

Lineamenty na zdjęciach satelitarnych Polski — próba podsumowania

Marek Graniczny*, Włodzimierz Mizerski**, **

Lineaments in the satellite imagery of Poland — an attempt of recapitulation. Prz. Geol., 51: 474–482.

Summary. Geological interpretation of the satellite images has become a permanent element of the geological mapping. This paper presents results of the geological interpretation of lineaments at the territory of Poland of since nearly 30 years. This analysis has shown that lineaments identified in the satellite images could be divided into these which reflect some geological conditions and phenomena, and those not showing any correlations to the known geological structures (according to our present knowledge of geological make-up of Poland). Besides some ambiguities, lineaments interpreted in the satellite images are evidence of varying geological conditions in the shallower substratum as well as in the deep subsurface. Strong correlation of the majority of long lineaments interpreted in the satellite images with known regional discontinuities gives an opportunity to apply lineaments studies for geological interpretation and modelling the Earth's crust structure.

Key words: satellite images, lineaments, tectonic of Poland

Wszelkie rozważania na temat lineamentów muszą być poprzedzone odniesieniem się do ich definicji i metod interpretacji, co pozwala uniknąć kontrowersji i nieporozumień. Jest to o tyle ważne, że zdania na temat lineamentów są w środowisku geologicznym podzielone. Obok ich entuzjastów i zwolenników nie brak sceptyków i zagorzałych przeciwników.

Istnienie określonych form liniowych na mapach topograficznych, obrazach lotniczych i satelitarnych jest faktem. Kontrowersje mogą budzić wyłącznie interpretacje tych form. Zamierzeniem autorów było przeprowadzenie analizy lineamentów widocznych na zdjęciach satelitarnych Polski w nawiązaniu do aktualnych danych geologicznych, szczególnie tektonicznych, dotyczących głębokiego podłoża.

Pojęcie „lineament” ma w najnowszej tektonicznej literaturze polskiej dwa znaczenia (Dadlez & Jaroszewski, 1994). W znaczeniu pierwszym jest to wszelkiej natury cecha liniowa powierzchni i strefy przypowierzchniowej, dająca się odczytać na mapach topograficznych, geologicznych, geofizycznych, zdjęciach lotniczych i satelitarnych. W znaczeniu drugim ma on znaczenie ściśle tektoniczne, zbliżone do pojęcia rozłamu wgłębnego.

Rozłamy wgłębne to termin wprowadzony przez Pieiwego (1945). Zgodnie z definicją są to potężne uskoki, często systemy obok siebie położonych uskoków, często ułożonych kulisowo, o przebiegu prostoliniowym lub lekko łukowatym, sięgające w głąb co najmniej do spągu skorupy ziemskiej i ciągnące się na długości setek, a nawet tysięcy kilometrów.

Dadlez i Jaroszewski (1994) podkreślają, że wiele lineamentów, zwłaszcza mniejszych, nie ma nic wspólnego z uskokami, a nawet w ogóle z budową geologiczną. Definicja lineamentu przedstawiona przez tych autorów jest zatem niejednoznaczna.

Definicja lineamentu Dadleza i Jaroszewskiego (1994) w znaczeniu pierwszym jest, najogólniej biorąc, zbliżona do definicji twórcy tego terminu, Hobbsa (1904). Termin ten wprowadził Hobbs w celu scharakteryzowania przestrzennych współzależności elementów rzeźby i budowy geologicznej terenu, takich jak: granice grzbietów górskich i obszarów wypiętrzonych, elementy sieci rzecznej, doliny,

wąwozy, granice naturalnych zbiorników wodnych, a także strefy spękań i brekcji tektonicznych oraz granice wychodni i formacji geologicznych. Według Hobbsa (1904) lineament tworzy dowolna liczba wymienionych elementów łączących się ze sobą.

Hobbs zwrócił jednocześnie uwagę, że termin „lineament” nie jest odpowiednikiem terminu „linia tektoniczna”, proponowanego przez geologów niemieckich, ponieważ ten ostatni odnosi się tylko do linii oznaczającej przemieszczanie określonych utworów skalnych względem ich pierwotnego położenia.

W 1912 r. Hobbs uzupełnił swą definicję o implikacje tektoniczne podając, że wiele lineamentów jest zgodnych z liniami sejsmotektonicznymi. Lineamenty, zdaniem Hobbsa (1912), mogą być w pewnym stopniu wykorzystywane do oceny zagrożenia sejsmicznego obszaru.

Ostateczna definicja lineamentu Hobbsa jest bardzo szeroka i bardzo wieloznaczna. Używa stwierdzenia, że lineamenty „są to znamienne linie krajobrazu, które ujawniają ukrytą architekturę podłoża skalnego”, a lineamenty nazywa „charakterystycznymi liniami fizjonomii Ziemi”.

Przy całej wieloznaczności terminu „lineament”, Hobbs zwrócił uwagę na bardzo ważny aspekt dyskusji o lineamentach, który do dziś nie stracił aktualności. Stwierdził, że ich identyfikacja jest bezpośrednio uzależniona od skali obserwacji (mapy, zdjęcia itp.), która niejednokrotnie musi być bardzo mała, aby je rozpoznać. Podkreślił również złożony charakter lineamentów pisząc: „natura lineamentów jest z reguły złożona, lecz w każdym przypadku stanowi ona odzwierciedlenie wgłębnych zjawisk w podłożu”.

O ile Hobbsowi przypada pierwszeństwo w ustaleniu definicji lineamentów, o tyle za prekursora ich badań trzeba uznać Kjerulfa, który w drugiej połowie XIX w. w oparciu o mapy topograficzne wyznaczył system lineamentów w południowej Norwegii (Kjerulf, 1879).

Po zdefiniowaniu pojęcia lineamentów pojawiło się wiele rozbieżnych propozycji ich opisu (Graniczny, 1989), co nie sprzyjało rozwojowi ich badań. Większe zainteresowanie lineamentami następuje ponownie z chwilą udostępnienia zdjęć satelitarnych na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego wieku. Już pierwsi geolodzy interpretujący zdjęcia satelitarne zaobserwowali i zidentyfikowali znaczną liczbę elementów liniowych o długościach od kilkudziesięciu do kilku tysięcy kilometrów. Wówczas geolodzy amerykańscy sformułowali definicję lineamentu jako „możliwą do zinterpretowania cechę liniową powierzchni

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

**Katedra Geologii, Uniwersytet Łódzki, ul. ródłowa 47, 91-735 Łódź

(lub ich kompozycje) zorientowaną w całości lub na pewnych odcinkach prostoliniowo i odzwierciedlającą prawdopodobnie pewne zjawiska w podłożu” (O’Leary i in., 1976). W takim też znaczeniu przyjęto w Polsce definicję lineamentu (Ostaficzuk, 1981; Bażyński, 1982). Do terminu „lineament” dodawano też przedrostek „foto” dla podkreślenia, że został on wyznaczony w oparciu na podstawie zdjęć (Bażyński & Graniczny, 1978).

Jeśli przyjmiemy, że lineamenty mają związek z budową geologiczną, można przyjąć następującą ich interpretację (Graniczny, 1994):

1. Lineament może być granicą w obrębie określonego kompleksu litologicznego spowodowaną zmianami w charakterystyce cech fizycznych i chemicznych skał, które mogą być:

— pierwotne, związane ze zmianami w składzie mineralnym, strukturą i teksturą skał osadowych i magmowych;

— wtórne, związane z późniejszymi procesami metamorficznymi.

2. Lineament odzwierciedla skutki oddziaływania procesów mechanicznych na podłożu skalnym. W takim przypadku wskazuje na różnego rodzaju struktury nieciągłe w ośrodku skalnym.

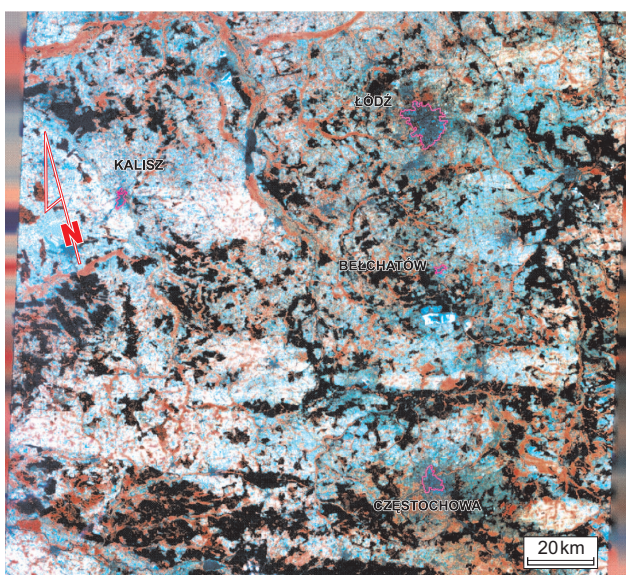
W przypadku lineamentów o pochodzeniu tektonicznym trudno je na ogół klasyfikować genetycznie. W praktyce można się pokusić o rozróżnienie i uporządkowanie głównych systemów oraz przeanalizowanie wyznaczonych kierunków w przebiegu znanych struktur tektonicznych. Z reguły mamy do czynienia z dwoma przypadkami:

— strukturami planarnymi nie powodującymi zauważalnych przemieszczeń w stosunku do analizowanego

ośrodka skalnego. Struktury takie można przede wszystkim utożsamiać ze spękaniem i strefami spękań;

— strukturami planarnymi powodującymi przemieszczanie ośrodka skalnego. W takim przypadku mamy do czynienia z uskokami bądź nasunięciami.

Odwzorowanie lineamentów na powierzchni terenu jest w dużym stopniu uzależnione od głębokości ich założenia. Procesom uskokowym zachodzącym w górnych partiach litosfery (płycej niż 10 km) towarzyszą zawsze odkształcenia kruche zaangażowanych w procesach mas skalnych. Może im towarzyszyć aktywność sejsmiczna prowadząca do obniżenia spójności skał i osłabienia odporności na erozję wzdłuż powierzchni dyslokacji. W efekcie

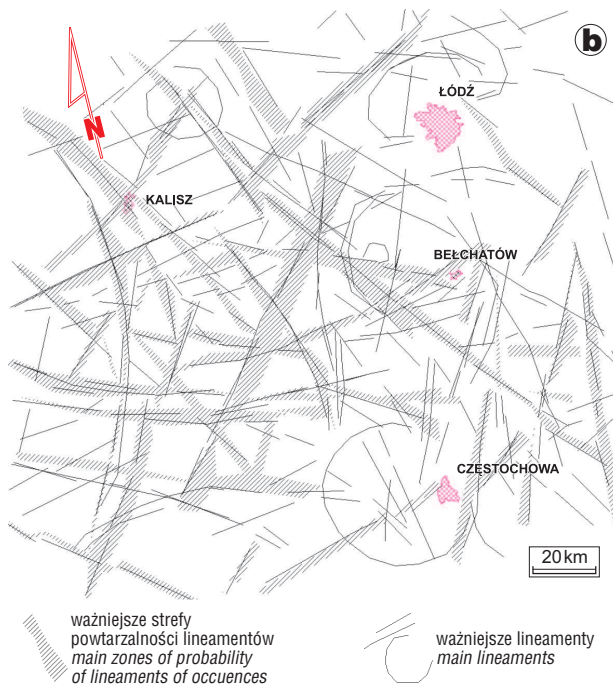
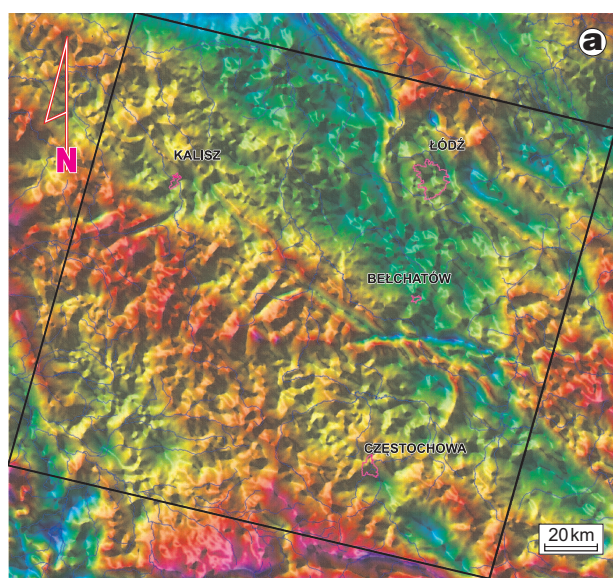


obszar interpretacji teledetekcyjnej na ryc. 2
area of the photointerpretation (see fig. 2)



Ryc. 1. Cyfrowo przetworzona kompozycja barwna zdjęcia satelitarnego Landsat TM rejonu Bełchatowa. W kwadracie — obszar objęty interpretacją na ryc. 2

Fig. 1. Digitally processed colour composite of the Landsat TM image of the Bełchatów region. The square indicates the interpretation area shown in Fig. 2



Ryc. 2. Model przestrzenny anomalii grawimetrycznej rejonu Bełchatowa (a) wraz z interpretacją lineamentów (b) — według Piątkowskiej i Wybrańca, 2002

Fig. 2. Three-dimensional model of the gravimetric anomalies of the Bełchatów region (a) with the lineaments' interpretation (b) — according to Piątkowska & Wybrańiec, 2002

tych procesów linie uskokowe mogą być czytelne w rzeźbie terenu.

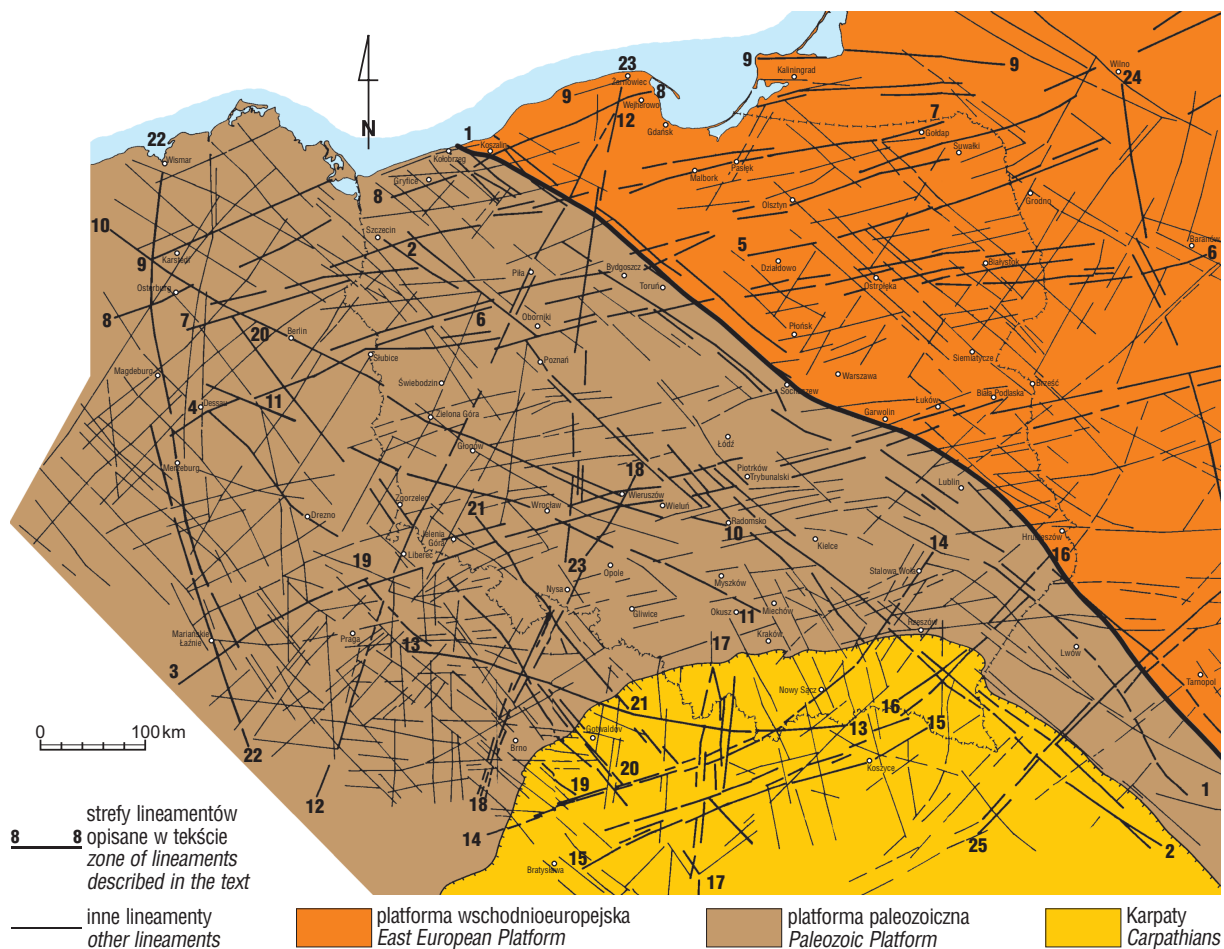
W drugiej połowie lat 80. opracowano metodykę interpretacji materiałów ze zdjęć satelitarnych w aspekcie kompleksowych danych geologiczno-geofizycznych (Doktor i in., 1987a), przy wykorzystaniu w możliwie maksymalnym stopniu techniki cyfrowej. Metodyka ta polegała na zebraniu, a następnie przetworzeniu i analizie różnorodnych danych wyjściowych pod kątem wyznaczenia liniowych elementów strukturalnych. Wyznaczone lineamenty satelitarne, potwierdzone wynikami badań geofizycznych, określano później także jako nieciągłe strefy tektoniczne (Graniczny, 1994). Zgodnie z ogólnie przyjętymi definicjami (Jaroszewski i in., 1985) ich geologiczną interpretację można przyjąć jako:

□ powierzchnie lub wąskie strefy, wzdłuż których miała lub ma miejsce koncentracja ruchów tektonicznych — uskoki lub strefy uskokowe;

□ szczeliny utworzone przez tektoniczne rozerwanie skał, strefy szczelin lub strefy skupionych deformacji plastycznych — ostro zarysowane fleksury;

□ powierzchnie lub wąskie strefy, będące granicami ośrodków o różnych własnościach fizycznych, zwłaszcza sejsmologicznych.

W chwili obecnej techniki komputerowe oferują niezwykle szeroką gamę możliwości programowych w zakresie integracji danych wielotematycznych. Można tutaj wymienić przede wszystkim oprogramowanie z rodziny GIS umożliwiające integrację a następnie analizę danych geologicznych, geofizycznych i teledetekcyjnych (ryc. 1, 2). Dostępne są również cyfrowe modele rzeźby i aparatura GPS pozwalająca na precyzyjne pomiary struktur geolo-



Ryc. 3. Główne lineamenty Polski i obszarów przyległych; 1 — Koszalin–Lwów, 2 — Szczecin–Poznań–Rzeszów–Kosów, 3 — Tachov–Roudnice n. Łabą–Jelenia Góra–Brześć–Pińsk, 4 — Dessau–Kostrzyń–Bydgoszcz–Olsztyn–Wilno, 5 — Dessau – Kostrzyń–Bydgoszcz–Działdowo–Mołodeczno, 6 — Międzychód–Inowrocław–Białystok–Baranowicze, 7 — Rathenow–Stargard Szczeciński–Malbork–Gołdap, 8 — Osterburg–Gryfice–Wejherowo, 9 — Karstedt–Międzyzdroje–Żarnowiec, 10 — Hamburg–Berlin–Zielona Góra–Wieluń (lineament północnoodrzański), 11 — Wittenberg–Legnica–Wrocław–Olkusz (lineament południowodrzański), 12 — Haslach–Ričany–Liberec–Lubań–Piła–Lębork, 13 — Kutna Hora–Valašské Mežirici–Stara Lubowna (lineament północnotatrzański), 14 — basen wiedeński–Wysokie Tatry–Nowy Sącz–Stalowa Wola (lineament Myjavy), 15 — basen wiedeński–Medzilaborce (lineament Hronu), 16 — Jaślińska–Lubaczów (lineament przemyski), 17 — centralnosłowacki, 18 — Znojmo–Boskowitz–Glucholazy–Wieruszów, 19 — Magdeburg–Drezno–Brno–Hodonin, 20 — Poczdam–Görlitz–Gottwaldov, 21 — Złotoryja–Złoty Stok–Nowy Jičín–Bańska Bystrzyca, 22 — Wiesmar–Marzeburg–Mariańskie Łaźnie–Domažlice, 23 — Żarnowiec–Nakło–Gniezno–Oleśnica–Grodzów, 24 — Wilno–Rowne–Kamień Podolski, 25 — Skole–Krzemieniec

Fig. 3. Major lineaments of Poland and adjacent areas

gicznych w terenie. Istnieją więc obecnie szanse nadania analizie lineamentów nowego wymiaru i jakości.

Dotychczasowe dokonania

Pierwsza próba zestawienia zdjęć satelitarnych oraz interpretacji lineamentów na terenie całej Polski została zamieszczona na *Mapie fotogeologicznej Polski w skali 1:1 000 000* (Bażyński i in., 1984). Mapa ta składa się z dwóch plansz: A — Fotomapa, B — Interpretacja geologiczna. Próbę tę można określić jako reprezentatywną, ponieważ do interpretacji lineamentów wykorzystano kilkadziesiąt zdjęć satelitarnych Landsat MSS w formie czarno-białych wyciągów spektralnych oraz kompozycji FCC w kolorach nierzeczywistych w skali 1 : 1 000 000. Do interpretacji wykorzystywano także przeglądarkę addytywną I^2S oraz pierwsze zdjęcia satelitarne poddane obróbce komputerowej. W trakcie sporządzania mapy zinterpretowano także zdjęcia satelitarne z satelity HCCM (*Heat Capacity Mapping Mission*) rejestrowane w termalnym zakresie widma elektromagnetycznego. Mimo istotnych różnic obu wykorzystanych systemów satelitarnych (Landsat MSS i HCCM), jak również odmiennych pasm widma, zwracała uwagę dużą zgodność przebiegu lineamentów zinterpretowanych na różnych zdjęciach. Uznano, że wspomniana zgodność wynika z obrazowania tych samych zjawisk.

Lineamenty zinterpretowane na zdjęciach satelitarnych Polski przedstawiono na ww. mapie na tle głównych jednostek geologicznych i tektonicznych. W obrębie poszczególnych jednostek tektonicznych dokonano pomiarów azymutów lineamentów. Wyniki zestawiono w postaci diagramów kierunkowych (Doktór & Graniczny, 1982). Porównanie diagramów nasuwało następujące spostrzeżenia:

□ dominującymi kierunkami we wszystkich jednostkach tektonicznych oprócz Karpat i Sudetów są kierunki ENE–WSW oraz NW–SE. Jako podrzędny najczęściej występuje kierunek NE–SW;

□ Karpaty charakteryzują się dużą zmiennością kierunków, z których dominują: NW–SE, N–S i NE–SW;

□ duże podobieństwo w rozkładzie kierunków wykazują lineamenty na obszarze Sudetów i zapadliska przedkarpacciego. Charakteryzują się one kierunkami NNE–SSW, NW–SE oraz ENE–WSW. Podobieństwo to na początku lat 80. było trudne do wytłumaczenia. Dziś wiadomo już, że wpływ orogenu alpejskiego na obszar dolnośląski był znacznie większy niż wcześniej przyjmowano (Cymerman, 1998, 1999). Z drugiej strony nie można wykluczyć, że obciążenie orogেনem przedpola Karpat spowodowało uaktywnienie się w nim istniejących wcześniej, starszych stref uskokowych.

Najważniejszym spostrzeżeniem wynikającym z powyższych danych jest duża regularność kierunków lineamentów na obszarze całego kraju. Widać wyraźnie, że sieć lineamentów jest ogólnie nadrzędna w stosunku do jednostek geologiczno-tektonicznych. Można więc mówić o związku systemu lineamentów z przebiegiem rozłamów wglębnych. Już wcześniej Doktór i Graniczny (1982) zwrócili również uwagę, że sieć lineamentów w Polsce nawiązuje do planetarnego systemu diagonalnego rozłamów NW–SE i NE–SW. Ważnym kierunkiem regionalnym (w skali kraju) jest ENE–WSW (ryc. 3, 4). Być może należy go wiązać z procesami typu planetarnego, podobnie jak w przypadku niektórych stref tektonicznych znanych z obszaru Europy (Ostaficzuk, 1981).

Badania satelitarne stały się silnym bodźcem dla współpracy międzynarodowej Opracowana została mapa kosmotektoniczna Europy Środkowej i Wschodniej w skali 1 : 1 000 000 (Bażyński i in., 1987; Bażyński & Graniczny, 1987).

Karpaty

Wyniki wspólnej, polsko-czesko-słowackiej współpracy w zakresie interpretacji lineamentów w Karpatach znalazły się między innymi w opracowaniach: Doktór i in., 1985a; Doktór i in., 1988–1989; Pospizil i in., 1986; Potfaj i in., 1995. Jako główne lineamenty zostały wyznaczone (ryc. 2):

□ Kutna Horá–Valässké Mežirici–Stara Lubowna (WNW–ESE i E–W), nazywany też lineamentem północnotatrzańskim; w części zachodniej wchodzi on głęboko w obszar Masywu Czeskiego;

□ Basen wiedeński–Wysokie Tatry–Nowy Sącz–Stalowa Wola (ENE–WSW), nazywany lineamentem Myjavy;

□ Lineament Murania (NE–SW), w przeważającej części na terenie Słowacji pokrywający się ze znaną od dawna dyslokacją;

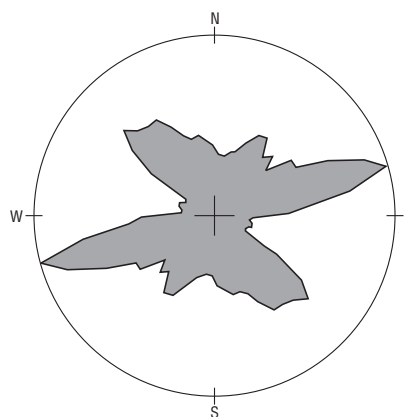
□ Basen wiedeński–Medzilaborce (ENE–WSW), nazwany lineamentem Hronu;

□ Jaśliska–Lubaczów (NE–SW), nazwany lineamentem Przemyśla;

□ Lineament centralnosłowacki (N–S), nawiązujący do szerokiej strefy licznych, krótszych uskoku o podobnym kierunku.

Lineamenty Myjavy, Hronu i Przemyśla w świetle analizy danych geologicznych i geomorfologicznych zostały uznane za strefy uskoku o charakterze przesuwczym (Pospizil i in., 1986). Graniczny (1991) zwrócił również uwagę na związek lineamentów: Myjavy, Hronu i centralnosłowackiego z sejsmicznością.

W kolejnym etapie analizy zdjęć satelitarnych i wyników badań geofizycznych na terenie polskich Karpat wykazano możliwość przedłużenia dwóch regionalnych dyslokacji wyznaczonych w Słowacji–Myjavy i Murania, na teren Polski (Doktór i in., 1990b). Za inne ważne nieciągłości uznano: lineament północnotatrzański, lineament Muszyna–Nowy Sącz–Bochnia, lineament Przemyśla, lineament Łupków–Lesko–Radymno i lineament Ustrzyk Górnych.



Ryc. 4. Diagram kierunków głównych lineamentów Polski
Fig. 4. Diagram of the main lineament's directions of Poland

Główne lineamenty — strefy nieciągłości wyznaczone na terenie Karpat charakteryzują się wachlarzowatym rozkładem kierunków, od NW–SE na zachodzie do NE–SW na wschodzie. Rozkład ten nawiązuje do modelu tektonicznego Karpat postulowanego przez Unruga (1980).

Dowodem pośrednim na istnienie głębokich stref tektonicznych w miejscu lineamentów wyznaczonych metodą korelacji danych teledetekcyjno-geofizycznych są wyniki badań neotektonicznych, przeprowadzonych na obszarze Karpat fliszowych. Wskazują one na to, że współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej na tym obszarze są niewątpliwie związane z budową zarówno głębokiego podłoża, jak i samych mas fliszowych (Rączkowski i in., 1982). Założenie to potwierdzają mapy izobaz, które odzwierciedlają rozmiar erozji analizowanego obszaru, a więc równocześnie wielkość jego wydźwignięcia. Przebieg oraz rozkład izobaz wyraźnie nawiązuje do wymienionych powyżej stref nieciągłości. Na zachód od proponowanej granicy pomiędzy Karpatami Zachodnimi a Karpatami Wschodnimi (lineament Muszyna–Nowy Sącz–Bochnia) można zaobserwować wyraźne dopasowywanie się przebiegu izobaz do „ram” utworzonych przez dwa systemy: pierwszego o kierunku NNW–SSE oraz drugiego, podrzędnego, o kierunku ENE–WSW. Na wschód od tej linii przebieg izobaz układa się natomiast według systemów o kierunkach NE–SW oraz ESE–NW. Dokładność, z jaką przebieg izobaz odpowiada wyznaczonym „ramom” tektoniki podłoża, jest zdecydowanie większa w zachodniej części Karpat polskich niż we wschodniej, co ma prawdopodobnie związek z grubością pokrywy fliszowej (Doktór i in., 1990b).

Sudety

Do badań teledetekcyjnych w Sudetach przystąpiono już około 1975 r. Zadecydował o tym wyjątkowo „fotogeniczny” charakter tej jednostki geologicznej — wysoki stopień odkrycia utworów geologicznych i zróżnicowana rzeźba terenu. W pierwszej publikacji dotyczącej fotogeologicznej analizy zdjęć satelitarnych na terenie Sudetów (Bażyński i in., 1980) podkreślono doskonałą czytelność sudeckiego uskoku brzeźnego (SUB), który można uznać za najlepiej widoczny uskok na zdjęciach satelitarnych naszego kraju. Stwierdzono, że uskok ten jest poprzesuwany szeregiem dyslokacji poprzecznych. Dalsze prace wykazały, że lineament odpowiadający SUB na odcinku Złotoryja–Złoty Stok–Jeseniki (NW–SE) kontynuuje się w kierunku SE w obrębie osadów karbońskich, gdzie pokrywa się z uskokiem bielskim. Dalszy przebieg tej strefy można śledzić na zdjęciach satelitarnych Karpat aż po Bańską Bystrzycę włącznie (Graniczny, 1991). Zwrócono również uwagę na lineamenty o kierunkach ENE–WSW, E–W i NE–SW. Szczegółowe badania teledetekcyjno-geofizyczne prowadzone na obszarze Ziemi Kłodzkiej (Graniczny, 1994) wskazały na istnienie systemu „kłodzkiego” wyznaczonego przez dwa lineamenty o przebiegu NW–SE (Głuszycza Górna–Tłumaczów–Stara Morawa i Bromov–Sienna), który wyznacza prawdopodobnie wschodnie odgałęzienie głównej dyslokacji Sudetów (Oberc, 1991).

Znaczącym wkładem do badań teledetekcyjnych Sudetów była mapa fotogeologiczna Sudetów (Bażyński i in., 1986). Opracowanie to składa się z dwóch plansz: mapy fotolineamentów zinterpretowanych na podstawie zdjęć

satelitarnych i zdjęć lotniczych-radarowych oraz mapy dyslokacji. Pierwsza z nich ma charakter dokumentujący wszystkie możliwe do zinterpretowania elementy liniowe na zdjęciach, które mogą mieć związek z budową geologiczną Sudetów. Na drugiej, mapie dyslokacji, na tle ogólnych zarysów głównych jednostek strukturalnych, pokazano związek lineamentów z dotychczas rozpoznanyymi elementami budowy geologicznej.

Niezwykle owocne okazały się badania prowadzone z geologami Zjednoczenia „Uzdrowiska Polskie”. Objęły one interpretację zdjęć satelitarnych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej w aspekcie badań hydrogeologicznych (Bażyński i in., 1981). Wyniki badań wykazały wyraźne związki pomiędzy węzłami przecięć lineamentów a miejscami ujęć oraz źródłami wód mineralnych w rejonie Bystrzycy Kłodzkiej, Długopola, Gorzanowa, Polanicy, Dusznik, Jeleniowa i Kudowy. Zwracała uwagę dobra czytelność na zdjęciach strefy uskoku Pstrążna–Gorzaków. Problematykę badania współzależności pomiędzy przebiegiem lineamentów a warunkami hydrogeologicznymi rozwinięto w trakcie prac na obszarze pomiędzy Polanicą, Dusznikami a Kudową (Doktór i in., 1987b). Wyniki interpretacji wykazały, że wystąpienia wód mineralnych i zwykłych są najczęściej związane w tym rejonie z lineamentami o kierunkach: ENE–WSW, NW–SE i NNE–SSW. Przeprowadzone badania potwierdziły celowość wykorzystania map lineamentów dla rozpoznania hydrogeologicznego na obszarach wschodni skał przedkrednowiczkich silnie zaangażowanych tektonicznie. Podobne badania prowadzone na terenie Karkonoszy (Doktór i in., 1985b) wykazały dużą zbieżność kierunków lineamentów z kierunkami tektonicznymi wyznaczonymi przez Cloosa (1925). Sieć głównych lineamentów charakteryzuje się kierunkami NNE–SSW i NE–SW (spękania Q, najstarsze, powstałe w wyniku tensji w warunkach wypiętrzenia intruzji) oraz NW–SE (spękania S, równoległe do struktur fluidalnych, a prostopadłe do spękań Q). Lineamenty o tych kierunkach osiągają długość ponad 20 km i kontynuują się często poza masyw granitowy w skały osłony. Ciekawym zjawiskiem jest również „wachlarzowaty” układ lineamentów nawiązujących do spękań Q. Przeważająca ilość kierunków NNE–SSW jest zgrupowana we wschodniej części masywu Karkonoszy. W kierunku zachodnim lineamenty zmieniają kierunki na NE–SW.

Ważne informacje na temat przebiegu lineamentów w obrębie Masywu Czeskiego uzyskano w wyniku współpracy z Czeską Służbą Geologiczną (ČGU). Jednymi z głównych elementów wyznaczonych na zdjęciach satelitarnych są dwa regionalne lineamenty Litvinov–Dečín–Zittau–Gryfów Śląski oraz Tachov–Roudnice (nad Łabą)–Jelenia Góra o przebiegu ENE–WSW (Doktór i in., 1992). Pokrywają się one na terenie Czech z systemem ryftowym Ohre postulowanym przez Kopeckýego (1986). Ten sam badacz sugeruje przedłużenie systemu ryftowego na obszar Polski, nie określając jednak dokładnie jego wschodniego zasięgu. Można przyjąć, że oba powyżej wymienione lineamenty regionalne wyznaczają prawdopodobny przebieg struktur przedłużających ryft Ohre na terenie Polski. Tezę tę wydają się również potwierdzać dane dotyczące wulkanizmu trzeciorzędowego oraz hydrogeologii i tektoniki (Ciężkowski i in., 1989; Piątkowska i in., 2000).

Lineament Tachov–Jelenia Góra kontynuuje się w kierunku wschodnim aż po Pińsk tworząc „megalineament” (terminu „megalineament” użył jako pierwszy w polskiej literaturze Ostaficzuk, 1980) o długości 1200 km, przeci-

nający Masyw Czeski oraz platformy paleozoiczną i wschodnioeuropejską (Graniczny, 1994). Inny „megalineament” rysuje się na linii Haslach (Austria)–Ričany–Liberec–Lubań–Piła–Lębork na długości 800 km o azymucie NNE–SSW; nawiązuje on do licznych granic tektonicznych i litologicznych. Wzdłuż wspomnianego lineamentu obserwuje się również obecność skał wulkanicznych. Inne ważne lineamenty to: Znojmo–Boskowitz–Głucholazy–Wieruszów (NNE–SSW), nawiązujący na terenie Czech do strefy bruzdy boskowitzkiej (Zeman, 1983) oraz Görlitz–Gottvaldov (NW–SE), odpowiadający licznym granicom litologicznym i uskokom, a ponadto przebiegający równoległe do USB.

Analiza porównawcza rozkładu anomalii geochemicznych w aspekcie nieciągłości wyznaczonych na zdjęciach satelitarnych wykazała, że większość znanych w Sudetach mineralizacji typu hydrotermalnego występuje na obszarze ograniczonym od południa przez lineamenty tektoniczne wyznaczające główną dyslokację Sudetów (system „kłodzki”), a od strony północnej przez sudecki uskok brzeżny SUB (Doktór i in., 1990a, 1991; Graniczny, 1994). Wymienione linie tektoniczne wytyczają według Kanasiwicza (1992) granice sudeckiego ryftu kontynentalnego, a zarazem główny rów tektoniczny Sudetów w interpretacji Oberca (1991). Wyniki badań wskazują również, że przecięcie kontynentalnych ryftów Ohre i sudeckiego znajdowały się w rejonie Jawor–Złotyryja–Lwówek Śląski.

Góry Świętokrzyskie

Pod koniec lat 70. podjęto próbę wyznaczenia lineamentów w oparciu o zdjęcia satelitarne Gór Świętokrzyskich i porównanie ich ze znanymi strefami dyslokacyjnymi tego obszaru (Mizerski & Ozimkowski, 1978). Stwierdzono, że odzwierciedlenie znanych stref dyslokacyjnych jest na obrazach satelitarnych zróżnicowane. Wyjątkowo słabo zaznacza się na obrazach satelitarnych (lotniczych również) największa dyslokacja podłużna — dyslokacja świętokrzyska, co interpretowane było jako brak współczesnej aktywności tektonicznej tej strefy dyslokacyjnej. Stwierdzono natomiast istnienie lineamentów podłużnych na północ od Pasma Łysogór, które można korelować z dyslokacjami Świśliny i Pokrzywianki. Najlepiej wyrażone są lineamenty o kierunkach południkowych. Pokrywają się one w większości ze znanymi strefami dyslokacyjnymi. Dobra czytelność tych dyslokacji na mapach może świadczyć o ich neotektonicznej aktywności.

Niż Polski

Obraz lineamentów znajdujących się na Niżu Polskim wywołuje wrażenie, że zawiera on mnóstwo prostych linii, niekiedy też tworzących koncentryczne formy, bezładnie rozmieszczonych i biegnących w różnych kierunkach. Dokładniejsza analiza pozwala na stwierdzenie, że najwięcej lineamentów ma kierunek ENE–WSW, a więc podobny do kierunku osi wyniesienia mazursko-suwalskiego, obniżenia podlaskiego i syneklizy perybałtyckiej (Sokołowski i in., 1984). Lineamenty te z reguły przebiegają począwszy od Niżu Niemieckiego, poprzez Niż Polski aż po Wyżynę Białoruską i Polesie. Jedną ze stref o tym kierunku jest wspomniana już strefa Tachov–Jelenia Góra–Pińsk, dzieląca Polskę na dwie nierówne i różne pod względem budowy geologicznej części. Część Polski położona na północ od tej strefy charakteryzuje się znacz-

nie większą labilnością w fanerozoicznej historii rozwoju geologicznego niż część Polski usytuowana po południowej stronie tej strefy, z wyjątkiem obszaru Karpat. Po południowej stronie tej strefy mieszczą się znane bloki sztywnego prekambryjskiego podłoża, takie jak blok sowiogórski, blok górnośląski i inne (Sokołowski i in., 1984). Bloki te wielokrotnie były wynurzane ponad powierzchnię zbiorników sedimentacyjnych (na przykład w dolnym kambrze, na przełomie kambru i ordowiku, pod koniec syluru, w permie i triasie oraz młodszym trzeciorzędzie) i stanowiły o charakterze deformacji osadów powstałych pomiędzy tymi blokami, jak też na ich powierzchni.

Drugi pod względem intensywności występowania kierunek NW–SE, odpowiadający w przybliżeniu rozciągłości najbardziej widocznej na mapie podkenozoicznej laramijskiej struktury antyklinorium środkowopolskiego, jest reprezentowany zarówno w obrębie antyklinorium, jak i poza jego obszarem we wschodniej i zachodniej części kraju.

Do zespołu lineamentów o tym kierunku wykazujących wyraźny związek z budową geologiczną można zaliczyć dwie strefy: Koszalin–Lwów oraz Szczecin–Poznań–Rzeszów–Kosów (Doktór i in., 1988; Graniczny, 1991). Strefa ta odpowiada przebiegowi linii Teisseyre’a–Tornquista (T–T). Na terenie Polski i Zachodniej Ukrainy stanowi ona południowo-zachodnią krawędź platformy wschodnioeuropejskiej. Przebieg jej, wyznaczony na podstawie badań magnetycznych (Dąbrowski i in., 1981), sejsmiki refrakcyjnej (Młynarski, 1982) oraz wierceń, wykazuje pewne rozbieżności, z zachowaniem jednak stałego kierunku NW–SE. W strefie utworzonej przez te granice na całym jej polskim odcinku znajduje się szereg lineamentów zgodnych z jej ogólnym kierunkiem. Lineamenty należące do strefy Koszalin–Lwów bardzo dokładnie pokrywają się z południowo-zachodnim brzegiem „rowu Gutercha” o przebiegu prostoliniowym, wyznaczonym na podstawie czterech profilów GSS (LT2, LT4, LT5, LT7), mimo że w pracach geologicznych nie ma bezpośredniego odwzorowania tej linii w dostępnych warstwach pokrywy osadowej (Pożaryski, 1986). Na odcinku pomorskim omawiane lineamenty pokrywają się ściśle z granicą platformy wschodnioeuropejskiej wyznaczoną między innymi przez dane refrakcyjne. Na odcinku pomiędzy Płockiem i Warką, gdzie linia T–T jest bardzo nieściśle śledzona na podstawie danych geologicznych, również obraz lineamentów jest mniej wyraźny. Na południe od Warki, gdzie zaczyna się obszar Wyżyny Lubelskiej — pozbawiony prawie mezozoiku — aż do granicy państwa, strefa lineamentów o tym kierunku pokrywa się z linią T–T wyznaczoną na podstawie danych wiertniczych i sejsmicznych (Żelichowski & Kozłowski, 1983; Pożaryski, 1986).

Jeszcze bardziej wyraźnie na zdjęciach satelitarnych rysuje się strefa o kierunku NW–SE, biegnąca wzdłuż linii Szczecin–Poznań–Rzeszów–Kosów. W znacznym stopniu strefa ta pokrywa się z lineamentem Poznań–Rzeszów, który został wyznaczony jako strefa zluźnień tektonicznych epoki alpejskiej (Pożaryski, 1971). Zluźnienia te są związane z dynamiką rządzącą kształtowaniem się środkowopolskiego rowu synsedymencyjnego (Pożaryski, 1970). Omawiana struktura w świetle nowszych badań (Pożaryski, 1986) ma charakter głębokiego rozłamu. Uważa się, że powstała ona w późnym triasie, w fazie starokimeryjskiej. Jest ona również udokumentowana w przekrojach GSS (Guterch & Lewandowska-Marciniak, 1983). Całą strefę lineamentów dobrze czytelną od Szczecina poprzez Poznań, Rzeszów aż po Kosów (Ukraina),

można interpretować jako wielką, prawoskrętną, przesuwczą strefę uskokową (Doktór i in., 1988). Na taką możliwość interpretacji wskazuje szereg ułożonych kulisowo lineamentów leżących w obrębie tej strefy. Można je interpretować jako odzwierciedlenie uskoków pochodnych niskokątowych (Jaroszewski, 1980) w pokrywie osadowej nad wielką, uskokową strefą przesuwczą. Podobne zjawiska obserwuje się w strefach dyslokacyjnych rządzących powstaniem kulisowo ustawionych antyklin Szamotuł i Człopy. Omawiana strefa lineamentów na odcinku między Poznaniem i Sieradzem odpowiada elementom rowów tektonicznych. Na północ od Poznania w rejonie Obornik następuje odchylenie strefy lineamentów na wschód. W rejonie Krzyż–Czarnkowo następuje powrót strefy do poprzedniego kierunku, jednocześnie jest widoczne jej rozwidlenie. Jedna „gałąź” zachowująca główny kierunek ciągnie się w kierunku Stargardu Szczecińskiego, natomiast druga w postaci licznych wyraźnych lineamentów biegnie bardziej na północ, aż po Kamień Pomorski. Lineamenty należące do obu zespołów znajdują odpowiedniki bądź w rozciągłości struktur fałdowych, w przebiegach grzbietów lub słupów solnych, czasami we fragmentach stwierdzonych bądź przypuszczalnych uskoków. Wszystkie te związki można zaobserwować przy porównaniu lineamentów z mapą tektoniczną (Dadlez i in., 1980).

Na odcinku Lasocin–Strzelce lineamenty należące do omawianej strefy dokładnie odpowiadają linii dyslokacyjnej oddzielającej antyklinorium świętokrzyskie od niecki nidziańskiej (Stupnicka, 1972).

Dane satelitarne wskazują ponadto na kontynuowanie się strefy lineamentów w kierunku południowo-wschodnim, dalej poza Rzeszów. Można ją prześledzić aż do Kosowa na Ukrainie. Interpretacja geologiczna strefy na tym odcinku, przykrytym najmłodszy nasunięciami fliszowymi, nie jest jasna, chociaż możliwe byłoby traktowanie jej jako przejawów sugerowanych związków aulakogenu środkowopolskiego z obszarem Karpat (Pożaryski & Żyto, 1979). Omawiana strefa, odpowiadająca lineamentowi Poznań–Rzeszów, stanowi zarazem południowo-zachodnią granicę występowania długich lineamentów o kierunku NW–SE. Lineamenty o tym kierunku są ponownie obserwowane dopiero w Sudetach i na Masywie Czeskim.

Należy również wspomnieć o dwóch regionalnych strefach o kierunku WNW–ESE: północnodrzańskim (Hamburg–Berlin–Zielona Góra–Wieluń) i południowodrzańskim (Wittenberg–Legnica–Wrocław–Olkusz). Na terenie Polski nawiązują do dyslokacji Odry i zanikają na wschodzie na strefie lineamentów Szczecin–Kosów (NW–SE).

Kolejny kierunek lineamentów: NE–SW (NNE–SSW) występuje na terenie całej Polski. Z kolei lineamenty o kierunkach południkowych są bardzo rzadkie.

Ostatnio Graniczny (2002) przedstawił wyniki kompleksowej interpretacji elementów tektoniki nieciągłej przy wykorzystaniu obrazów satelitarnych dla Polski północno-wschodniej. Stwierdził przy tym, że nieciągłości tektoniczne podłoża podczwartorzędowego o kierunkach N–S, W–E, NE–SW i NW–SE miały wpływ na powstanie ukształtowanie współczesnej rzeźby terenu.

Inne aspekty

Sieć lineamentów Polski była analizowana w aspekcie występowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego (Sokołowski i in., 1984). Stwierdzono, że istnieje

współzależność pomiędzy przebiegiem lineamentów a rozmieszczeniem złóż ropy i gazu. Dokładniejsze udowodnienie tych współzależności wymagać będzie dalszych, bardziej szczegółowych analiz porównawczych lineamentów i pułapek złożowych, jak również wyników badań geofizycznych i geotermicznych.

Graniczny (1991) analizował również lineamenty pod kątem sejsmicznej oceny zagrożenia terenu. Przeprowadzone studia porównawcze wykazały związek pomiędzy niektórymi głównymi strefami lineamentów a epicentrami trzęsień Ziemi. Dotyczy to między innymi stref: Koszalin–Lwów i Szczecin–Kosów (odpowiadających linii T–T), Tachov–Pińsk, lineamentów: Odry, Złotoryja–Bańska Bystrzyca, Myjawy, Hronu, północnotatrzańskiego i centralnosłowackiego. Wzmoczona aktywność sejsmiczna w rejonie Bełchatowa ma prawdopodobnie, oprócz czynnika halokinetycznego, związek z systemem nieciągłości o kierunku NW–SE lub węzłem przecięcia się dwóch systemów regionalnych NW–SE i ENE–WSW. Wyniki badań uzyskane w rejonie Bełchatowa wskazują na możliwość traktowania lineamentów jako dróg propagacji wstrząsów oraz na celowość dalszych studiów między lineamentami sejsmicznością naturalną i indukowaną.

Rozpatrywano także związki pomiędzy lineamentami a występowaniem wód geotermalnych w Polsce (Graniczny & Marszczek, 1989). Wstępna analiza wykazała, że przebiegająca część otworów, w których nawiercono wody termalne, jest zlokalizowana na przecięciach lineamentów o kierunkach NW–SE i ENE–WSW, a więc głównych kierunków lineamentów w Polsce. Prawie 2/3 otworów z wodami termalnymi znajduje się pomiędzy dwiema strefami lineamentów o kierunku NW–SE, Koszalin–Lwów i Szczecin–Kosów, wyznaczających w szerokim rozumieniu linię T–T. Wyjątkowe nagromadzenie otworów z wodami termalnymi (prawie połowa rozpoznanych na Niżu, w tym wód charakteryzujących się dużą wydajnością i temperaturą) występuje w czworoboku o powierzchni około 31 000 km², pomiędzy miejscowościami Oborniki–Lipno–Wieluń–Białobrzegi. Wyznaczają go wspomniane wielokrotnie lineamenty Koszalin–Lwów i Szczecin–Kosów (NW–SE) oraz lineamenty o kierunku ENE–WSW, Tachov–Pińsk i Międzychód–Białystok. Opisujący teren wykazuje zaskakujące związki z najwyższymi wartościami temperatury w spągu zbiorników geotermalnych. Co więcej, przebieg izolinii wyznaczających ich południowy zasięg jest zgodny z przebiegiem strefy Jelenia Góra–Brześć (fragment strefy Tachov–Pińsk). Ponadto w obrębie powyższego czworoboku występują najwyższe wartości gęstości strumienia ciepłego (60 mW/m²).

Mapa głównych lineamentów Polski jako odrębna plansza znalazła się również w *Atlasie tektonicznym Polski* (Znosko, 1998).

Warto nadmienić, że ostatnio Karnkowski i Ozimkowski (2001) wykazali przydatność metody pokryć wielokrotnych przy analizie obrazów satelitarnych. Stwierdzili oni, że metoda ta jest bardziej obiektywna od klasycznych interpretacji pojedynczego obserwatora i jako bardziej, ich zdaniem, wiarygodna może być wykorzystywana w geologii stosowanej i planowaniu przestrzennym. Nie negując wiarygodności metody, warto jednak odnotować, że nawet na opracowaniach tego typu nie wszystkie uzyskane lineamenty znajdują realne odzwierciedlenie w budowie geologicznej czy cechach fizycznych skał, jak również część struktur nieciągłych istniejących obiektywnie nie znajduje

swego odzwierciedlenia na obrazach satelitarnych nawet wielokrotnie analizowanych przez różnych operatorów.

Lineamenty a granice terranów

Dobra czytelność wielu nieciągłości podłoża na obrazach satelitarnych umożliwia porównanie przebiegu lineamentów z granicami terranów w obrębie przedpola platformy wschodnioeuropejskiej. Granice głównych terranów: pomorskiego, radomsko-łysogórskiego, małopolskiego i górnośląskiego wyznaczają strefy dyslokacyjne (Pożaryski, 1990; Pożaryski i in., 1992).

Na mapie głównych fotolineamentów Polski (Doktór & Graniczny, 1993) dobrze czytelne są tylko granice między terranami górnośląskim i małopolskim oraz między terranami małopolskim i radomsko-łysogórskim. Wzdłuż granicy między terranami: radomsko-łysogórskim i pomorskim nie biegnie żaden fotolineament na tej mapie. Może to wynikać z braku współczesnej aktywności tektonicznej wzdłuż tej granicy. Jest to o tyle prawdopodobne, iż po konsolidacji waryscyjskiej oba bloki nie wykazywały aktywności tektonicznej, o czym świadczy przebieg izolacji strukturalnych wykonanych dla skał tego samego wieku na obu blokach.

Inaczej czytelność granic między terranami przedstawia się na mapie głównych fotolineamentów Polski i krajów przyległych. Na mapie tej można prześledzić lineamenty, które odpowiadać mogą wydzielonym przez Pożaryskiego (1990) granicom pomiędzy terranami na zachodnim przedpolu platformy wschodnioeuropejskiej. Natomiast w ogóle niewidoczna jest granica między terranem małopolskim a terranem górnośląskim. Ten brak zbieżności między dwiema mapami jest zastanawiający; może on wynikać z innego metodycznego podejścia do wydzielenia fotolineamentów w zależności od osoby interpretatora. Przemawiałoby to za szerszym niż dotychczas stosowaniem metody pokryć wielokrotnych przy analizie obrazów satelitarnych (Karnkowski & Ozimkowski, 2001), w celu wyeliminowania subiektywnego podejścia do wyznaczania fotolineamentów.

Interesujące jest porównanie mapy głównych fotolineamentów Polski i obszarów przyległych z granicami terranów na obszarze masywu czeskiego i Sudetów. Z porównania tego wynika, że granice (a raczej ich fragmenty) między wszystkimi terranami wyróżnionymi w Sudetach (Cymerman, 1998) są mniej czy bardziej czytelne na obrazach satelitarnych. Wynika to zapewne ze zdecydowanych różnic litologicznych między terranami, dobrego stopnia odsłonięcia obszaru, a być może i ze współczesnej aktywności tektonicznej wzdłuż tych granic.

Lineamenty a struktura głębokiego podłoża

Przedstawiony powyżej przegląd opracowań dotyczących interpretacji obrazów satelitarnych świadczy o tym, że wiele lineamentów wyznaczonych w oparciu o analizę obrazów satelitarnych znajduje swoje potwierdzenie w obecności stref dyslokacyjnych podłoża podczwartorzędowego. Oznacza to, że strefy te ulegają propagacji w utwory czwartorzędowe, sprzyjając tworzeniu się określonych form geomorfologicznych, kierunkowości rzeźby, wpływu wód powierzchniowych i podziemnych.

Szczególną uwagę poświęcić należy dyslokacjom głębokiego podłoża, znanym tylko dzięki badaniom geofizycznym i wiertniczym. Porównanie mapy głównych fotolineamentów

Polski i krajów przyległych i mapy głównych lineamentów Polski (Znosko, 1998) z mapami podłoża krystalicznego platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce oraz mapą geologiczną Polski w epoce waryscyjskiej (Pożaryski i in., 1992) pozwala stwierdzić, że na obrazach satelitarnych strefy te znajdują swe odzwierciedlenie przynajmniej w 50%. Także wtedy, gdy uskoki te nie kontynuują się (a przynajmniej nie ma na to dowodów) w pokrywie platformowej. Przyczyny tego zjawiska nie są znane. Jednak sam fakt istnienia powiązań struktury głębokiego podłoża z rozmieszczeniem lineamentów, wyinterpretowanych na podstawie obrazów satelitarnych musi być wynikiem związków między głębokim podłożem a powierzchnią Ziemi. Związków, których natura nie jest do tej pory jasna.

Uwagi końcowe

Z materiałów przedstawionych powyżej można wyciągnąć następujące wnioski:

□ Lineamenty wyznaczone w oparciu o interpretację obrazów satelitarnych znajdują potwierdzenie w realnie istniejących strefach dyslokacyjnych, występujących nie tylko na powierzchni ziemi, ale i w obrębie głębokiego podłoża;

□ Lineamenty mogą być dobrym wskaźnikiem występowania w podłożu granic między blokami skorupy ziemskiej różniącymi się wyraźnie budową geologiczną. Większa część granic między terranami, zinterpretowanych przez różnych badaczy znajduje swe odzwierciedlenie na obrazach satelitarnych;

□ Wiarygodna interpretacja obrazów satelitarnych wymaga stosowania różnych technik, przy użyciu obrazów sporządzonych w różnym zakresie widma widzialnego i niewidzialnego;

□ Lineamenty wyznaczone w oparciu o interpretację obrazów satelitarnych mogą stanowić punkt wyjścia do regionalnych badań tektonicznych mających znaczenie dla poszukiwań złóż kopalin;

□ Natura wszystkich lineamentów wyznaczonych ze zdjęć satelitarnych nie jest dotychczas poznana, co otwiera pole do interpretacji zarówno przyczyn ich występowania na zdjęciach, jak i związków z budową geologiczną podłoża.

Autorzy dziękują Paniom dr Annie Piątkowskiej i mgr Katarzynie Skurczyńskiej-Garwolińskiej za pomoc w wykonaniu ilustracji.

Literatura

- BAŻYŃSKI J. 1982 — Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instr. i Met. Bad. Geol. Państw. Inst. Geol., 44.
- BAŻYŃSKI J., DANIEL-DANIELSKA B., GRANICZNY M. & WILCZYŃSKI M. 1980 — Przykłady geologicznej interpretacji obrazów satelitarnych dla celów praktycznych. Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. PWN Warszawa—Łódź: 335–351.
- BAŻYŃSKI J., DOKTÓR S. & GRANICZNY M. 1984 — Mapa fotogeologiczna Polski. Wyd. Geol.
- BAŻYŃSKI J., DOKTÓR S. & KOTAŃSKI Z. (obszar polski) 1987 — Kosmotektoniczka Karta Jewropejskich Stran Czlienow SEW i SFRJ. Min. Geol. ZSRR, 6 ark.
- BAŻYŃSKI J., FISTEK J., GRANICZNY M., SŁAWIŃSKI A. & WILCZYŃSKI M. 1981 — Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrogeologicznych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej. Tech. Posz. Geol., 1: 14–16.
- BAŻYŃSKI J. & GRANICZNY M. 1978 — Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii. Prz. Geol., 26: 288–296.

- BAŻYŃSKI J. & GRANICZNY M. 1987 — Tektoniczkeskoje struktury Centralnoj i Jugo-Wostocznoj Ewropy po materiałach kosmiczeskich siemok. SEW Moskwa.
- BAŻYŃSKI J., GRANICZNY M., OBERC J. & WILCZYŃSKI M. 1986 — Mapa fotogeologiczna Sudetów 1 : 200 000. Inst. Geol.
- CIEŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M. & MARSZCZEK T. 1989 — Zależności występowania wód mineralnych i termalnych z nieciągłościami teledetekcyjnymi w Sudetach Zachodnich. Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Polit. Wroc.: 343–349.
- CLOOS H. 1925 — Einführung in die tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen (Granittektonik), I.Spez. Teil. Das Riesengebirge in Schlesien, Berlin.
- CYMENRMAN Z. 1998 — Młodoalpejskie fałdy w depresji północno-sudeckiej; przykłady z wapienia muszlowego z Raciborowic. Pr. Geol., 46: 348–354.
- CYMERMAN Z. 1999 — Alpejska transpresja w Sudetach. Pr. Geol., 47: 942–945.
- DADLEZ R., DECZKOWSKI L., GAJEWSKA J., KŁOSSOWSKI J., MAREK S., STOLARCZYK J. & STOLARCZYK F. 1980 — Mapa tektoniczna cechsztyńsko-mezozoicznego kompleksu strukturalnego na Niżu Polskim. Wyd. Geol.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. PWN.
- DĄBROWSKI A., KARACZUN K. & KARACZUN M. 1981 — Południowo-zachodni brzeg platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce w świetle wyników badań magnetycznych. Pr. Geol., 29: 415–419.
- DOKTÓR S., DORNIC J., GRANICZNY M. & REICHWALDER P. 1985a — Structural elements of Western Carpathians and their Foredeep on the basis of satellite interpretation. Kwart. Geol., 29: 129–137.
- DOKTÓR S., DORNIC J., GRANICZNY M. & REICHWALDER P. 1988–1989 — Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland 1 : 500 000, Photolineament Map. Wyd. Geol.
- DOKTÓR S. & GRANICZNY M. 1982 — Zdjęcia satelitarne jako źródło informacji pośredniej o wglębionych strukturach geologicznych. Pr. Geol., 30: 666–671.
- DOKTÓR S. & GRANICZNY M. 1993 — Mapa głównych fotolineamentów Polski. Państw. Inst. Geol.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M., KANASIEWICZ J. & KUCHARSKI R. 1990a — Metodyka kompleksowej analizy danych teledetekcyjnych i geofizycznych dla wyznaczania struktur rudonośnych. Pr. Geol., 38: 86–90.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M., KANASIEWICZ J. & KUCHARSKI R. 1991 — The main tectonic features in the Sudeten Mts. (SW Poland) and their relationship with ore mineralization. Geotectonica and Metallogenia, 15: 25–40.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M. & KUCHARSKI R. 1987a — Korelacja danych teledetekcyjnych i geofizycznych za pomoco technik cyfrowych. Pr. Geol., 35: 453–461.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M., KUCHARSKI R., MOLEK M. & DĄBROWSKA B. 1990b — Wglębna budowa geologiczna Karpat w świetle kompleksowej analizy teledetekcyjno-geofizycznej. Pr. Geol., 38: 469–476.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M. & LYSENKO V. 1992 — Kompleksowa analiza fotogeologiczna Sudetów Zachodnich na obszarze Polski i Czech. Tech. Posz. Geol. Geos. Geot., 6: 53–60.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M. & POŻARYSKI W. 1988 — The main photolineaments of Poland and the surrounding areas and their connection with geology. Biul. Inst. Geol., 359: 61–70.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M. & SADOWSKA M. 1987b — Analiza danych teledetekcyjnych dla prognozowania występowania wód mineralnych i zwykłych na przykładzie obszaru między Polanicą, Dusznikami i Kudową. Pr. Geol., 35: 580–583.
- DOKTÓR S., GRANICZNY M. & WIŚNIEWSKA M. 1985b — Wykorzystanie badań teledetekcyjnych do poszukiwań wód termalnych i mineralnych na przykładzie masywu granitowego Karkonoszy. Pr. Geol., 33: 454–458.
- GRANICZNY M. 1989 — Fotolineamenty i ich znaczenie geologiczne. Instr. i Met. Bad. Geol. Państw. Inst. Geol., 50.
- GRANICZNY M. 1991 — Możliwości wykorzystania fotolineamentów do oceny sejsmicznej zagrożenia terenu. Biul. Państw. Inst. Geol., 365: 5–46.
- GRANICZNY M. 1994 — Strefy nieciągłości tektonicznych w świetle korelacji wielotematycznych danych geologicznych, na przykładzie Żarnowca i Ziemi Kłodzkiej. Instr. i Met. Bad. Geol. Państw. Inst. Geol., 54.
- GRANICZNY M. 2002 — Kartowanie geologiczne z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych LANDSAT. Biul. Państw. Inst. Geol., 402: 27–50.
- GRANICZNY M. & MARSZCZEK T. 1989 — Teledetekcja jako jedna z metod poszukiwania wód geotermalnych. Tech. Posz. Geol. Geos. Geoter., 3: 49–54.
- GUTERCH B. & LEWANDOWSKA-MARCINIAK H. 1983 — Sejsmiczność Polski. Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi. PWN.
- HOBBS W.H. 1904 — Lineaments of the Atlantic Border Region. GSA Bull., 1: 483–506.
- HOBBS W.H. 1912 — Earth features and their meaning. McMillan Co., New York.
- JAROSZEWSKI W. 1980 — Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. Geol.
- JAROSZEWSKI W., MARKS L. & RADOMSKI A. 1985 — Słownik geologii dynamicznej. Wyd. Geol.
- KANASIEWICZ J. 1992 — Perspektywy wykrycia mineralizacji barytowej w świetle wyników zdjęcia geochemicznego i szlichowego. Pr. Geol., 40: 158–161.
- KARNKOWSKI P.H. & OZIMKOWSKI W. 2001 — Geologiczna analiza zdjęć satelitarnych metodą pokryć wielokrotnych — zarys problematyki z przykładami z Polski południowej. Pr. Geol., 49: 1067–1072.
- KJERULF T. 1879 — Udsigt over det sydlige Norges geologi. W. C. Fabritius Christiania.
- KOPECKY L. 1986 — Geological development and block structure of the Cenozoic Ohre Rift (Czechoslovakia). Proc. Int. Conf. On Basement Tectonics, Santa Fe.
- MIZERSKI W. & OZIMKOWSKI W. 1978 — Analiza sieci uskokowej jednostki łysogórskiej na podstawie fotointerpretacji. Acta Geol. Pol., 28: 525–536.
- MŁYNARSKI S. 1982 — Budowa głębokiego podłoża w Polsce na podstawie sejsmicznych badań refrakcyjnych. Kwart. Geol., 26: 285–296.
- OBERC J. 1991 — System of main longitudinal strike-slip faults in the vicinity of the Góry Sowie Block (Sudetes). Kwart. Geol., 35: 403–420.
- O'LEARY D.W., FRIEDMAN J.D. & POHN H.A. 1976 — Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. GSA Bull., 87: 1463–1469.
- OSTAFICZUK S. 1980 — Fotogeologia. Wyd. Geol.
- OSTAFICZUK S. 1981 — Lineamenty jako odzworowanie zjawisk tektonicznych na tle wybranych przykładów z Polski. Biul. Geol. UW, 29: 195–267.
- PIĄTKOWSKA A., KASIŃSKI J. & GRANICZNY M. 2000 — Analiza zintegrowanych danych teledetekcyjnych i tektonicznych Obniżenia Żytawsko-Zgorzeleckiego. Pr. Geol., 48: 991–1000.
- PIĄTKOWSKA A. & WYBRANIEC S. 2002 — Analiza tektoniczna rejonu Bełchatowa na podstawie danych teledetekcyjnych i geofizycznych. CAG Państw. Inst. Geol.
- PIEWE A.W. 1945 — Głębinyje razłomy w geiosyikalinalnych obłastiach. Izw. AN SSSR, 5: 23–46.
- POSPISIL L., GRANICZNY M., NEMČOK J. & DOKTÓR S. 1986 — Príspevek metod dalkoveho pruzkumu k identifikaci zlomu s horizontalnim posunem v oblasti Zapadnich Karpat. Miner. Slov., 5: 385–402.
- POTFAJ M., POSPIŽIL L. & GRANICZNY M. 1995 — The North Tatra boundary — a structural morphological element of the West Carpathians. International Journal of Exploration geophysics, Remote Sensing and Environment, II nr 2, Czech Republic: 34–50.
- POŻARYSKI W. 1970 — Rowy tektoniczne kimeryjskie na tle ewolucji strukturalnej Niżu Polskiego. Kwart. Geol., 14: 271–279.
- POŻARYSKI W. 1971 — Tektonika elewacji radomskiej. Roczn. Pol. Tow. Geol., 41: 169–179.
- POŻARYSKI W. 1986 — Waryscyjski etap platformowego rozwoju tektonicznego centralnej Europy. Pr. Geol., 34: 117–127.
- POŻARYSKI W. 1990 — Kaledonidy środkowej Europy orogenem przesuwczym złożonym z terranów. Pr. Geol., 40: 1–9.
- POŻARYSKI W., GROCHOLSKI A., TOMCZYK H., KARNKOWSKI P. & MORYC W. 1992 — Mapa geologiczna Polski w epoce waryscyjskiej. Pr. Geol., 40: 643–651.
- POŻARYSKI W. & ŻYTKO K. 1979 — Aulakogen środkowopolski a geosynklina karpacka. Pr. Geol., 27: 305–311.
- RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A. & ZUCHIEWICZ W. 1983 — Neotektonika Karpat fliszowych i przedgórze. Kwart. Geol., 27: 436–437.
- SOKOŁOWSKI J., DOKTÓR S. & GRANICZNY M. 1984 — Zastosowanie fotogeologicznej analizy zdjęć satelitarnych dla wyznaczania stref perspektywicznych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Nafta, 9: 273–278.
- STUPNICKA E. 1972 — Tektonika południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 14: 21–114.
- UNGRUG R. 1980 — Tectonic rotation of flysch nappes in the Polish Outer Carpathians. Roczn. Pol. Tow. Geol., 50: 27–39.
- ZEMAN A. 1983 — Neotektonicka skica 1 : 500 000. Arch. UUG, Praha.
- ZNOSKO J. (red.) 1998 — Atlas tektoniczny Polski. Państw. Inst. Geol.
- ŻELICHOWSKI A.M. & KOZŁOWSKI S. 1983 — Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego. Wyd. Geol.