

## METODYKA BADAŃ TEKTONICZNYCH POLSKICH ZŁÓŻ SIARKI

UKD 528.77:550.814:551.24:553.661.1(438-12)

Badania tektoniki polskich złóż siarki, oparte na nowych metodach, prowadzone są w Zakładzie Geologii Złóż Surowców Chemicznych Instytutu Geologicznego od 1975 r. Metody te można podzielić na dwie grupy: 1 – techniki teledetekcyjne, 2 – analiza mezostrukturalna.

### TECHNIKI TELEDETEKCYJNE

Do tej grupy badań należy interpretacja zdjęć lotniczych, radarowych i satelitarnych. Pierwsze prace fotointerpretacyjne z obszarów złóż siarki, wykorzystujące zdjęcia lotnicze wykonano dla złóż: Swoszowice, Posządza i Czarkowy, znajdujących się w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego. Porównanie map geologicznych sporządzonych na podstawie badań podstawowych z planami, fotogeologicznymi opracowanymi dla tych złóż wykazało, że ilość informacji uzyskanych w wyniku fotointerpretacji jest co najmniej trzykrotnie większa od ilości informacji uzyskanych metodami klasycznymi (5). Mapy fotointerpretacyjne okazały się mniej pracochłonne i kilkakrotnie tańsze w wykonaniu względem map geologicznych (7, 8). Metoda fotointerpretacji pozwala bezpośrednio wyznaczyć przebieg dyslokacji\*, co w przypadku interpolacji danych z wierceń jest możliwe tylko w przybliżeniu.

W 1976 r., na zlecenie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Siarkowego w Machowie k. Tarnobrzega została wykonana mapa fotointerpretacyjna dla złoża Basznia (6). Okazało się, że budowa tektoniczna tego złoża jest bardzo skomplikowana a ilość szczegółów ujawnionych dzięki metodzie fotointerpretacji jest znacznie większa niż wynika to z mapy strukturalnej złoża, przedstawionej w dokumentacji w kat. C<sub>2</sub> (10).

Dokładniejsze dopracowanie kodów fotointerpretacyjnych, dla stref wychodni i płytkiego zalegania utworów miocenu, było możliwe dzięki wykonaniu w 1978 r. dwóch opracowań wykorzystujących metody teledetekcyjne (interpretację zdjęć lotniczych i satelitarnych; 7, 8). Oprócz lineamentów odpowiadających dyslokacjom, dzięki zmienności fototonalnej udało się prześledzić w wielu przy-

padkach przebieg granic geologicznych oraz zjawisk kraśowych. Należy jednak zaznaczyć, że stopień czytelności materiałów teledetekcyjnych jest bardzo różny, co wynika nie tylko z jakości zdjęć, ale również z sytuacji morfologiczno-hydrograficznej obszaru (np. strefa tarasu zalewowego Wisły jest praktycznie nieczytelna pod względem tektonicznym dla metody interpretacji zdjęć lotniczych, ze względu na brak zróżnicowania fototonalnego; 8). Również metoda interpretacji zdjęć radarowych daje szczególnie dobre efekty na terenach o urozmaiconej morfologii. W przypadku braku czytelności na zdjęciach lotniczych i radarowych pozostają jedynie zdjęcia satelitarne, jednakże należy pamiętać, że ze względu na ich małą skalę obraz uzyskany z interpretacji generalizuje wszystkie efekty, więc nie można go mechanicznie przenieść na plany tektoniczne w dużych skalach.

Stąd wydaje się słuszne zalecić stosowanie wszystkich technik teledetekcyjnych na etapie prac wstępnych przy sporządzaniu map tektonicznych. Weryfikacja terenowa uzupełniona danymi z wierceń i geofizyki (w przypadku złóż siarki jest to bogaty materiał dokumentacyjny) powinna pozwolić wyeliminować lineamenty nie znajdujące tektonicznego uzasadnienia. Dzięki temu zabiegowi staje się możliwe stworzenie szczegółowej mapy tektonicznej złoża, która jednocześnie nie jest skomplikowanym i niezrozumiałym planem lineamentów. Mimo to kompletne plany lineamentów, uzyskane z różnych danych teledetekcyjnych, powinny być zawsze załączane do opracowań tektonicznych złóż, ponieważ dopływ nowych informacji z dokumentacji w wyższych kategoriach stwarza szansę wyjaśnienia sensu tych lineamentów, które poprzednio przy słabszym stopniu rozpoznania złoża nie były zrozumiałe.

Badania teledetekcyjne pozwalają niezwykle szczegółowo rozpoznać sieć uskokuw w planie, nie dostarczają jednak żadnych informacji o trzecim wymiarze dyslokacji. Uzyskanie informacji o wymiarze wgłębnym uskokuw oraz o dynamice całej sieci uskokuwej umożliwiają bezpośrednio obserwacje i pomiary.

### ANALIZA MEZOSTRUKTURALNA

Obserwacje i pomiary dotyczące mezostruktur prowadzone są w odkrywce kopalni Machów od 10 lat. W la-

\* Tj. lineamentów, jednak zestawienie danych dokumentacyjnych pozwoliło upewnić się, że w większości przypadków są to dyslokacje.

tach 1975–1982 badania mezostrukturalne prowadzone były na wschodniej ścianie odkrywki, stanowiącej wówczas front eksploatacji. Obecnie (lata 1984–1985), w związku ze zmianą kierunku eksploatacji, prowadzone są pomiary na ścianie północnej.

Możliwość prowadzenia pomiarów tektonicznych na dwóch wzajemnie prostopadłych ścianach odkrywki sprawia, że jest ona doskonałym poligonem do badań rzeczywistej orientacji przestrzennej struktur widocznych w serii złożowej i w utworach nadkładu złoża. Zestawienie pomiarów terenowych z kopalni Machów z danymi teledetekcyjnymi pozwoliło opracować rodzaj reperowego kodu rozpoznawczego, który w wielu przypadkach można z powodzeniem stosować dla obszarów złóż nieodsoniętych (9).

Dominujący system uskoków, występujących na obszarze kopalni Machów, rozpoznany na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych i pomiarów terenowych składa się generalnie z 2 zespołów wzajemnie prostopadłych:

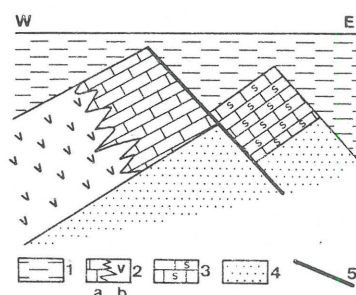
1. N–S 160–180°
2. W–E 80–110°

podrzędnie reprezentowany jest system:

3. NW–SE 140–150°
4. NNE–SSW 10–40°
- do NE–SW 50–60°

(por. 2).

Uskoki o rozciągłości południkowej wyznaczają przebieg głównych struktur o charakterze zrębów i rowów tektonicznych, są to uskoki zrzutowe, normalne o upadach

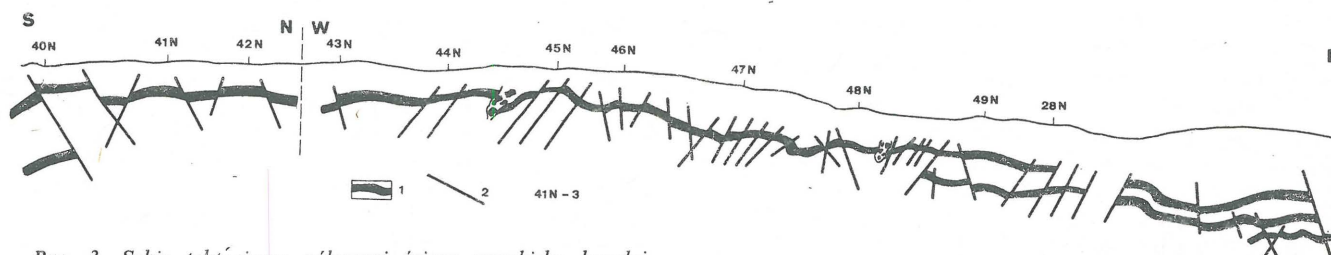


Ryc. 1. Schemat pułapki tektonicznej warunkującej osiarkowanie.

1 – ility krakowieckie, 2a – wapień płonny, b – gipsy, 3 – wapień siarkonośny, 4 – piaski baranowskie, 5 – uskoki antyetyczne.

Fig. 1. Scheme of tectonic trap conditioning accumulation of native sulfur.

1 – Krakowiec Clays, 2a – barren limestones, b – gypsum, 3 – sulfur-bearing limestones, 4 – Baranów Sands, 5 – antithetic fault.

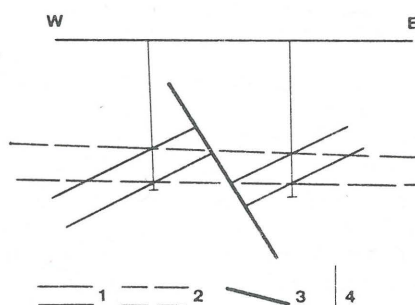


Ryc. 3. Szkic tektóniczny północnej ściany wyrobiska kopalni Machów (nadkład złoża), skala pozioma 1:2000, skala pionowa 1:200.

1 – poziomy korelacyjny w ility krakowieckich, 2 – uskoki, 3 – studnie odwadniające.

30–60°. Skrzydła zrzucone tych uskoków są często zrotowane wstecznie (antyetycznie). Północna ściana kopalni (obecnie eksploatowana) zorientowana jest poprzecznie względem rozciągłości tych struktur, co umożliwia ich obserwację w przekroju. Stopień osiarkowania poszczególnych bloków jest ściśle uzależniony od ich orientacji przestrzennej, tj. bloki osiarkowane stanowią zrotowane wstecznie skrzydła zrzucone uskoków południkowych, a bloki płonne lub słaboosiarkowane odpowiadają skrzydłom wiszącym tych uskoków, które są cienie przykryte ility i silniej skrasowiały (ryc. 1).

W czasie wycieczki do kopalni Machów, którą uczestnicy zjazdu odbyli 8 października br., w NW części ściany północnej można było zobaczyć blok wapieni płonnych o szerokości kilkudziesięciu metrów, podniesiony względem sąsiednich struktur osiarkowanych o 15–20 m. Należy zwrócić uwagę, że uskoki o których mowa mają często zrzuty nie przekraczające 10–15 m, są więc praktycznie nie wykrywalne przy korelacji danych z wierceń tym bardziej, że rotacja warstw spowodowana przez te uskoki niweluje czasami całkowicie efekt zrzutu, co prowadzić może do błędnej interpretacji poziomego zalegania warstw (ryc. 2). Dla procesów metasomatozy ważna jest właśnie rotacja warstw spowodowana przez te uskoki a nie wartość ich zrzutu, gdyż zrotowane bloki przykryte płaszczem ility stały się pułapkami tektonicznymi dla bituminów redukujących gipsy. Istnienie uskoków antyetycznych, tworzących pułapki dla złóż bituminów przedgórza



Ryc. 2. Rzeczywista orientacja warstw w złożu i błędna interpretacja ich orientacji na podstawie danych z wierceń.

1 – rzeczywiste położenie warstw, 2 – położenie warstw wynikające z korelacji danych wiertniczych, 3 – uskoki, 4 – otwory wiertnicze.

Fig. 2. Real orientation of strata in the deposit and misinterpretation of the orientation on the basis of borehole data.

1 – real orientation of strata, 2 – orientation established on the basis of correlation of borehole data, 3 – fault, 4 – boreholes.

Fig. 3. Tectonic sketch of northern wall of the Machów mine (blanket series), horizontal scale 1:2,000, vertical scale 1:200.

1 – marker horizon in Krakowiec Clays, 2 – faults, 3 – draining wells.



Karpat zakładał A. Kisłowski (1). Taki typ pułapek tektonicznych został rozpoznany w złożach węglowodorów Morza Północnego (12, 13, 11). Uskoki przesuwcze i zrutowo-przesuwcze (o kierunkach równoleżnikowych) są również praktycznie niewykrywalne metodami geofizycznymi ani korelacją danych wiertniczych, mimo że ich znaczenie jako „kanałów” przewodzących bituminy było ogromne (2).

Badania mezostukturalne przeprowadzone w kopalni Machów pozwoliły poznać zasięg wgłębny i charakter struktur tektonicznych występujących w serii osadów chemicznych i w utworach nadkładu złoża.

W ramach dotychczas wykonanych badań na obu ścianach odkrywkę poczynione zostały następujące obserwacje:

1. Stwierdzono odmienność stylu budowy tektonicznej serii osadów chemicznych (budowa blokowa) i ilów nadkładu (budowa fałdowa).

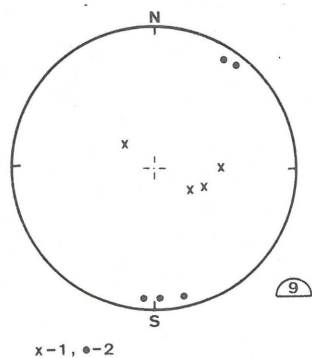
2. Odształcenia plastyczne widoczne w ilach nadkładu tworzą zespół fałdów o amplitudzie od kilku do 10–15 m. Przeważają szerokopromienne ugięcia o promieniu 2-krotnie większym niż wysokość (ryc. 6) jakkolwiek występują również formy izometryczne (por. 2 i ryc. 3). Osi fałdów szerokopromiennych zorientowane są w azymutach 30–40° i 170–180° (ryc. 4).

3. W ilach nadkładu oprócz zaburzeń ciągłych występują drobne uskoki normalne o zrzutach nie przekraczających 1 m (ryc. 3). Znacznie rzadziej, w strefach bliższych stropu złoża występują uskoki odwrócone (por. 2 i ryc. 4). Największe zagęszczenie tych drobnych uskoków obserwuje się w strefach przegubów ugięć fałdowych i fleksuralnych oraz bezpośrednio nad dyslokacjami występującymi w złożu. Jednakże uskoki występujące w ilach nadkładu nie są prostą kontynuacją uskoków złożowych. Stwierdzono 3 dominujące zespoły uskoków nadkładu (ryc. 5):

N–S do NNE–SSW	0–30°
W–E	90–110°
NW–SE	140–150°

ich upady wynoszą 30–60°. Obserwuje się również zespoły ścięć komplementarnych o wartości kąta  $20 > 60^\circ$  (często blisko 90°) (ryc. 7).

4. Bardziej rozwarte zespoły spękań ciosowych i niektóre uskoki są wypełnione ilami nadkładu głęboko wciśniętymi w złożo (2).



Ryc. 4. Diagram orientacji ugięć fałdowych i uskoków odwróconych w ilach krakowieckich (N ściana kopalni).

1 – biegun powierzchni uskoku, 2 – orientacja osi fałdu.

Fig. 4. Diagram of orientation of fault bends and reversed faults in the Krakowice Clays (northern wall of the mine).

1 – pole of fault plane, 2 – orientation of fold axis.

Całość dokonanych dotąd obserwacji i pomiarów w kopalni Machów skłania do następujących wniosków:

1. Dominujący wpływ na budowę strukturalną złoża wywarł generalny plan uskoków przecinających osady chemiczne (odziedziczony zapewne przynajmniej częściowo po paleozoicznym podłożu).

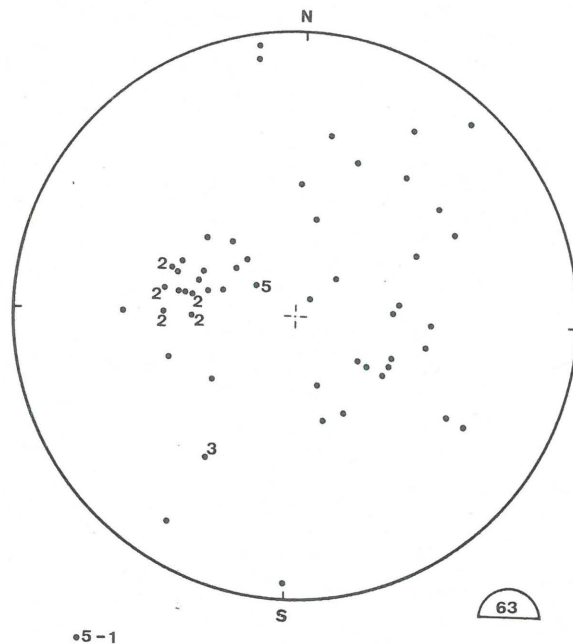
2. Został potwierdzony przedstawiony poprzednio (2) schemat zdarzeń tektonicznych, warunkujących powstanie złoża siarki, zgodny z koncepcją „czasową” T. Osmólskiego (4, 5):

– I faza ruchów tektonicznych (z pogranicza badenu i sarmatu – warstwy pektenowe) zaznaczyła się aktywnością uskoków południkowych powodującą rotację bloków, tj. utworzenie się pułapek tektonicznych dla zatrzymanie węglowodorów.

– II faza ruchów tektonicznych (po osadzeniu się ilów krakowieckich przed czwartorzędem) – ruchy przesuwcze wzdłuż uskoków równoleżnikowych i sfałdowanie ilów nadkładu – wędrówka węglowodorów do pułapek tektonicznych.

– III faza ruchów tektonicznych (czwartorzęd i współcześnie) – ogólne odprężenie górotworu związane z ustąpieniem lądolodu, powstanie drobnych ścięć i uskoków normalnych w nadkładzie złoża, rozwarcie części szczelin uskokowych i ciosowych umożliwiające penetrację wód powierzchniowych, tj. rozpoczęcie procesu utleniania siarkowodoru do siarki.

W związku z projektowaniem wytopu podziemnego na nowych obszarach, szczegółowe rozpoznanie budowy złóż jest niezbędne dla prawidłowego i oszczędnego gospodarowania złożem. Ma to szczególne znaczenie w chwili obecnej, gdy znaczna część zasobów siarki została już wyeksploatowana a pozostałe zasoby wymagają racjonalnego zagospodarowania.



Ryc. 5. Diagram orientacji uskoków normalnych w ilach nadkładu złoża (pomiarze ze ściany N i E).

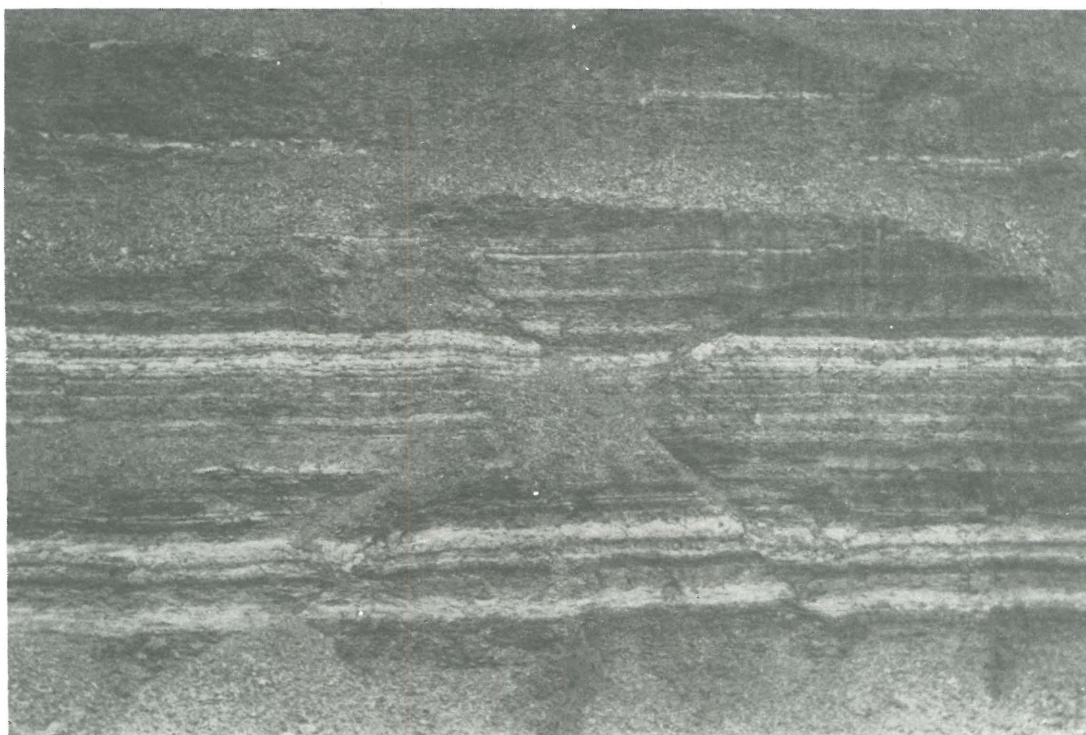
1 – biegun powierzchni uskoku (cyfra oznacza ilość jednakowych pomiarów).

Fig. 5. Diagram of orientation of normal faults in clays of the deposit blanket (measurements for N and E walls).

1 – pole of fault plane (number – quantity of similar results of measurements).



Fig. 6. An example of gentle bends of strata in the Krakowiec Clays from northern wall of the Machów mine.



Ryc. 7. Ścięcia komplementarne, kąt  $2\theta = 110^\circ$ , północna ściana kopalni Machów.

Fig. 7. Complementary shears, angle  $2\theta = 110^\circ$ ; northern wall of the Machów mine.

Obserwacje poczynione w kopalni Machów pozwalają się zorientować, że wielkość bloków tektonicznych wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Znajomość orientacji przestrzennej tych bloków determinująca stopień ich osiarkowania oraz lokalizację obszarów płonnych ma istotne znaczenie przy określaniu wielkości i kształtu pól eksploatacyjnych (por. 3, 4, 5). Uskoki

ograniczające bloki stanowią mogą granice obiegu wód a tym samym granice eksploatacji. Znajomość rozciągłości uskoku jest również potrzebna dla prawidłowego, tj. bezpiecznego sytuowania skarp w kopalni odkrywkowej.

W ramach prac planowych IG są obecnie prowadzone tego typu badania dla wybranych złóż siarki rejonu tarnobrzeskiego (9).



1. Przy sporządzaniu map tektonicznych złóż zaleca się stosowanie wszystkich technik teledetekcyjnych łącznie, gdyż wzajemnie się one uzupełniają i/lub weryfikują.
2. Interpretacja danych teledetekcyjnych powinna wyprzedzać projektowanie nowych prac wiertniczych, a już zaplanowane siatki wiertnicze należałyby zweryfikować, pod kątem danych fotointerpretacyjnych.
3. Badania mezostrukturalne powinny być prowadzone również na rdzeniach wiertniczych (mimo braku jak dotąd rdzeni orientowanych), gdyż po zamknięciu odkrywki Machowskiej będzie to jedyny materiał dokumentacyjny.

LITERATURA

1. Kisłowski A. — Regionalna tektonika transwersalna w zagadnieniu powstawania koncentracji węglowodorów na przedgórzu Karpat. Nafta 1969 nr 1.
2. Krysiak Z. — Rola mechanizmów tektonicznych w procesach powstawania złoża siarki w Machowie. Prz. Geol. 1985 nr 1.
3. Kubica B. — O możliwości prognozowania istotnych dla podziemnego wytopienia siarki parametrów geologicznych na przedpolu eksploatacji. Biul. Inst. Geol. 1978 t. XIII.
4. Osmólski T. — Kras a geneza złóż siarki w Polsce. Kwart. Geol. 1976 nr 3.
5. Osmólski T. — Kras a geneza złóż siarki w Polsce (odpowiedź). Ibidem 1977 nr 4.
6. Osmólski T., Krysiak Z., Jagmin-Szepczyńska D. — Opracowanie tektoniki utworów miocenu i budowy geologicznej nadkładu miocenu na wybranych obszarach w rejonie Lubaczowa na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych. Arch IG W-wa 1976.
7. Osmólski T., Krysiak Z. et al. — Fotointerpretacyjna mapa geologiczna południowej części Niecki Nidy skala 1:25 000. Arch. IG W-wa 1978.
8. Osmólski T., Krysiak Z. — Zastosowanie zdjęć lotniczych do badań tektoniki potencjalnych obszarów siarkonośnych rejonu Lubaczów—Tarnobrzeg. Ibidem.
9. Osmólski T., Krysiak Z. — Program badań geologicznych: Szczegółowe rozpoznanie tektoniki złóż siarki w nawiązaniu do tektoniki regionalnej miocenu przedkarpacciego oraz badanie związku osiarkowania z tektoniką. Ibidem 1985.
10. Pawłowski S., Pawłowska K., Kubica B. — Dokumentacja geologiczna złoża siarki rodzimej „Basznia”. Ibidem 1976.
11. Pegrum R.M., Ljones T.E. — 15/9 Gamma Gas Field Offshore Norway, New Trap Type for North Sea Basin with Regional Structural Implications. AAPG Bull. 1984 vol. 68 no. 7.
12. Zigler P.A. — Geology and hydrocarbon provinces of North Sea. Geojournal 1977 no. 1.
13. Zigler P.A. — North-West European Basin: geology and hydrocarbon provinces. Can. Soc. Petrol. Geol. Spec. Mem. 1980 no. 6.

SUMMARY

Since 1975, the tectonic studies on Polish sulfur deposits were carried out by the Department of Geology

of Chemical Raw Material Deposits of the Geological Institute, Warsaw, using remote sensing methods (i.e. interpretation of air photos and radar and satellite imagery) and direct observations and mesostructural surveys of outcrops and core material. The interpretation of air photos and some satellite imagery of areas of the formerly exploited sulfur deposits in western part of the Carpathian Foredeep (Swoszowice, Posądz, Czarkowy) and those exploited at present in the eastern part (Tarnobrzeg region) appeared highly useful for identification of fault pattern and, in some cases, tracing geological boundaries.

Mesostructural studies of the Machów mine sections and preliminary surveys of the selected core material made it possible to determine nature of deep dislocations and variability of individual structures in the vertical.

The use of remote sensing and mesostructural methods made it possible to precise the fault pattern reconstructed on the basis of correlations of borehole and geophysical data, and in some cases to correct the course of individual dislocations.

The above mentioned methods of studies appeared highly advantageous, enabling accurate reconstructions of spatial orientation of medium-size structures — blocks from about a dozen to some tens meters wide. Such structures are bounded by faults usually characterized by minor downthrow and, therefore, practically impossible to trace by classic methods. Depending on the tectonic setting, they became either tectonic traps (and, therefore, deposit areas) or barren areas.

The hitherto made observations and mesostructural studies and remote sensing contributed to the knowledge of the dynamics of the recorded fault pattern and evaluation of influence of the three tectonic phases differentiated in that region on the deposit-forming processes. The studies currently carried out involve the use of radar imagery and various kinds of satellite photos.

РЕЗЮМЕ

Исследование тектоники польских месторождений серы проводилось в Заводе Геологии Месторождений Химического Сырья Геологического Института в Варшаве с 1975 г., используя теledетективные методы (т.е. интерпретацию аэросъемок, а также радарных и космических съемок, мезоструктурные наблюдения и измерения проводимые в выходах и на буровых кернах.

Интерпретация аэросъемок и некоторых спутельных изображений, проведенная для месторождений серы находящихся в западной части Предкарпатского прогиба, которые были эксплуатированы прежде (Свошовице, Посондза, Чарковы), а также для месторождений эксплуатированных в настоящее время в восточной части Предкарпатского прогиба (тарнобжегский район), показала большую пригодность этих исследований для разведки сети дислокаций в плане, а также — в некоторых случаях — для прослеживания геологических границ.

Мезоструктурные исследования проведенные в руднике Махув и предварительно на избранных кернах из буровых скважин сделали возможным разведание глубинного характера дислокаций и изменчивость образования структур по вертикали.

Применение теledетектированных и мезоструктурных исследований позволило значительно уточнить планы дислокационных сетей полученные на основании корреляции буровых и геофизических данных, а так-