięciach dostarczają zatem danych wskazujących na lokalnie znacznie większe niż dotychczas przyjmowano zaangażowanie tektoniczne najmłodszych, przypowierzchniowych utworów miocenijskich w centralnej części zapadliska przedkarpacciego. Obserwowane

struktury tektoniczne są zazwyczaj związane genetycznie z mniej lub bardziej hipotetycznymi liniami uskokuowymi w podłożu osadów miocenijskich (Osmólski i in., 1978; Jaroński, 1992; Nescieruk & Wójcik, 2001).

Lokalizacja odsłonięcia w Wylewie

Struktury tektoniczne, będące przedmiotem referowanych tu badań, występują w sztucznym odsłonięciu wykonanym na potrzeby eksploatacji ilów krakowieckich (sarmat) dla cegielni w Sieniawie. Odsłonięcie to zlokalizowane jest w obrębie Kotliny Sandomierskiej we wschodniej części polskiego zapadliska przedkarpacciego, na wschód od miasta Sieniawa, między miejscowościami Wylewa i Dobra, na skraju Płaskowyżu Tarnogrodzkiego (ryc. 1). Położenie omawianego odsłonięcia określają współrzędne geograficzne: $50^{\circ}11'11''$ – $50^{\circ}11'15''$ szerokości geograficznej północnej oraz $22^{\circ}38'27''$ – $22^{\circ}38'35''$ długości geograficznej wschodniej. Odsłonięcie znajduje się na wschód od szerokiej, płaskodennej doliny Sanu u podnóża zagna-

czającego się w morfologii terenu niewysokiego garbu o rozciągłości NNW-SSE i rozcina jego zbocza o ekspozycji SW.

Sytuacja geologiczna

W wyrobisku w Wylewie pod utworami czwartorzędowymi odsłaniają się osady miocenne zapadliska przedkarpacciego wykształcone w postaci iłów krakowieckich. Łączna miąższość osadów miocenu osiąga w tym rejonie 1200–1300 m (Nowotarski & Gara, 1994). Podścielają je łupki z wkładkami piaskowców kwarcytowych, określane jako warstwy rzeszowskie (Pożaryski & Tomczyk, 1968). Reprezentują one słabo zmetamorfizowaną serię osadową, przeważnie ilastą, uważaną niekiedy za serię fliszową (Samsonowicz, 1955). Utwory te są intensywnie sfałdowane, mają wiele luster i często są pocięte żyłami kwarcowymi i kalcytowymi. Tradycyjnie uważano je za osady najmłodszego prekambriu — ryfeju (Samsonowicz, 1955; Karnkowski & Głowacki, 1961). Wyniki badań szczątków *Acritarcha* z materiału pochodzącego z wierceń pozwoliły zaliczyć je na znacznej części obszaru podłoża zapadliska przedkarpacciego do dolnego kambriu (Pożaryski i in., 1981; Dziadzio & Jachowicz, 1996).

W rejonie Wylewy w trakcie sedymentacji miocennej utwory podłoża i dolna partia sukcesji miocenu zostały wydzwignięte i utworzyły zrąb Ryszkowej Woli o długości ponad 60 km. Wykazuje on rozciągłość NW-SE, podobnie do znacznej części dużych uskoków znanych z podłoża zapadliska (Żyto i in., 1988), nawiązuje tym samym do przebiegu linii Teisseyre'a-Tornquista. Odkrywka iłów krakowieckich w Wylewie leży bezpośrednio nad linią uskoku ograniczającego od SW zrąb Ryszkowej Woli, wykształconego w podłożu i w dolnej partii sukcesji miocenu zapadliska przedkarpacciego (ryc. 2). Nowe badania strukturalne okolic zrębu Ryszkowej Woli, oparte głównie na nowym zdjęciu sejsmicznym wykonanym techniką 3D, wykazały, że zrębowi towarzyszą liczne uskoki wykształcone w osadach miocennych (Krzywiec i in., 2003, 2005). Są one przeważnie zrzutowe i częściowo wykazują cechy struktur synsedymencyjnych. Ich rozciągłość jest skośna do zrębu, najczęściej zbliżona do kierunku E-W. Układ tych struktur jednoznacznie świadczy o lewoskrętnej aktywności przesuwczej uskoków brzeżnych dolnej partii zrębu podczas sedymentacji miocennej (Krzywiec i in., 2005).

Seria iłów krakowieckich składa się głównie z wapnistych łupków i iłów o barwie od szarej i ciemnoszarej do niemal czarnej. W profilu serii znaczny udział mają także zielonkawoszare iłolupki, czasem zapiaszczone, mikowe, o różnym stopniu zwięzłości, z oddzielnością równoległą lub nieregularną, miejscami ze zwęglonymi szczątkami flory oraz skorupami małakofauny. Wietrzeją one na zielono, brązowo i rdzawo. Przechodzą niekiedy w jasnoszare mułowce mikowe. Iłolupki przeławiczone są zwykle mułowcami piaszczystymi i piaskowcami, których udział wyraźniej zaznacza się w środkowej i dolnej części profilu. Niekiedy występuje w nich laminacja równoległa lub przekątna, struktury spływowe oraz oddzielność skorupowa. Sporadycznie w piaskowcach występują klasty iłolupków. Piaskowce zwykle są niezbyt twarde, kruche, czasem się rozsypują, choć zdarzają się też odmiany twarde i zwięzłe. Nierzadko pojawiają się wkładki piaskowców kwarcowych, średnioziarnistych. Osadom tym przypisywany jest wiek sarmacki.

Na terenie wyrobiska w Wylewie występują iłowce z nielicznymi przeławiczeniami mułowców piaszczystych o maksymalnej grubości do 1 cm. W spągu ławic mułowcowych stwierdzono bardzo nieliczne hieroglify prądowe, wskazujące na transport materiału detrytycznego wzdłuż kierunku 150–330°. Stropowa część iłów jest zwietrzała. Iły krakowieckie w Wylewie są wyraźnie sfałdowane.

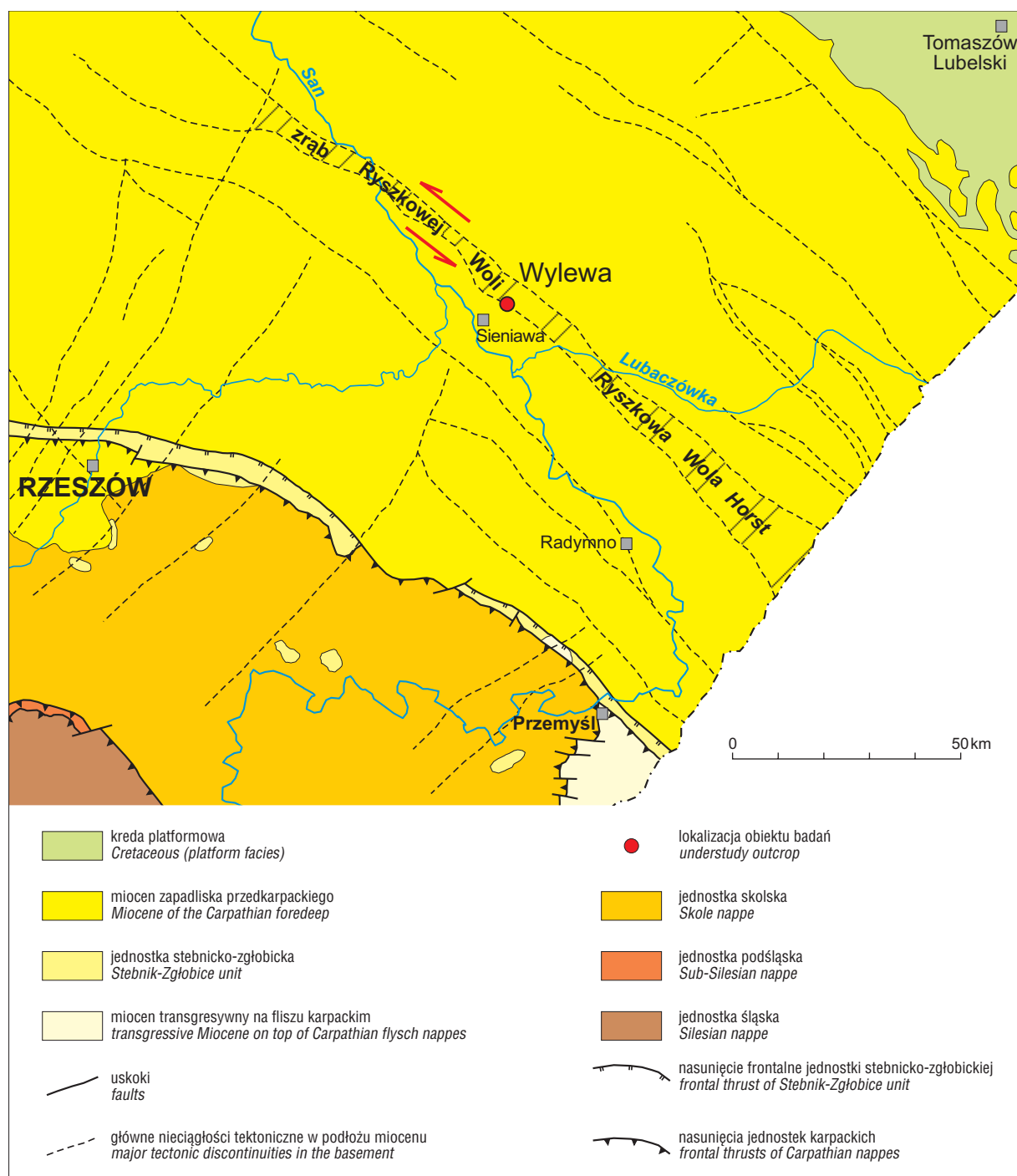
W nadkładzie iłów krakowieckich w wyrobisku w Wylewie zalegają osady czwartorzędowe, tworzące górną część morfologicznego garbu, u którego podnóża zlokalizowano wyrobisko. Osady czwartorzędu, podobnie jak i w innych miejscach tego rejonu zapadliska poza doliną Sanu, mają tu niewielką miąższość (2–6 m). Składają się na nie głównie utwory glaciceniczne — diamikton ze żwirami i głazami eratycznymi, piaski i żwiry fluwioglacjalne oraz osady eoliczne, głównie piaski. W dolnych częściach wspomnianego garbu, na utworach neogeńskich leżą rezydualne utworów lodowcowych i gliny deluwialne.

Stropowa część utworów miocennych odsłaniająca się w południowej części wyrobiska (profil C, ryc. 3) jest silnie zwietrzała. Na ich nierównej powierzchni spoczywają gliny zwałowe o miąższości 2,5–3 m, a całość przykrywa warstwa piasków eolicznych o miąższości do 0,5 m. W obrębie glin zwałowych stwierdzono kilka niemal równoległych do siebie powierzchni nieciągłości strukturalnej (cios?, uskoki?). Są one zorientowane w przybliżeniu równoleżnikowo i nawiązują do położenia uskoku normalnego o niewielkich zrzutach oraz powierzchni ciosowych stwierdzonych w wyrobisku w iłach krakowieckich. Sugeruje to albo szczątkową aktywność tektoniczną obszaru badań jeszcze w czwartorzędzie, albo odziedziczenie kierunku spēkań podłoża plejstocenu ujawnione w czasie podepozycyjnej kompaktacji lub relaksacji po ustąpieniu lądolodu.

Struktury tektoniczne w odsłonięciu w Wylewie

Wyrobisko w Wylewie ma kształt zbliżony do prostokąta o równoleżnikowym przebiegu dłuższego boku. Obserwacje odsłaniających się sukcesywnie struktur prowadzono głównie wzdłuż ścian eksploatacyjnych o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego. Ostatnie systematyczne obserwacje przeprowadzono w roku 2003 w północnej części wyrobiska, określanej dalej jako profil A (ryc. 3), wzdłuż ściany eksploatacyjnej o rozciągłości 265–085°. Wcześniej prowadzono badania w środkowej części odkrywki, wzdłuż ścian o podobnej rozciągłości, w rejonie określonym dalej jako profil B (ryc. 3); dane dotyczące tego rejonu odsłonięcia uzupełniono rekonesansowymi obserwacjami w lipcu 2004 r. Południowa część wyrobiska była dostępna tylko w południowo-wschodniej partii, którą oznaczono jako profil C (ryc. 3). Obserwacje w tym miejscu wykonane w 1999 r. dotyczyły kontaktu glin zwałowych z niżej leżącymi utworami miocenu. Dolna część tego rejonu odsłonięcia była niedostępna do obserwacji ze względu na zachodzące procesy osuwiskowe.

Obserwacje wzdłuż profilu A (ryc. 3A), gdzie ówczesnie prowadzona była eksploatacja iłów, wykonano w latach 2002–2003. W północno-zachodniej części tej partii wyrobiska stwierdzono niewielką antyklinę (ryc. 4, 5) o orientacji osi 163/09° i skrzydłach zapadających odpowiednio ku W pod kątem 25° oraz ku E pod kątem 20°. Rozpoznano też położoną na wschód od niej asymetryczną synklinę o podobnych rozmiarach, która ma stromo zapadające skrzydło wschodnie (upad 60°) i orientację osi 168/05°.



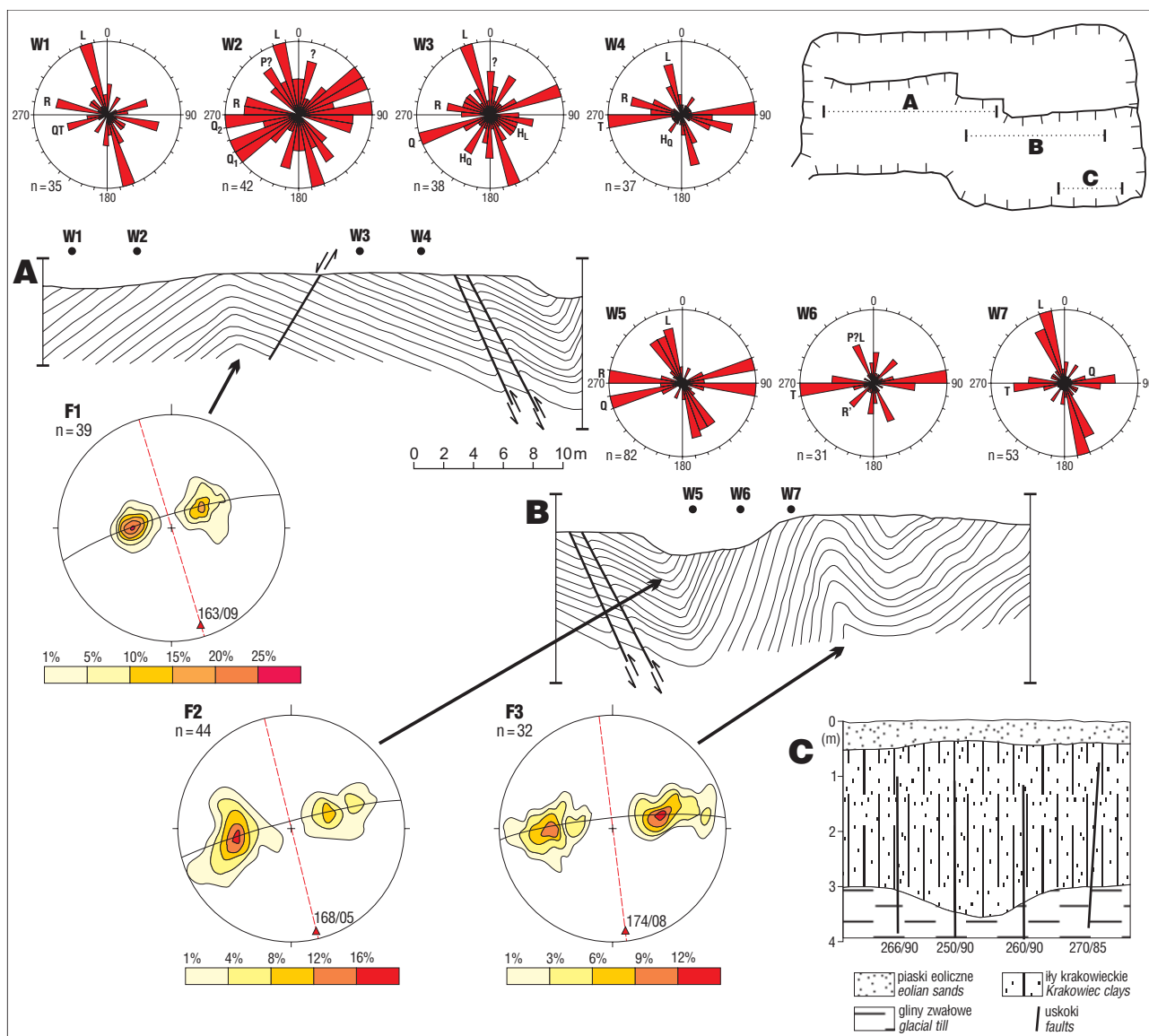
Ryc. 2. Sytuacja geologiczna w odsłonięciu iłów w Wylewie (mapa zapadliska przedkarpackiego i głównych struktur tektonicznych wg Żytka i in., 1988)

Fig. 2. Geological setting of the studied clay pit at Wylewa (sketch map of the Carpathian foreland basin showing main tectonic structures after Żytka et al. 1988)

Antyklina wykazuje mniej strome nachylenie skrzydeł niż antyklina opisana wcześniej ze środkowej części wyrobiska (Malata i in., 1999a, b). Amplituda opisywanych fałdów osiąga 2–3 m w profilu A (ryc. 4) oraz 3–5 m w profilu B, a ich długość falowa — od 30 do 40 m.

W siedmiu wybranych punktach (strefach) ściany północnej wyrobiska (profile A i B; ryc. 3) przeprowadzono pomiary orientacji kruchych struktur tektonicznych — wyraźnie rozwiniętego ciosu i uskoków normalnych. Dwa z punktów pomiarowych położone były w zachodnim skrzydle antykliny (ryc. 3, W1 i W2), dwa w jej skrzydle wschodnim (ryc. 3, W3 i W4), trzy pozostałe zaś we

wschodnim skrzydle synkliny (ryc. 3, W5–W7). Liczba pomiarów powierzchni ciosu zebranych w poszczególnych punktach waha się od 31 do 82. Uzyskane biegi i upady powierzchni ciosu zrotowano wokół osi fałdów o kąt upadu skrzydeł tych fałdów, tak aby uzyskać poziome położenie warstw, a następnie przedstawiono w formie diagramów rozetowych (ryc. 3). Widoczny jest na nich konsekwentny, choć nieco zmienny pomiędzy punktami pomiarowymi obraz sękań. Dominujący zespół (poza strefą bliską osi synkliny) tworzą sękań o biegu 155–170°, zgodnym z kierunkiem osi fałdów (zespół oznaczony jako L). Na diagramach sękań pomierzonych w obrębie antykliny (ryc. 3,



Ryc. 3. Lokalizacja opisywanych profili na terenie wyrobiska w Wylewie: rozmieszczenie skarp, profile skarp (A–C), diagramy orientacji spękań ciosowych i drobnych uskokiów po rotacji warstw do położenia poziomego (W1–W7), diagramy położenia warstw z poszczególnych fałdów (F1–F3); pozostałe objaśnienia w tekście

Fig. 3. Location of profiles in the clay pit at Wylew: distribution of exploitation scarps, scarp profiles (A–C), stereograms of joints and minor faults after rotation of strata back to horizontal position (W1–W7); stereograms of bedding attitude in particular folds (F1–F3); see text for further discussion

W1–W3 wyraźnie zaznaczają się też spękania poprzeczne względem osi fałdów (zespół Q), niekiedy zastępowane przez dwa zespoły skośne — sprzężone w stosunku do tych osi — Q₁ i Q₂ (interpretowane tu jako komplementarne spękania ścięciowe). Na diagramach spękań (ryc. 3) uwidacznia się też obecność innych zespołów spękań, nienawiązujących bezpośrednio do przebiegu fałdów. Ich genezę można zrozumieć dopiero w kontekście budowy geologicznej głębszego podłoża wyrobiska w Wylewie (por. niżej).

W środkowej części wyrobiska, wzdłuż profilu B na odcinku ok. 70 m, stwierdzono obecność trzech form fałdowych (antykliny i dwóch synklin, spośród których synklina zachodnia jest kontynuacją elementu synkinalnego z profilu A; ryc. 3 B). Obserwacje wykazały, że upady warstw zmieniają się tu w przedziale od 10° do 85°, a osie rozpoznanych fałdów są zorientowane w przybliżeniu południkowo. Oś antykliny, wyznaczona na podstawie ste-

reogramu z naniesionymi położeniami warstw w skrzydłach fałdów, wykazuje orientację 174/08°; osie synklin odchylają się od tego kierunku jedynie w niewielkim stopniu (odpowiednio: 168/05°, 150/12°). W południowo-zachodniej części profilu B (w zachodnim skrzydle zachodniej formy synkinalnej; ryc. 3B) stwierdzono uskoki odwrócone o powierzchniach zorientowanych 65/61° i 77/62° (ryc. 3, 6). Wielkość ślizgu wzdłuż nich była trudna do określenia ze względu na jednolitość litologiczną przecinanych przez uskoki osadów, jednak nie może być znaczna (zapewne chodzi tu o rząd kilkudziesięciu cm). Zwrot przemieszczenia skrzydeł uskoku określono na podstawie przyuskokowego wygięcia warstw. W całym wyrobisku w Wylewie obserwuje się ponadto liczne drobne uskoki normalne (o orientacji np: 142/64°; 150/78°) o amplitudzie przemieszczeń nieprzekraczającej kilku centymetrów.

Rekonosansowe, uzupełniające obserwacje, przeprowadzone w wyrobisku w Wylewie w lipcu 2004 r., wyka-



Ryc. 4. Strefa osiowa antykliny w ilach krakowieckich w profilu A. Stan z roku 2003. Widok ku północy

Fig. 4. Hinge zone of an anticline in the Krakowiec clays; profile A. Year 2003. View looking north



Ryc. 5. Położenie warstw ilów krakowieckich we wschodnim skrzydle antykliny w profilu A (punkt W4). Widok ku północy

Fig. 5. Attitude of the Krakowiec clays in the eastern limb of the anticline from profile A (point W4). View looking north



Ryc. 6. Powierzchnie połączonych spękań ścięciowych przecinających strome, wschodnie skrzydło synkliny w profilu B (punkt W6). Widok ku północy

Fig. 6. Shallow-dipping shear fractures cross-cutting the eastern limb of the syncline from profile B (point W6). View looking north

zały, iż eksploatacja ilów postępująca ku północy w rejonie profilu B odsłoniła ostry, kanciasty przegub asymetrycznej antykliny (odpowiadającej formie F3 na ryc. 3) o szewronowej geometrii i wergencji wschodniej (ryc. 7), która ma z grubsza pionowo ustawione skrzydło wschodnie (pomiar orientacji: od 80/70° do 260/80°) i znacznie łagodniej zapadające skrzydło zachodnie (pomiar: 250/35°, 240/45°), co przekłada się na oś fałdu o orientacji 170/10°. Stromo stojące warstwy skrzydła wschodniego zostały dotknięte intensywną deformacją kruchą/półkruchą i wykazują miejscami obecność kliważu ołówkowego (ryc. 8) równoległego do osi fałdu. W innych miejscach doprowadziła ona do powstania gęstej siatki anastomozujących, połośnie ustawionych (tj. pod dużym kątem do stromo zalegającego uławicenia) bardzo drobnych powierzchni ścięć

— „mikrouskoków”, które powodują charakterystyczny relief powierzchni uławicenia (ryc. 9), opisany niegdyś z fliszu karpackiego pod nazwą lineacji schodkowej (Aleksandrowski, 1980).

Geneza deformacji

Obserwowane w odsłonięciu w Wylewie struktury fałdowe, uskoki i spękania ciosowe oraz lineacje interpretujemy jako struktury naduskokowe, nadprzesuwcze. Występują one niemal bezpośrednio ponad południowo-zachodnim, uskokowym obrzeżeniem dolnej części zrębu Ryszkowej Woli, wykształconym w podłożu osadów mioceniowych, które na podstawie danych sejsmicznych interpretuje się jako złożoną, prawie wertykalną strukturę uskokową o znacznej, lewoskrętnej składowej przesuwczej (Krzywiec i in., 2003, 2005). Podłoże podmioceniowe występuje tu na głębokości około 1200–1300 m poniżej poziomu terenu (Nowotarski & Gara, 1994; Krzywiec i in., 2003, 2005), dolna część zrębu zaś jest uważana przez Krzywca (1998) oraz Krzywca i in. (2005) za strukturę z wyciskania (ang. *pop-up*) powstałą w trakcie sedymentacji mioceniowej na skutek inwersji starszych uskoku normalnych, w zasadniczo przesuwczym kinematycznym planie przemieszczeń (nb. odmienne stanowisko odnośnie genezy zrębu Ryszkowej Woli przyjęli Dziadzio i Jachowicz, 1996, którzy uznali zręb za strukturę ekstensyjną, wydzwigniętą wzdłuż listrycznych uskoku normalnych).

Lewoskrętna, synsedymentacyjna i przesuwcza aktywność uskoku ograniczających w podłożu miocenu dolną partię zrębu Ryszkowej Woli nie ulega dziś wątpliwości w świetle nowych danych sejsmicznych 3D, gdyż towarzyszą im w osadach miocenu liczne, doskonale widoczne w zapisie sejsmicznym uskoki kulisowe. Są one przeważnie rzutowe, normalne i tworzą skomplikowany układ geometryczny o dominującej rozciągłości zbliżonej do E-W (ryc. 10; Krzywiec i in., 2003, 2005). Tak właśnie ustawione zespoły uskoku nadprzesuwczych wielokrotnie uzyskiwano eksperymentalnie w nadkładzie występujących w podłożu stref przesuwczych (przegląd literatury np. w: Mandl, 1988; Price & Cosgrove, 1990; Richard i in., 1995). Z kolei występujące w Wylewie intensywne zafałdowania o niemal południkowych osiach również dobrze się wpisują w model lewoskrętnego przesuwu na linii NW-SE w podłożu, gdyż rejestrują tektoniczną kompresję ukierunkowaną



Ryc. 7. Przegub szewronowej, asymetrycznej antykliny w ilach krakowieckich, profil B, stan z 2004 r. Widok ku północy
Fig. 7. Hinge zone of a chevron, asymmetric anticline in the Krakowice clay, profile B, as at 2004. View looking north

E-W, sprzyjającą takiemu przemieszczeniu. Trudno zatem wątpić — biorąc pod uwagę sytuację geologiczną wyrobiska w Wylewie — iż stanowią one naduskokowe fałdy kulisowe. Podobne fałdy nadprzesuwcze również znane są z prac eksperymentalnych (np. Odonne & Vialon, 1983; Richard i in., 1995) i często współwystępują z prostopadłymi lub tworzącymi z nimi duże kąty syngenetycznymi uskokami, podobnie jak ma to miejsce w odsłonięciu w Wylewie. Położenie osi fałdów w Wylewie (azymut od 160° do 170°) odchyła się od rozciągłości uskoku w podłożu (\pm NW-SE, a dokładniej od 120° do 125°) o ok. 40–50°, co jest typowym odchyleniem takich struktur (wynoszącym około 45°), kiedy ruchowi przesuwczemu nie towarzyszy dodatkowa istotna składowa kompresyjna lub tensyjna działająca prostopadle do powierzchni uskoku (por. np. Jaroszewski, 1980; Dadlez & Jaroszewski, 1994). Powstanie fałdów w Wylewie oraz odpowiedzialne za nie lewoskrętne przemieszczenie przesuwcze wzdłuż wglębnych uskoków ograniczających zrąb Ryszkowej Woli musiało mieć miejsce w polu naprężeń o prawie horyzontalnej osi maksymalnego naprężenia kompresyjnego, ukierunkowanej wzdłuż azymutu 75–85°. Wynika to z orientacji tych fałdów oraz układu uskoków rozwiniętych w utworach miocenu przykrywających zrąb Ryszkowej Woli (ryc. 10).

Sejsmiczne rozpoznanie wglębnego układu uskoków w miocenie w rejonie Wylewy (Krzywiec i in., 2003, 2005) pozwala nie tylko na wyjaśnienie genezy opisanych fałdów i określenie orientacji sprawczej kompresji tektonicznej, ale umożliwia też genetyczną interpretację większości spośród wyróżnionych zespołów ciosu (ryc. 3). Oprócz scharakteryzowanego już krótko powyżej systemu ciosu 1), bezpośrednio związanego z wykształceniem się fałdów (zespoły ciosu L i Q, względnie miejscami Q1 i Q2), w wyrobisku w Wylewie wyróżnić można inne systemy ciosu — zinterpretowane w odniesieniu do znanej z prac Krzywca i in. (2003, 2005) budowy i aktywności tektonicznej zrębu Ryszkowej Woli w podłożu opisywanego wyrobiska. Wydzielone zostały systemy: 2) cios nadprzesuwczy, bezpośrednio odzwierciedlający lewoskrętne przemieszczenie przesuwcze wzdłuż zrębu Ryszkowej Woli, 3) ortogonalny system ciosu, nawiązujący wprost do orientacji zrębu i sprzężony najprawdopodobniej z przemieszczeniami zrzutowymi na lokalnych uskokach o takiej kinematyce i orientacji jak w osadach miocenu podścielających badane wyrobisko.



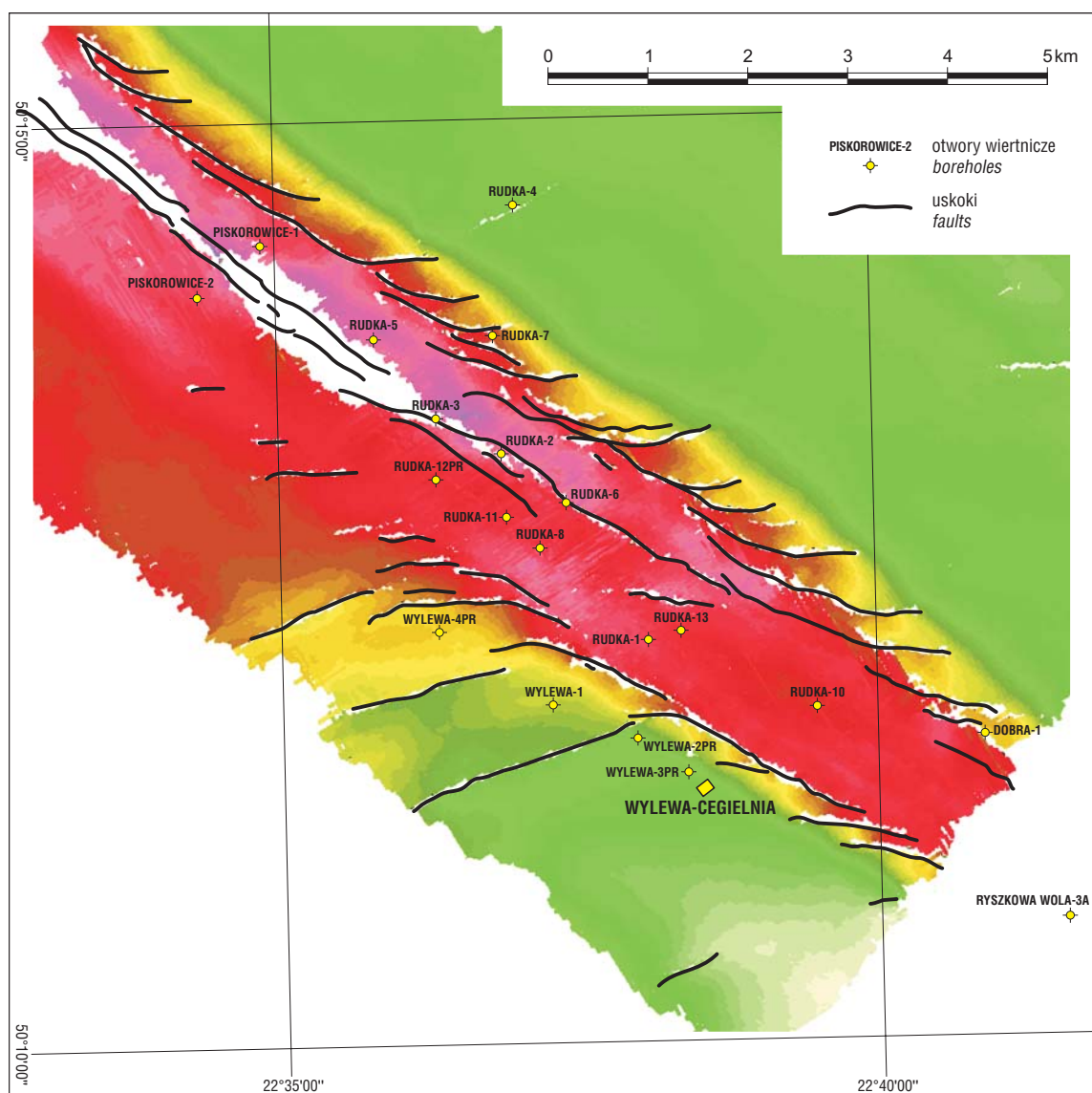
Ryc. 8. Kliważ ołówkowy w pionowym, wschodnim skrzydle antykliny z ryc. 7, równoległy do osi fałdu. Widok ku wschodowi
Fig. 8. Pencil cleavage in the vertical, eastern limb of the anticline from Fig. 7, parallel to the fold axis. View looking east



Ryc. 9. Steeply zapadające ily krakowieckie we wschodnim skrzydle antykliny z ryc. 7 ukazujące powierzchnię uławiczenia rozciętą gęstymi, anastomozującymi mikrouskokami prawie równoległymi do osi fałdu (lineacja schodkowa *sensu* Aleksandrowski, 1980). Widok ku północnemu wschodowi

Fig. 9. Steeply dipping Krakowice clay in the eastern limb of the anticline from Fig. 7, showing top surface cut with dense anastomosing microfaults subparallel to the fold axis (“step-like lineation” of Aleksandrowski, 1980). View looking northeast

Nadprzesuwczy system ciosu obejmuje klasycznie zorientowane względem dyslokacji głównej (np. Tchalenko, 1970; Dadlez & Jaroszewski, 1994) nisko- i wysokokątowe ścięciowe spękania Riedla (zespoły R i R'), spękania tensyjne (zespół T) oraz tzw. ścięcia wtórne, obsekwentne (zespół P; ryc. 3). Słabiej zaznacza się ortogonalny system ciosu, którego wzajemnie prostopadle zespoły H_Q i H_L (ryc. 3) wykazują przebieg odpowiednio poprzeczny i równoległy do dyslokacji ograniczających zrąb Ryszkowej Woli. Prawdopodobnie spękania tego systemu utworzyły się w pobliżu uaktywnionych w miocenie nadkładzie zrębu uskoków zrzutowych, potomnych w stosunku do dyslokacji ramowych. Część z widocznych na diagramach (ryc. 3) zespołów spękań (np. zespoły o biegach N-S i NNE-SSW) nie znajduje jednak wyjaśnienia w ramach powyższych schematów. Być może spękania te odzwierciedlają nierozpoznaną dotąd, odrębną kinematycznie i dynamicznie aktywność tektoniczną, która pomiędzy końcem miocenu a czasami współczesnymi oddziaływała na układ struktur w nadkładzie zrębu Ryszkowej Woli.



Ryc. 10. Wgłębny układ uskoków nadprzesuwczych, rozwiniętych powyżej zrębu Ryszkowej Woli w stropie jednego z ogniw miocenu w rejonie Wylewy, na podstawie interpretacji zdjęcia sejsmicznego 3D (wg Krzywca i in., 2003 — uproszczona). Kolory oznaczają względną głębokość zalegania jednego z horyzontów sejsmicznych (czerwony — najpłycej, zielony — najgłębiej)

Fig. 10. Array of blind, mostly normal faults, overlying the strike-slip related pop-up and horst of Ryszkowa Wola, based on 3D seismics on an intra-Miocene reflector (after Krzywiec et al., 2003 — simplified). Relative depth one of the seismic horizons (in red — the shallowest, in green — the deepest one)

Opisany w tej pracy układ struktur nadprzesuwczych w Wylewie, jak też i udokumentowana przez Krzywca i in. (2003, 2005) lewoskrętno-przesuwczą genezę zrębu Ryszkowej Woli świadczą o młodej, późno- lub postsedymentacyjnej aktywności tektonicznej podłoża tej części zapadliska przedkarpacciego (uważanej dotychczas za wczesną, synsedymencyjną, np. Dziadzio & Jachowicz, 1996; Krzywiec, 1998). Najwyraźniej aktywność ta, zlokalizowana wzdłuż zreaktywowanych uskoków podłoża o kierunku NW-SE, odzwierciedla nieznaną dotąd z literatury dotyczącej polskich Karpat i zapadliska późnoneogeński etap kompresji tektonicznej wzdłuż kierunku \pm E-W do ENE-WSW. Taki etap równoleżnikowej kompresji tektonicznej o znacznym zasięgu regionalnym został udokumentowany przez Peressona i Deckera (1997) na rozległym obszarze — od Alp Wschodnich, przez basen wiedeński, słowackie Karpaty wewnętrzne, po basen panoński, a z uwzględnieniem danych innych autorów — od Alp

Zachodnich i ich północnego przedmurza, aż po Góry Apuśni i rumuńskie Karpaty Wschodnie. Etap ten został datowany na późny panon i pont, w interwale czasowym pomiędzy 9 i 5,3 Ma (Peresson & Decker, 1997). Został on zinterpretowany jako przejściowy stan regionalnego pola naprężeń następujący po regionalnej kompresji \pm N-S na obszarze Wschodnich Alp i Karpat Zachodnich podczas wczesnego i środkowego miocenu oraz poprzedzający regionalną kompresję N-S tzw. fazy wołoskiej na obszarze karpacko-panońsko-alpejskim w czasie pliocenu-plejstocenu. Regionalna kompresja E-W miałaby być przejawem dalekosiężnego, śródpłytkowego pola naprężeń (ang. *far-field intraplate stress*) generowanego przez siły oddziałujące na granicę płyt w zewnętrznych Karpatach Wschodnich, gdzie trwały jeszcze wtedy aktywne ruchy nasuwcze związane z finalnym etapem subdukcji litosfery oceanicznej i „miękką” kolizją bloków Karpat wewnętrznych z platformowym przedpołem orogenu (por. Sperner i in., 2002).

Wnioski

W najwyższych stratygraficznie ogniwach miocenu we wschodniej części polskiego segmentu zapadliska przedkarpackiego w odsłonięciu w Wylewie stwierdzono intensywne zaburzenia tektoniczne w postaci fałdów, uskoków i ciosu. Układ tych struktur daje się jednoznacznie zinterpretować w kategoriach klasycznych struktur nadprzesuwczych. Potwierdza on lewoskrętne przemieszczenia wzdłuż uskoków brzeżnych ukierunkowanego NW-SE zrębu Ryszkowej Woli w podłożu tej części zapadliska, stwierdzone na podstawie nowego zdjęcia sejsmicznego 3D (Krzywiec i in., 2003; 2005) wykonanego przez przemysł naftowy. Obecność wspomnianych struktur świadczy ponadto o młodej, późno- lub postsedymentacyjnej aktywności tektonicznej podłoża tej części zapadliska (uważanej dotychczas za wczesną, synsedymencyjną). Aktywność ta była związana z nieopisanym dotąd w polskiej literaturze późnoneogeńskim etapem kompresji tektonicznej wzdłuż kierunku $\pm E-W$ do ENE-WSW, który należy łączyć z regionalnym etapem równoleżnikowej kompresji na obszarze alpejsko-wewnętrzno-karpacko-panońskim podczas późnego panonu i pontu (9–5,3 Ma) opisanym szczegółowo przez Peressona i Deckera (1997).

Badania wykonano w ramach prac nad rozpoznaniem budowy i ewolucji geologicznej zrębu Ryszkowej Woli, finansowanych przez PGNiG SA oraz przez Komitet Badań Naukowych w ramach badań statutowych PIG (temat 6.20.1439.00.0). Udział jednego z autorów (P.A.) został sfinansowany z grantu Uniwersytetu Wrocławskiego nr 2022/W/ING.

Literatura

- ALEKSANDROWSKI P. 1980 — Step-like tectonic lineation in the Magura flysch (Western Outer Carpathians). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 50: 329–339.
- ALEXANDROWICZ S.W. 1964 — Przejawy tektoniki miocenijskiej w Zagłębiu Górnoląskim. *Acta Geol. Pol.*, 14: 175–231.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- DZIADZIO P. & JACHOWICZ M. 1996 — Budowa podłoża utworów miocenu na SW od wyniesienia Lubaczowa. *Prz. Geol.*, 44, 11: 1124–1130.
- GÓRECKI J. 1973 — Przyczynek do mikrotektoniki złoża siarki w Jeziorku k. Tarnobrzega. *Zesz. Nauk AGH, 361, Geologia*, 17: 157–162.
- GRADZIŃSKI R. 1955 — Przyczynki do znajomości miocenu okolic Krakowa. *Acta Geol. Pol.*, 5, 1: 67–79.
- JAROSIŃSKI M. 1992 — Tektonika ilastych skał nadkładu złoża siarki w Machowie k. Tarnobrzega w świetle analizy mezostrukturalnej. *Kwart. Geol.* 36, 1: 121–150.
- JAROSZEWSKI W. 1980 — Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. 2. Wyd. Geol., Warszawa.
- JUCHA S. 1974 — Ułożenie przestrzenne i rozwój fałd miocenu autochtonicznego oraz jego stosunek do nasunięcia karpacko-stebnickiego. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*: 9–20.
- KARNKOWSKI P. & GŁOWACKI E. 1961 — O budowie geologicznej utworów podmiocenijskich przedgórz Karpat środkowych. *Kwart. Geol.*, 5, 2: 372–419.
- KRYŚIAK Z. 1985 — Rola mechanizmów tektonicznych w procesach powstania złoża siarki w Machowie. *Prz. Geol.*, 33, 1: 28–33.
- KRYŚIAK Z. 1986 — Metodyka badań tektonicznych polskich złóż siarki. *Prz. Geol.*, 34, 7: 361–366.
- KRZYWIEC P. 1998 — Miocenijska ewolucja tektoniczna wschodniej części zapadliska przedkarpackiego (Przemysł - Lubaczów) — wyniki interpretacji danych sejsmicznych. [W:] Zdzisław Krzowski i in. (red.) *Budowa geologiczna Rostocza: (100-lecie badań polskich geologów): główne problemy tektoniki, rozwój pokrywy osadowej i hydrogeologia Rostocza, problemy przyrody nieożywionej na Rostoczu*. 69. Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wyd. UMCS, Lublin: 37–46.
- KRZYWIEC P. 1999 — Miocenijska ewolucja tektoniczna wschodniej części zapadliska przedkarpackiego (Przemysł - Lubaczów) w świetle interpretacji danych sejsmicznych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 168: 249–276.
- KRZYWIEC P., ALEKSANDROWSKI P., RYZNER-SIUPIK B., PAPIERNIK B., SIUPIK J., MASTALERZ K., WYSOCKA A. & KASIŃSKI J. 2005 — Budowa geologiczna i geneza miocenijskiego zrębu Ryszkowej Woli w rejonie Sieniawy-Rudki (wschodnia część zapadliska przedkarpackiego) — wyniki interpretacji danych sejsmiki 3D. *Prz. Geol.*, 53: 656–663.
- KRZYWIEC P., KASIŃSKI J., MASTALERZ K., ALEKSANDROWSKI P., WYSOCKA A., JÓŹWIĄK W., WRONICZ S., WRÓBEL G. & PAPIERNIK B. 2003 — Zrąb Ryszkowej Woli (rejon Rudki) — przestrzenna analiza tektoniczno-sedymentacyjna oraz złożowa. *Arch. PGNiG*.
- ŁOMNICKI A.M. 1898 — Iły krakowieckie. *Kosmos*, 22: 571–578.
- ŁOMNICKI A.M. 1900 — Atlas Geologiczny Galicji. Tekst do zeszytu 12: arkusze: Mościska, Lubaczów, Płazów, Jarosław, Leżajsk. Wyd. Kom. Fizjogr. AU, Kraków.
- MALATA T., NESCIERUK P. & WÓJCIK A. 1999a — Deformacje tektoniczne utworów miocenijskich zapadliska przedkarpackiego w odsłonięciu w Wylewie i ich związek z budową podłoża. [W:] *Czwartorzęd wschodniej części Kotliny Sandomierskiej*. 6. Konferencja stratygrafii plejstocenu Polski. Czudec, 31.08–4.09.1999. PIG, Kraków: 117–120.
- MALATA T., NESCIERUK P. & WÓJCIK A. 1999b — Tectonic deformations of the Miocene deposits of the Carpathian Foredeep in the Wylewa exposure (Sandomierz Basin) and their relation to the basement structure. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 387: 137–140.
- MANDL G. 1988 — *Mechanics of Tectonic Faulting*. Elsevier, Amsterdam.
- MITURA F. & KUCIŃSKI T. 1952 — Przyczynki do budowy geologicznej rejonu Dębowa-Drogomyśla. *Geol. Biul. Inf.*, 3: 77–78.
- NESCIERUK P. 1999 — Tectonics of Miocene deposits in vicinity of Pszczyna, Oświęcim Basin. *Biul. PIG*, 387: 145–148.
- NESCIERUK P. & WÓJCIK A. 2001 — Structures above the faults in the Carpathian Foredeep. *Biul. PIG*, 396: 111–112.
- NIEĆ M. 1970 — Morfologia stropu złóż siarki i jej wpływ na mikrotektonikę skał nadkładu. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 40, 2: 321–340.
- NOWOTARSKI C. & GARA A. 1994 — Mapa strukturalna podłoża miocenu przedgórz Karpat (1:200 000). *Arch. PGNiG, Kraków*.
- ODONNE F. & VIALON P. 1983 — Analogue models of folds above a wrench fault. *Tectonoph.*, 99: 31–46.
- OSMÓLSKI T., KRYŚIAK A. & WILCZYŃSKI M. 1978 — Nowe dane o strefie Kurdwanów - Zawichost i tektonice obszaru od Buska po Nidę i Wisłę. *Kwart. Geol.* 22: 833–850.
- PERESSON H. & DECKER K. 1997 — Far-field effects of Late Miocene subduction in the Eastern Carpathians: E-W compression and inversion of structures in the Alpine-Carpathian-Pannonian region. *Tectonics*, 16, 1: 38–56.
- POŻARYSKI W. & TOMCZYK W. 1968 — Assyntian Orogen in South-East Poland. [W:] *Z badań struktur podłoża Polski*, t. 13. *Biul. Inst. Geol.*, 237: 13–27.
- POŻARYSKI W., VIDAL C. & BROCHWICZ-LEWIŃSKI W. 1981 — Nowe dane o dolnym kambrze południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. [W:] *Żakowa H. (red.) Przew. 53. Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego*. Kielce 6–8.09.1981. Wyd. Geol., Warszawa: 27–34.
- PRICE N.J. & COSGROVE J.W. 1990 — *Analysis of geological structures*. Cambridge University Press, Cambridge-New-York.
- RICHARD P., NAYLOR M.A. & KOOPMAN A. 1995 — Experimental models of strike-slip tectonics. *Petrol. Geosci.*, 1: 71–80.
- SAMSONOWICZ J. 1927 — O wychodniach ilów krakowieckich w Krzeszowie nad Sanem. *Posiedz. Nauk. PIG*, 18.
- SAMSONOWICZ J. 1955 — O górnym prekambry (ryfeju) w Polsce. *Biul. PAN* 3, 9.
- SPERNER B., RATSCHBACHER L. & NEMČOK M. 2002 — Interplay between subduction retreat and lateral extrusion: Tectonics of the Western Carpathians. *Tectonics*, 21, 6: 1051–1075.
- TCHALENKO J.S. 1970 — Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81: 1625–1640.
- WÓJCIK A. (w druku) — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000. *Arkuszy Radymno*. PIG, Warszawa.
- ŻYTKO K., ZAJĄC R., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., GALICKA I., NEMČOK J., ELIÁŠ M., MENČEK E. & STRÁNIK Z. 1988 — *Map of Tectonic Elements of the Western Outer Carpathians and their Foreland*. Instytut Geologiczny, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 25.4.2005 r.
Akceptowano do druku 22.5.2007 r.