

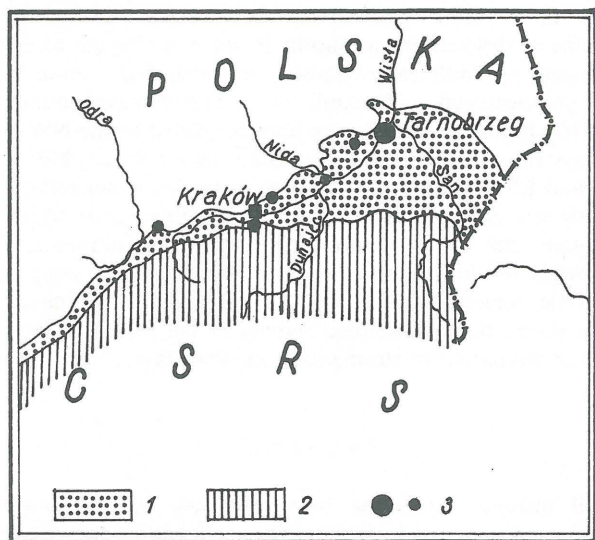
ROLA MECHANIZMÓW TEKTONICZNYCH W PROCESACH POWSTAWANIA ZŁOŻA SIARKI W MACHOWIE

UKD 551.243.1 + 551.243.3:553.661.1.068:551.782.13/79(438-35tarnobrzescie, Machów)

Wiele nie wyjaśnionych do końca problemów, dotyczących genezy złóż siarki polskiego przedkarpacia oraz lokalizacji ich najbogatszych partii wynika, w znacznym stopniu, z braku szczegółowego rozpoznania tektoniki tych złóż. Znajomość planu strukturalnego złóż siarki jest nieodzownym czynnikiem właściwego projektowania kierunków eksploatacji i poszukiwań (12, 7).

Punktem wyjścia dla większości opracowań dotyczących tektoniki miocenu przedkarpacciego była znajomość planu strukturalnego podłoża przedmiocenińskiego, uzyskana dzięki pracom geofizycznym i wiertniczym prowadzonym w związku z poszukiwaniem ropy i gazu oraz siarki (5, 15-17, 3, 7). Jednakże dopiero szczegółowa analiza zjawisk tektonicznych w samych utworach miocenińskich pozwala na stworzenie dynamicznego modelu tektoniki tych utworów.

W rejonie tarnobrzesckim, jedynie w odkrywkowej kopalni siarki w Machowie (ryc. 1), istnieje możliwość prowa-



Ryc. 1. Rozmieszczenie złóż siarki rodzimej w zapadlisku przedkarpaccim

1 - zapadlisko przedkarpaccie, 2 - Karpaty, 3 - złoża siarki. Duże złoża odkryte w latach 1953-55 oraz małe złoża, z których większość była dawniej eksploatowana

Fig. 1. Distribution of native sulfur deposits in the Carpathian Foredeep

1 - Carpathian Foredeep, 2 - Carpathians, 3 - sulfur deposits. Major deposits have been discovered in the years 1953-1955; the majority of minor deposits have been exploited in the past

dzenia bezpośrednich obserwacji i pomiarów. W latach 1975-1982 autorka prowadziła badania w serii złożowej i w ilach nadkładu złoża (ryc. 2) wschodniej ściany kopalni, stanowiącej front robót eksploatacyjnych. Badania terenowe zostały uzupełnione interpretacją zdjęć lotniczych.

Utwory miocenu kopalni Machów tworzą 2 piętra strukturalne różniące się stylem tektonicznym (ryc. 3):

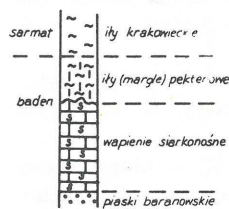
- dolne, obejmujące utwory badenu, w którym zaznacza się wyłącznie tektonika dysjunktywna;
- górne, obejmujące ily krakowieckie sarmatu, ujęte w szereg fałdów, nasunięć, uskoków odwróconych i drobnych uskoków normalnych.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i interpretacji zdjęć lotniczych (ryc. 4), stwierdzono występowanie w złożu 2 systemów uskoków (ryc. 5):

- 1) złożony z zespołów:
 - NNW-SSE do N-S 160-180°
 - ENE-WSW do W-E 80-110°
- 2) złożony z zespołów
 - NW-SE 140-150°
 - NE-SW 50-60°

Uskoki zespołów N-S i NW-SE o upadach 50-70° są uskokami normalnymi (ryc. 6), a ich skrzydła zrzucone są najczęściej zrotowane antytetycznie. Uskoki zespołów W-E oraz NE-SW mają upady 70-90°; jak wynika z orientacji rys tektonicznych (ryc. 6) są to najczęściej uskoki przesuwcze bądź zrzutowo-przesuwcze. Dyslokacje obu omawianych systemów dzielą serię złożową na wiele bloków zrzuconych wzdłuż uskoków o rozciągłości południkowej i poprzesuwanym wzdłuż uskoków równoleżnikowych (ryc. 7).

Uskoki te przecinają również warstwy pektenowe, wyrównujące strop złoża i wciśnięte kieszeniami krasowymi głęboko w złożo. Warstwy pektenowe w kopalni Machów mają silnie zredukowaną miąższość (0-3 m), wykształcone są jako utwory margliste z wkładkami wapieni, w wielu miejscach autorka stwierdziła w ich obrębie występowanie brekcji (zona *Neobulimina longa**) i śladów rozmyć dokumentujących lukę sedymentacyjną, datującą wiek usko-



Ryc. 2. Schematyczny profil stratygraficzny utworów miocenu kopalni Machów

Fig. 2. Sketch stratigraphic column of Miocene strata in the Machów mine

* Oznaczenie mikrofaunistyczne wg E. Odrzywolskiej-Bieńkowskiej (Arch. IG, 1984).

ków badńskiego piętra strukturalnego na przełom badenu i sarmatu (zona *Hanzawaia crassiseptata*) (por. – 11).

Ruchy tektoniczne z przełomu badenu i sarmatu polegały na utworzeniu się wielu uskoków normalnych o rozciągłości południkowej i rotacji antytetycznej ich skrzydeł zrzuconych. W ten sposób powstał system pułapek tektonicznych dla węglowodorów. Należy jednak przypuszczać, że na tym etapie migracja węglowodorów i proces metasomatozy gipsów w skali złożowej jeszcze się nie rozpoczęły. Uskoki normalne utworzone w „zrzuconym” polu naprężeń nie mogły stać się drogami wędrówki dla węglowodorów ze względu na niewielki zasięg wgłębny. Jeśli jednak nawet założyć, że pewną ilość węglowodorów dotarła do gipsów to brak szczelnej pokrywy ilastej uniemożliwił ich zatrzymanie.

Mógł natomiast nastąpić silny rozwój zjawisk krasowych w gipsach, odsłoniętych lub przykrytych cienką warstwą iłłów pektenowych i pociętych uskokami (por. 2 faza krasowienia gipsów; 11). Po osadzeniu się iłłów krakowieckich sarmatu miała miejsce druga faza ruchów tektonicznych. W utworach badenu powstały uskoki przesuwcze a w iłłach krakowieckich fałdy, uskoki odwrócone i nasunięcia (ryc. 9 i 11).

Zaburzenia występujące w iłłach nadkładu złoża siarki były opisywane jako efekty ich zapadania się nad pustkami krasowymi i nierównościami stropu serii złożowej (8, 18, 22). Prowadząc obserwacje w odkrywcze machowskiej autorka stwierdziła, że jedynie ility i margle warstw pektenowych ugięte są współkształtnie nad nierównościami stropu złoża i wyrównują je. Natomiast przebieg zaburzeń w iłłach krakowieckich jest niezależny od ukształtowania stropu złoża, którego obniżeniom często odpowiadają przeguby antyklin w iłłach krakowieckich. Osi antyklin zorientowane są w azymutach 110–140°, a drobne uskoki odwrócone i nasunięcia mają biegi 110–150°, odpowiadają więc kompresji o kierunku 20–60° (ryc. 8). Uskoki przesuwcze w dolnym piętrze strukturalnym mają rozciągłość 60–100° czyli zorientowane są pod kątem 40–45° do kierunku kompresji zaznaczającego się w górnym piętrze strukturalnym (por. ryc. 6 i 8). Należy zatem przypuszczać, że kompresja powodująca sfałdowanie i nasunięcia w iłłach krakowieckich jest wtórna (pochodna) względem sinistralnego ruchu przesuwczego uskoków serii osadów chemicznych.

Objawy działania kompresji horyzontalnej zostały stwierdzone również w miocenie niecki niżniańskiej (13, 6), co zdaje się świadczyć o regionalnym znaczeniu posarmackiego „przesuwczego” pola naprężeń. Należy przypuszczać, że ruchy te odpowiadają ostatniej fazie przemieszczeń horyzontalnych w Karpatach (faza attycka) i wynikają z ogólnego skrócenia Karpat i przedgórze w tym czasie.

Posarmackie ruchy przesuwcze miały istotne znaczenie dla formowania się złoża siarki. Uskoki przesuwcze ze względu na ich znaczny zasięg wgłębny odgrywają istotną rolę jako drogi migracji dla substancji mineralnych (21, 14, 23). Na obszarach współczesnej aktywności tektonicznej o charakterze przesuwczym stwierdzono migrację węglowodorów w ilości 10¹⁰ l, ruchy przesuwcze wzdłuż strefy translacyjnej długości 10 km (trzęsienie ziemi Matsushiro) spowodowały przepływ gorących wód w ilości 10¹⁰ l/rok (20).

Podobnie posarmackie przemieszczenia przesuwcze, działające wzdłuż dyslokacji W–E i NE–SW, spowodowały migrację węglowodorów do wcześniej utworzonych pułapek tektonicznych w gipsach, które już były przykryte szczelnym płaszczem iłłów pektenowych i krakowieckich, co umożliwiło rozpoczęcie procesu metasomatozy, tj. redukcję gipsów węglowodorami do siarkowodoru. Termin

„pompa tektoniczna” wprowadzony przez T. Osmólskiego (12) trafnie określa charakter tych ruchów.

Ostatni trzeci etap formowania się złoża siarki, polegający na utlenianiu siarkowodoru do siarki, związany jest z czwartorzędowymi i współczesnymi ruchami neotektonicznymi, które spowodowały odmłodzenie wszystkich dyslokacji i rozwarcie szczelin uskokowych, ułatwiające dopływ wód powierzchniowych bogatych w tlen. Ruchy neotektoniczne udokumentowane są uskokami normalnymi w nadkładzie złoża (ryc. 13–15).

Przedstawiony 3-etapowy rozwój tektoniki, prowadzący do utworzenia się złoża siarki w Machowie, potwierdza słuszność koncepcji T. Osmólskiego (11, 12), zgodnie

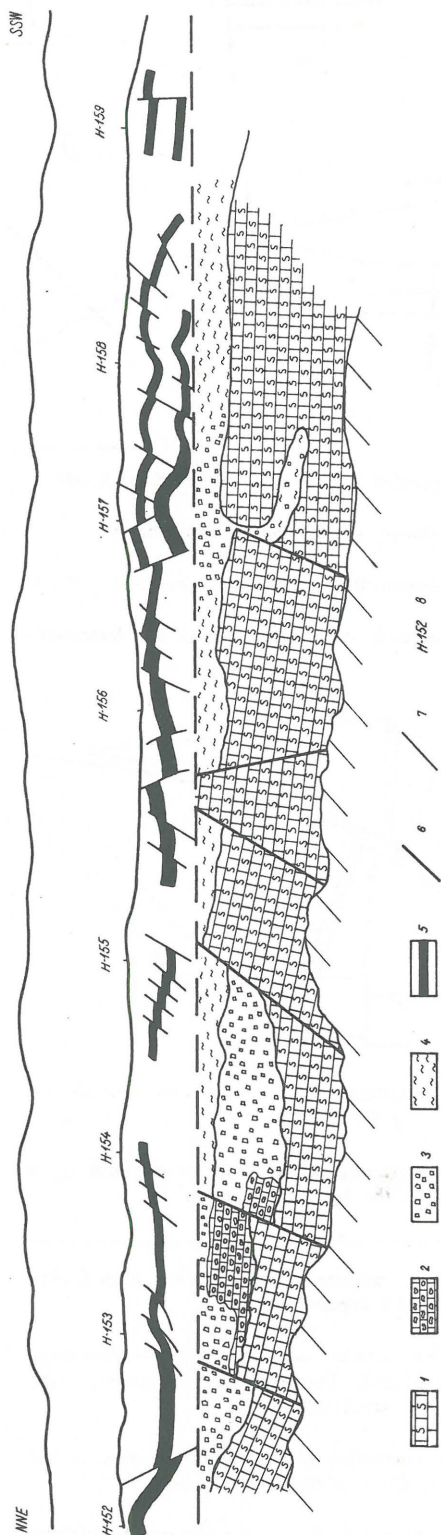
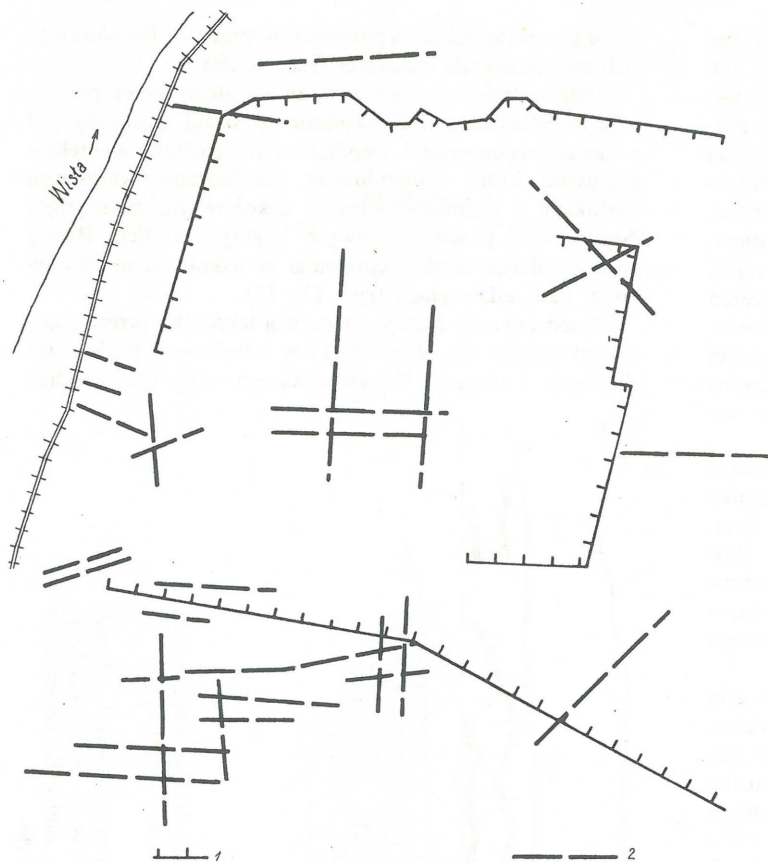


Fig. 3. Tectonic sketch of eastern wall in the Machów mine; horizontal at scale 1:1200, and vertical – 1:300

1 – sulfur-bearing limestones, 2 – barren limestones, 3 – breccia and Pecten lumachelles, 4 – Pecten clays, 5 – Krakowice Clays, 6 – faults cutting deposit, 7 – faults cutting Krakowice Clays, 8 – draining wells.

Ryc. 3. Szkic tektoniczny wschodniej ściany wyrobiska kopalni Machów, skala pozioma 1:1200, pionowa 300

1 – wapienie siarkonośne, 2 – wapienie płonne, 3 – brekcje i zlepy pektenowe, 4 – ility pektenowe, 5 – ility krakowieckie, 6 – uskoki w złożu, 7 – uskoki w iłłach krakowieckich, 8 – studnie odwadniające

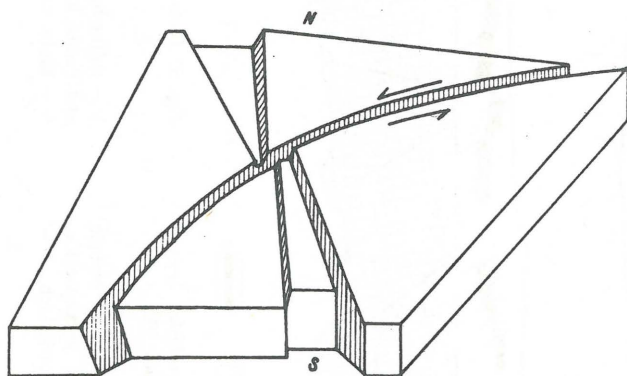


Ryc. 4. Plan lineamentów kopalni Machów, skala 1:10 000

1 – kontur skarpy wyrobiska, 2 – lineamenty

Fig. 4. Sketch map of lineaments in the Machów mine, scale 1:10,000

1 – contour of escarpment of mining works, 2 – lineaments



Ryc. 7. Blokdiagram tektoniczny serii osadów chemicznych kopalni Machów

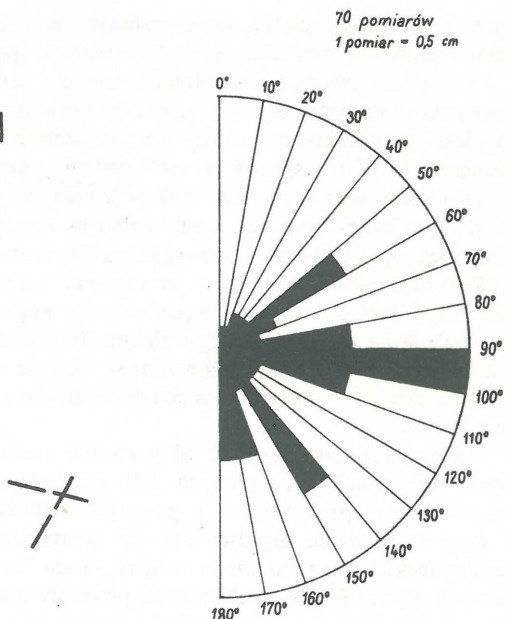
Fig. 7. Tectonic blockdiagramme of the series of chemical rocks from the Machów mine

Ryc. 8. Diagram orientacji zaburzeń tektonicznych w ilach krakowieckich kopalni Machów

1 – biegun powierzchni uskoku odwróconego, 2 – orientacja osi antykliny, 3 – kierunek kompresji odpowiadający tym strukturom

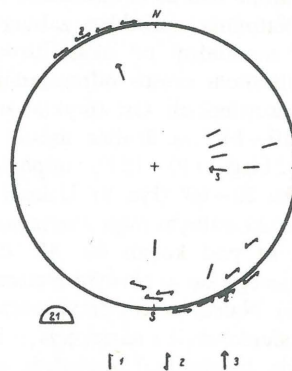
Fig. 8. Diagramme of orientation of tectonic disturbances in the Krakowiec Clays in the Machów mine

1 – pole of plane of reversed fault, 2 – orientation of anticlinal axis, 3 – directions of compression, corresponding to the above structures



Ryc. 5. Diagram kierunków uskoków kopalni Machów

Fig. 5. Diagramme of directions of faults in the Machów mine

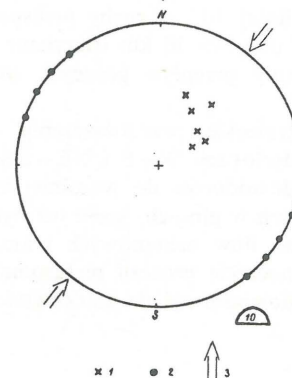


Ryc. 6. Diagram orientacji struktur ślizgowych w wapieniach siarko-żelaznych kopalni Machów

1 – biegun lustra (środek kreski), azymut rys (kierunek kreski), 2 – zwrot ruchu przesuwczego, 3 – zwrot ruchu skrzydła wyższego

Fig. 6. Diagramme of orientation of slickensides in sulfur-bearing limestones of the Machów mine

1 – pole of slickensides (center of stroke), azimuth of scratches (direction of stroke), 2 – turn of transcurrent movement, 3 – turn of movement of a higher limb





Ryc. 9. Antyklina w ilach krakowieckich z uskokiem normalnym w strefie przegubowej

Fig. 9. Anticline in the Krakowice Clays, with a normal fault in its hinge zone



Ryc. 10. Ugięcie antyklinalne i drobne nasunięcia w skrzydle, ily krakowieckie

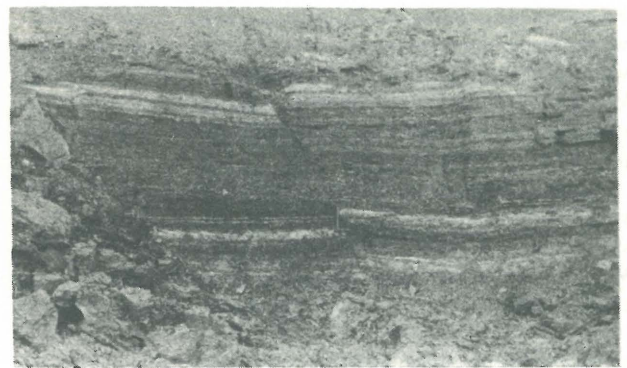
Fig. 10. Anticlinal bend and minor overthrusts in limb, the Krakowice Clays



Ryc. 11. Seria drobnych uskoczków odwróconych – ily krakowieckie

Fig. 11. A series of minor reversed faults, the Krakowice Clays

z którą początek metasomatozy gipsów miał miejsce nie wcześniej jak po sarmacie. Opisany mechanizm powstawania złożeń siarki w Machowie, zdeterminowany tektoniką, jest przypuszczalnie słuszny również dla innych złożeń siarki miocenu przedgórza Karpat, o czym może świadczyć pozycja strukturalna tych złożeń. Złożenie siarki w Czarkowy nad Nidą znajduje się na skłonie zrębu kredowego w zrotowanym antytetycznym skrzydle uskoku (6); podobnie złożenie siarki w Posądzu zlokalizowane jest na skłonie struktury



Ryc. 12. Uskok odwrócony – ily krakowieckie

Fig. 12. Reversed fault – the Krakowice Clays



Ryc. 13 i 14. Ugięcie warstw i uskoki normalne w ilach krakowieckich

Figs. 13 and 14. Bends of strata and normal faults in the Krakowice Clays



Ryc. 15. Drobne uskoki normalne w ilach krakowieckich

Fig. 15. Minor normal faults in the Krakowice Clays

zrębowej (10). Również najbogatsze złoża węglowodorów w miocenie przedkarpackim koncentrują się na skłonach wyniesień podłoża oraz w obniżeniach, a nie w strefach kulminacji podłoża, jak sądzono dotychczas (1, 4). Wystąpienie ropy w Wólczy (24, 2) znajduje się także na skłonie zrębu kredowego.

Zatem obszary najbardziej perspektywiczne dla poszukiwania złóż siarki i bituminów odpowiadają zrotowanym skrzydłom uskoków zrzutowych, ograniczających zręby. W kopalni Machów strefy najsilniej osiarkowane występują w skrzydłach zrzucanych uskoków NW-SE i N-S. Autorka sądzi, że znaczenie perspektywiczne dla złóż siarki powinny mieć również strefy uskoków przesuwczych, a szczególnie miejsca ich skrzyżowań z uskøkami zrzutowymi. W kopalni Machów w tych strefach zaznacza się silny rozwój zjawisk krasowych i bogata mineralizacja.

LITERATURA

1. Cisek B. — Budowa geologiczna miocenu autochtonicznego wschodniej części przedgórzia Karpat. *Prz. Geol.* 1983 nr 12.
2. Czarnocki J. — Poszukiwania ropy naftowej w okolicach Wólczy i na obszarach sąsiednich po obu stronach Wisły w r. 1929–31. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 1939 t. 18.
3. Jawor E. — Wgłębna budowa geologiczna na wschód od Krakowa. *Acta Geol. Pol.* 1970 z. 4.
4. Jawor E. — Utwory miocenu między Krakowem a Dębicą. *Prz. Geol.* 1983 nr 12.
5. Karnkowski P., Głowacki E. — Utwory podmiocenijskie przedgórzia Karpat środkowych. *Kwart. Geol.* 1961 nr 2.
6. Krysiak Z. — Tektonika utworów strontonośnych i ich podłoża w odsłonięciu czarkowskim. *Spraw. z Pos. IG, Kwart. Geol.*, 1982 nr 2.
7. Kubica B. — O możliwości prognozowania istotnych dla podziemnego wytopiania siarki parametrów geologicznych na przedpolu eksploatacji. *Biul. Inst. Geol.* 1978 t. XIII.
8. Nieć M. — Morfologia stropu złoża siarki i jej wpływ na mikrotektonikę skał nadkładu. *Rocznik PTG*, 1970 t. XL z. 2.
9. Nieć M. — Kras a geneza złóż siarki w Polsce (dyskusja). *Kwart. Geol.* 1977 nr 4.
10. Osmólski T. — Wpływ budowy geologicznej brzeżnych partii niecki działoszyńskiej na rozwój procesu metasomatozy gipsów miocenijskich. *Biul. Inst. Geol.* 1972.
11. Osmólski T. — Kras a geneza złóż siarki w Polsce. *Kwart. Geol.* 1976 nr 3.
12. Osmólski T. — Kras a geneza złóż siarki w Polsce (odpowiedź). *Kwart. Geol.* 1977 nr 3.
13. Osmólski T., Krysiak Z., Wilczyński M.S. — Nowe dane o strefie Kurdwanów–Zawichost i tektonice obszaru od Buska po Nidę i Wisłę. *Ibidem* 1978 nr 4.
14. Pawlinow W.N. — Głębinyje sdwigi i parageniezticzkeski sopriazennyje s nimi dizjunktiwnyje struktury. *Gieol. i razw.* 1977 nr 8–9.
15. Pawłowski S. — Problemy trzeciorzędu i zagadnień surowcowych w zapadlisku przedkarpackim. *Pr. Inst. Geol.* 1963 t. 30, cz. IV.
16. Pawłowski S. — Zarys budowy geologicznej oko-

- lic Chmielnika–Tarnobrzega. *Wyd. Geol.* 1965.
17. Pawłowski S. — Geologia złóż siarki w Polsce. [In:] *Geologia i surowce mineralne Polski. Biul. Inst. Geol.* 1970 nr 251.
18. Perecowicz M.G. — Karstowi procesi ta ich wpliw na dislokaciju razkriwnich porid rozdolskogo rodowiszczu. *Dokl. AN USSR, Kijew* 1963.
19. Piątkowski T. — Kras w osadach tortonu okolic Piaseczna koło Tarnobrzega. *Kwart. Geol.* 1974 nr 4.
20. Sibson R.H., Mc Moor J., Rankin R.H. — Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism. *J. Geol. Soc.* 1975 no. 6.
21. Sperling H. — Beziehungen zwischen Tektonik und hydrothermalen Mineralisation in Grunder Erzeugungen. *Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges.*, 1973 Bd. 124, H. 1.
22. Tkaczuk Ł.G., Kołtun W.I. — Niekotoryje woprosy karsta w gipsoangidritowom gorizontie Pri-dniestrowia. *Gieol. žur.* 1963 t. 23 wyp. 4.
23. Utkin W.P. — Razwitiye naruszenija i skladczatyje sooruzenija Wostocznogo Primorja. *Izd. AN SSSR, sier. gieol.* 1977 no. 3.
24. Zuber R. — Kilka słów o nafcie w Wólczy. *Kosmos* 1902, z. IX–XII.

SUMMARY

The results of studies carried out in the Machów mine in the years 1975–1982 and interpretation of air photos made it possible to reconstruct tectonics of the deposit and succession of tectonic movements which affected Miocene strata. The studies showed three stages of tectonic movements most important for origin of the sulfur deposit include:

1) Movements from the turn of the Badenian and Sarmatian, involving antithetic rotation of block and giving rise to a system of tectonic traps for subsequently formed deposit.

2) Transcurrent movements which had taken place after the Sarmatian (after sedimentation of the Krakowic Clays), making possible migration of hydrocarbons to previously formed traps tightly sealed with the overlying clays.

3) Quaternary and recent movements, leading to rejuvenation of all the faults in the downthrust stress field. The movements resulted in opening of fault fissures and, therefore, made possible inflow of oxygen-rich surface waters, necessary for oxidation of H_2S to sulfur.

Two systems of faults were differentiated: a) that comprising sets of N–S and W–E oriented faults, and b) that comprising sets of NW–SE and NE–SW oriented faults. Faults of the sets N–S and NW–SE are normal, with antithetically rotated downthrown limbs, and those of the sets W–E and NE–SW – transcurrent and downthrown-transcurrent in character.

Tectonic styles of the deposit series and overlying rocks (clays) differ due to differences in susceptibility of the rocks to deformation. The origin of folds and reversed faults in the Krakowic Clays may be explained in terms of a horizontal compression, related to transcurrent movements along faults in the series of chemical sediments.

In the Machów mine, zones richest in sulfur are related to antithetically rotated limbs of NW–SE and N–S oriented faults and also to the neighbourhood of transcurrent (NE–SW and W–E oriented) faults.