

Maciej HAKENBERG

Uwagi o możliwości wykorzystania niektórych zdjęć lotniczych do konstrukcji przekrojów geologicznych metodą stereofotogrametryczną

W publikacji tej, należącej do cyklu prac napisanych przez pracowników naszego Zakładu poruszających zagadnienia wykorzystania zdjęć lotniczych w geologii, opisuję możliwości i sposób wykreślenia przekrojów geologicznych z niektórych stereofotogramów (zdjęć lotniczych).

Na wstępie zwracam uwagę osób korzystających z tej pracy, że nie będę tu wyjaśniał teorii i terminologii związanej z przedstawionym niżej opracowaniem stereofotogrametrycznym. Zagadnienia te są wyczerpująco opisane np. w podręczniku M. B. Piaseckiego pt. „Fotogrametria“ (Warszawa, 1955, PPWK). Zagadnienia natury czysto technicznej (fotogrametrycznej) są tu poruszane o tyle, o ile związane są z otrzymywaniem parametrów topograficznych i geologicznych oraz z oceną niektórych ważniejszych błędów.

Przy obserwacji pod stereoskopem lustrzanym (fig. 5) odpowiednio wykonanych i zestrojonych zdjęć lotniczych (fotogramów) otrzymujemy obraz przestrzenny terenu pokrytego przez oba fotogramy. Gdy z obserwacją pod stereoskopem odpowiednio zestrojonych i zorientowanych fotogramów stereopary połączymy obliczenia paralaksy podłużnej przy zastosowaniu stereomikrometru, możemy metodą stereofotogrametryczną uzyskiwać względne wysokości dowolnych punktów modelu przestrzennego terenu.

Posługiwanie się stereomikrometrem przy pewnej wprawie nie sprawia wiele trudności. Polega ono mianowicie na sprowadzeniu ruchem śruby mikrometrycznej znacznika pomiarowego stereomikrometru, widocznego przestrzennie przez okulary stereoskopu nad lub pod modelem stereoskopowym opracowywanego terenu, do takiego położenia, aby uzyskać wrażenie, że znacznik pomiarowy znajduje się na wysokości punktu, którego wysokości szukamy. W związku z tym podstawiając zmierzone war-

tości do wzoru (1) możemy uzyskać potrzebną nam względną różnicę wysokości między dwoma punktami (M. B. Piasecki, 1955).

$$\Delta h = \frac{w \cdot m}{B \cdot 1000} \cdot \Delta p \quad [1]$$

gdzie:

- Δh — szukana różnica wysokości między dwoma punktami w metrach;
 w — wysokość lotu w metrach;
 m — skala zdjęcia lotniczego;
 B — baza w metrach (odległość punktów głównych obu zestrojonych fotografów stereopary);
 Δp_0 — różnica wartości paralaks dwóch punktów w milimetrach; (paralaksy punktów są odczytywane na podziałce śruby mikrometrycznej).

Należy zaznaczyć, że przytoczony wzór stosowany jest przy odpowiednio małych różnicach wysokości (Δw) względem wysokości lotu (w). W ten sposób możemy wykreślić przekrój morfologiczny terenu wzdłuż dowolnej linii.

Opracowywany przykładowo teren — fałd Sołkowa — należy do południowego mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Występują tu wyższe poziomy górnej jury (astart, kimeryd) oraz część środkowej kredy (alb); (H. Świdziński, 1931). W górnej jurze w facji głównie wapiennej osadzały się skały niezbyt zróżnicowane litologicznie. Dominował tu szybkozmienny rytm sedymentacyjny polegający na osadzaniu się kilku typów skał o małej miąższości (od 20 m). W kredzie występującej na opisanym terenie brak jest również ławic o dużych miąższościach.

Zjawiskiem rzucającym się w oczy, nawet przy pobieżnym przeglądzie opisywanych fotografów, jest występowanie w niektórych ich miejscach, oprócz normalnej treści topograficznej, naprzemianległych jasnych i ciemnych pasów. Smugi te podlegają prawom intersekcji a przebieg ich wskazuje na to, że występują tutaj niezbyt silnie pochylone płaszczyzny wykazujące zespołami nachylenie na południe lub północ. Powyższe fakty świadczą o tym, że zjawisko to jest wywołane określonym sposobem ułożenia warstw, ich wietrzeniem i reagowaniem na światło.

Chcąc właściwie wykorzystać dane dostarczone w ten sposób przez zdjęcie lotnicze, należy zdać sobie sprawę z tego, w jakim stopniu granice widoczne w zwietrzelinie odpowiadają rzeczywistym granicom poszczególnych ławic. Zastanawiając się nad tym zagadnieniem dochodzimy do wniosku, że już sam fakt istnienia wyraźnie wyróżniających się zabarwieniem pasów zwietrzelinowych świadczy o minimalnym transporcie tej części zwietrzliny, która daje później na zdjęciu lotniczym zabarwienie (o kolorze smug przy tak silnym „sypaniu“, jakie tu zachodzi, decyduje głównie zwietrzelina pochodzenia mechanicznego, tzn. rumosz). Gdyby istniał ruch wspomnianej części zwietrzliny, następowałoby zatarcie tak wyraźnych granic smug zwietrzałego materiału. W związku z tym zwietrzeliną, dającą zabarwienie interesującym nas pasom, można traktować jako znajdującą się *in situ*. Ponieważ miąższość zwietrzliny jest niewielka i, jak już zaznaczyłem, sypanie głębszego podłoża występuje bardzo silnie, każda większa różnica w składzie litologicznym skał, które występują pod zwietrzeliną, znajduje swój nieco mniej wyraźny odpowiednik w rumoszu zwietrzliny.

Wobec tego, że niektóre rodzaje skał niejednakowo odbijają promienie świetlne, otrzymujemy w niektórych miejscach fotogramów różne natężenia ich jasności — od białej do ciemnoszarej, co daje w rezultacie wystąpienie na zdjęciach lotniczych naprzemianległych smug, z których każda odpowiada zespołowi skał jednakowo w zwietrzelinie reagujących na światło. Godnym podkreślenia jest też fakt najwyraźniejszego i prawie wyłącznego zarysowywania się opisywanych smug na polach uprawnych (tabl. I, fig. 4).

W ten sposób w nawet bardzo słabo odkrytym terenie otrzymujemy dla niektórych obszarów wprost ze zdjęcia lotniczego swojego rodzaju mapę odkrytą, na której są wydzielone poszczególne warstwy skalne, dające na zdjęciu lotniczym różne natężenie szarości.

Smugi zwietrzelinowe odpowiadają zatem praktycznie biorąc intersekcji ławic ze spągami zwietrzelin, dzięki czemu dysponujemy linią intersekcyjną określonych, dających się porównać ze sobą granic geologicznych. Wykorzystując taką linię intersekcyjną oraz cechy wysokości dowolnych punktów, które leżą na niej (wysokości obliczane są dla tych punktów za pomocą stereomikrometru), można w odpowiednich miejscach wykreślić biegi warstw i obliczyć wartości upadku (M. N. Petruszewicz, 1954). Zasada wykreślania azymutów biegów i obliczania wartości upadków jest taka sama jaką stosuje się przy otrzymywaniu tego rodzaju wartości z mapy geologicznej. Różnica związana jest ze specyfiką stosowania stereomikrometrów przy obliczaniu wysokości i wymaga nieco szerszego omówienia.

Najlepiej do opisywanych celów nadają się te odcinki linii intersekcyjnej, które przebiegają przez wyraźne ciek i grzbiety, o kierunkach zbliżonych do prostopadłych do linii biegu. Zdecydowawszy się na miejsce, w którym chcemy wykonać pomiary (niech będzie to np. ciek przedstawiony na figurze 1), ruchem śruby mikrometrycznej doprowadzamy znaczek pomiarowy stereomikrometru do zetknięcia się z jakimś punktem np. A, leżącym na linii intersekcyjnej po jednej lub po drugiej stronie cieku. Następnie nie zmieniając położenia znacznika pomiarowego prowadzimy go po linii intersekcyjnej poprzez ciek, aż do ponownego jego zetknięcia się z powierzchnią terenu po drugiej stronie cieku (punkt B). Punkty A i B są to miejsca o tej samej wysokości, leżące na tej samej granicy intersekcyjnej. Przez połączenie tych punktów otrzymujemy tym samym kierunek biegu danej warstwy. W dalszym ciągu przez zmianę położenia znacznika pomiarowego, zarówno w płaszczyźnie

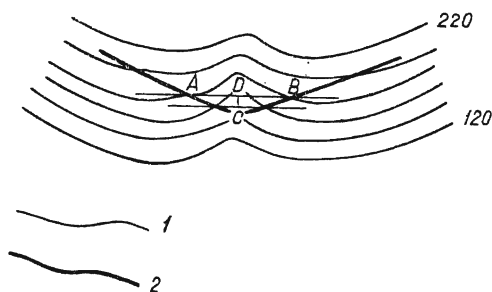


Fig. 1. Schemat obliczenia wartości upadku (bliższe objaśnienia w tekście)

Dip values — computation diagram (see Polish text for more accurate data)

1 — poziomice terenu, 2 — linia intersekcyjna

1 — izohypses of surface, 2 — intersection line

poziomej jak i pionowej, powodujemy jego zetknięcie się z punktem leżącym na linii intersekcyjnej o innej wysokości niż dwa poprzednie (najwygodniej obrać taki punkt w miejscu najsilniejszego wygięcia linii intersekcyjnej, tj. w osi cieku, np. punkt C, figura 1).

Następnie posługując się prostymi zależnościami pomiędzy rzutem odległości prostej łączącej punkty A i B od prostej poprowadzonej przez punkt C równoległej do AB, a różnicą wysokości między punktami A, B i C otrzymujemy wartość kąta upadu. Tę samą operację możemy wykonać z założeniem, że punkt C znajduje się na kulminacji grzbietowej. W opisanym wyżej sposobie obliczono upady w dwóch miejscach, przy czym jeden upad pomierzono na linii przekroju, drugi zaś w jego sąsiedztwie, w odle-

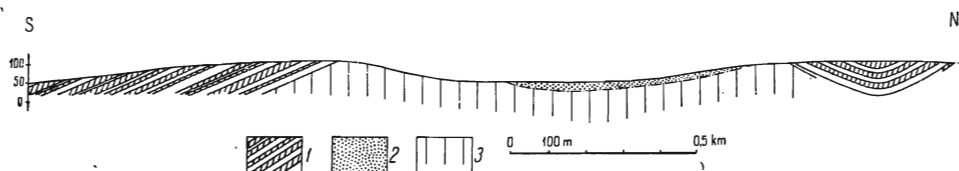


Fig. 2. Przekrój geologiczny na północ od Sobkowa na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych

Geological section (nord of Sobków), based in interpretation of air survey pictures:

1 — ławice dające na zdjęciu lotniczym jasno i ciemnoszare smugi (porównaj figurę 1),
2 — piaski, 3 — miejsca nieczytelne na fotogramach

1 — strata presenting, on the air photos, light and dark coloured streak zones, 2 — sands, 3 — undecipherable spots on air photos

głości około 700 m. Wartości ich były rzędu 20—23°, co całkowicie zgadza się z upadami zaobserwowanymi bezpośrednio w odkrywkach leżących w niewielkich odległościach od miejsc opisanych pomiarów stereofotogrametrycznych. W północnej części fałdu Sobkowa smugi zwietrzelinowe tworzą wyraźną zamykającą się formę tektoniczną. Wygięcia linii intersekcyjnej na ciekach i grzbietach wskazują, że występuje tu synklina. Posługując się w obrębie tej synkliny zamknięciem się pewnej smugi zwietrzelinowej, następnie zmierzonym na tej smudze w skrzydle synkliny upadem oraz względnymi wysokościami obu tych punktów można uzyskać wartość nachylenia osi synkliny, która wynosi 9°. Otrzymany wynik ma wartość nieco większą od rzeczywistej, ponieważ w konstrukcji nie zostało uwzględnione zmniejszenie się wartości upadku w pobliżu przegubu synkliny.

Na podstawie danych uzyskanych w warunkach kameralnych okazało się możliwe wykreślenie przekroju geologicznego (fig. 2), na którym został uwidoczniiony sposób ułożenia warstw, dających na zdjęciu lotniczym smugi o zróżnicowanej szarości (tabl. I, figura 4).

Krótki przegląd opisywanego terenu pozwolił stwierdzić, że wnioski wysnute na podstawie zdjęć lotniczych dotyczące głównie tektoniki i „ilościowej” zmienności facjalnej, (tj. zmienności, która nie przesądza o rodzaju skały), są słuszne. Niezależnie od tego stwierdzono, że ciemne smugi dają na fotogramach skały, które stanowią szereg typów pośrednich od wapieni marglistych do łupków wapnionych. Są one zwykle zlewne (bardzo drobnokrystaliczne) i dobrze się łupią. Natomiast smugi jasne są

wywoływane przez różne odmiany wapieni oolitowych, muszlowych i piaszczystych oraz piaskowców.

Oceniając błędy, jakie mogły być popełnione przy stosowaniu niniejszej metody, główny nacisk należy położyć na różnicę między wartościami wysokości otrzymywanymi przy pomocy stereomikrometru, a bezwzględnie rzeczywistymi wartościami wysokości. Różnice te mogą być wywołane niemożnością utrzymania lotniczej kamery fotograficznej w idealnie poziomym położeniu w czasie wykonywania obu zdjęć stereopary. Wspomniane różnice nie są dla każdego miejsca dwóch fotogramów stereopary jednakowe, ale powinny być rozmieszczone w pewien regularny sposób.

W przekroju geologicznym znaczenie mają tylko wysokości względne, dlatego więc przy ocenie błędów wziąłem pod uwagę tylko wysokości względne. Błędy przy określaniu względnych różnic wysokości wynikają przede wszystkim z niedokładnego ustawienia znaczka pomiarowego i są zależne od wprawy i staranności osoby mierzącej. Tak więc stwierdzone względne różnice wysokości uzyskane za pomocą stereomikrometru, w stosunku do pomiaru wysokości wykonanych altymetrem Thomen (typ 3B4), dla poszczególnych punktów znajdujących się na linii przekroju lub obok niej wynosiły: dla dwóch różnic wysokości 0 m dla ośmiu różnic wysokości 1 m, dla dwóch różnic wysokości 3 m, dla jednej różnicy wysokości 4 m i dla jednej różnicy wysokości 6 m (fig. 3). Odrzuciwszy skrajne różnice 0 m i 6 m jako błędy przypadkowe, otrzymujemy wartości ± 4 m jako błąd maksymalny, średnia zaś wartość popełnionego błędu wynosi $\pm 1,5$ m. Przy dużej wprawie maksymalne błędy odczytu nie przekraczają wartości $\pm 1,5$ m, średnie zaś wahają się w granicach $\pm 0,7$ m — 0,8 m. Ponieważ przekrój został wykreślony w skali 1:10 000 (skala fotografów 1:22 000), maksymalny błąd 4 m nie przekracza granicy graficznej dokładności przekrojów wynoszącej dla tej skali 5 m (przy tolerancji graficznej równej $\pm 0,25$ mm).

Inaczej jest z wartościami upadów, których tangensy otrzymujemy dzieląc różnicę wysokości dwóch punktów leżących na linii intersekcyjnej przez rzut odległości między tymi punktami, mierzony prostopadłe do biegu. Tu niewielka nawet zmiana różnicy wysokości, wywołana błędym

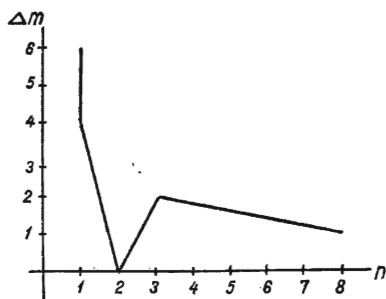


Fig. 3. — Diagram ilustrujący rozpiętość różnic pomiędzy wysokościami zmierzonymi stereofotogrametrycznie, a tymi samymi wysokościami zmierzonymi za pomocą altymetru dla przekroju geologicznego zamieszczonego na figurze 2

— Diagram indicating differences between altitudes established stereophotogrammetrically and the same altitudes measured by altimeter, for geological section shown in fig. 2

Δm — różnica między wysokością względną punktów zmierzoną za pomocą altymetru, a tą samą wysokością zmierzoną stereofotogrametrycznie, n — ilość punktów o tej samej wartości Δm

Δm — difference between relative altitude of points measured by altimeter, and identical altitude measured by stereophotogrammetry, n — number of points of identical value Δm

odczytem, może przy małych wartościach różnic wysokości spowodować stosunkowo duże zmiany w obliczonym kącie upadu. Dwie obliczone tu wartości 20° i 23° , przy średnim błędzie wyznaczenia wysokości wynoszącym 1,5 m i przy różnicy wysokości między punktami A i C (fig. 1) równej około 6 m, mogą być obarczone maksymalnym błędem $\pm 5^\circ$. Błąd ten mógłby być zmniejszony do maksymalnej wartości $\pm 1^\circ$, przy powiększeniu różnicy wysokości między A i C do około 30 m.

Nieprzetworzone fotogramy posiadają również zniekształcenia w płaszczyźnie poziomej, wywołane po pierwsze — wspomnianym już wychyleniem powierzchni kliszy z położenia poziomego w czasie wykonywania zdjęcia, po drugie tym, że zdjęcia są rzutami centralnymi, a nie prostopadłymi, tak jak mapy, do których te zdjęcia lotnicze przyrównujemy, po trzecie wreszcie tym, że samolot z przyczyn niezależnych od wykonujących zdjęcia może znaleźć się na różnych wysokościach w czasie wykonywania tych samych zdjęć stereopary. Przypadkiem tym, z powodu braku danych, nie będziemy się zajmować, poniżej natomiast omówimy dokładniej przyczyny i wartości dwu pierwszych wymienionych zniekształceń.

Przy obecnych środkach technicznych maksymalne wychylenie płaszczyzny kliszy może osiągnąć wartość 4° . Największe zniekształcenia liniowe i powierzchniowe otrzymamy w tym wypadku w maksymalnych odległościach od osi, wokół której odchyła się klisza fotogramu. Z obliczeń wynika, że przy największym czterostopniowym odchyleniu, w maksymalnej odległości od osi odchylenia fotogramu wynoszącej 8,2 cm, odcinek jednocentymetrowy równoległy do osi, wzdłuż której nastąpił obrót kliszy, zwiększa lub zmniejsza się w zależności od kierunku wychylenia o około 0,5 mm.

W wypadku drugim (błędy spowodowane rzutem centralnym) wartość przesunięcia jakiegoś punktu odwzorowanego w rzucie centralnym w stosunku do rzutu prostopadłego zależna jest od ogniskowej aparatu, którym było wykonywane zdjęcie, następnie od odległości tego punktu od punktu głównego fotogramu oraz od różnicy wysokości między interesującym nas punktem a punktem głównym (wzór 2); (M. B. Piasecki, 1955).

$$\Delta s = \Delta h \cdot \frac{r}{f} \quad [2]$$

gdzie:

- Δs — szukana wartość przesunięcia;
- Δh — różnica wysokości punktu głównego i interesującego nas punktu;
- r — odległość interesującego nas punktu od punktu głównego;
- f — ogniskowa aparatu.

Obliczone z przytoczonego wzoru przesunięcie wyniosło dla maksymalnej różnicy wysokości i odległości dla całego fotogramu 1,3 mm, co daje w skali 1 : 22 000 różnicę około 28 m. Maksymalna różnica na linii przekroju wyraziła się cyfrą 1 mm, co w skali zdjęcia lotniczego równa się różnicy 22 m.

Jak widzimy, zniekształcenia (wynikające z wychylenia poprzecznego i rzutu centralnego) — obliczone tu dla maksymalnych wartości, są w praktyce tak małe, że mogą być pominięte, w szczególności np. wówczas, gdy analizujemy fotogram w skali większej od skali mapy zdjęcia geologicznego.

W każdym razie odpowiednią korektę przekroju możemy stosunkowo łatwo obliczyć.

Z przytoczonych faktów wynika, że posługując się zdjęciami lotniczymi można dla niektórych obszarów, jeszcze przed wyjazdem w nieznany teren, sporządzić przekrój geologiczny, w który później w terenie w miejsce jaśniejszych i ciemniejszych smug będą wniesione odpowiednie wydzielenia litologiczne.

Przypadki tak wyraźnego ujawniania się budowy geologicznej na zdjęciach lotniczych, jakie zostały opisane w tym artykule, nie zaliczają się do zbyt częstych, tym nie mniej można zaobserwować na prawie każdej parze zdjęć lotniczych dużą ilość faktów niedostępnych przy wstępnym studiowaniu map topograficznych lub nawet ogólnych map geologicznych.

Zakład Kartografii Geologicznej
Wydział Geologii U. W.
i Zakład Nauk Geologicznych PAN
Nadesłano we wrześniu 1957 r.

PISMIENICTWO

- ŚWIDZIŃSKI H. (1931). — Utwory jurajskie między Małogoszczą a Czarną Nidą. Spraw. Państwa. Inst. Geol., 6, z. 4, str. 793—863, Warszawa.
- PIASECKI M. B. (1955) — Fotogrametria. P. P. W. K. Warszawa.
- ПЕТРУСЕВИЧ М. Н. (1954) — Геолого-съёмочные и поисковые работы на основе аэрометодов. Госгеотехиздат, Москва.

Maciej HAKENBERG

NOTES ON POSSIBILITY OF UTILISING SOME AIR SURVEY PHOTOS FOR COMPUTING GEOLOGICAL PROFILED

Summary

The investigated area lies north of Sobków village, in the southern part of the Święty Krzyż Mountains. Part of the Middle Cretaceous (Albian) and part of the Upper Jurassic (Astartian, Kimmeridgian) is exposed there.

The study of air survey pictures of this area shows that, aside of the normal topographical data, they disclose alternating light and dark coloured streak zones. It has come to light that these streaks are caused by different colouring of the rock waste of in situ formations. Owing to this, it is admissible to treat the boun-

daries between adjoining streak zones as intersection lines. Since, furthermore, in interpreting air survey pictures by means of the micrometer stereoscope, one is in a position to establish the relative altitude of any chosen point, there is no difficulty in using the above mentioned intersection lane and the corresponding relative altitudes for determining strikes, and for ascertaining values of dip, for the exposed rock formations. These data may then serve as basis for sketching the geological profile (fig. 2).

Observation in field revealed that the darker streak zones were caused by waste of marly limestones and marls, while light coloured zones indicated different varieties of oolitic limestones, shell limestones, arenaceous limestones and sandstones.

Possible errors in this computing the angle of dip — in this instance the dip is about 23° — did not exceed $\pm 5\%$.

TABLICA I

Fig. 4. Fotogram lotniczy części obszaru w Górach Świętokrzyskich na północ od Sobkowa, przez który przeprowadzono przekrój (fig. 4). Zauważ ciemne i jasne smugi zwietrzelinowe (bliższe objaśnienia w tekście)

Aerophotogram of a part of area in the Święty Krzyż Mountains nord of Sobków, where the cross-section is given (fig. 2). Remark: dark and light streaks of waste (see Polish text for more accurate data)

Fig. 5. Stereoskop lustrzany

Mirror stereoscope



Fig. 4

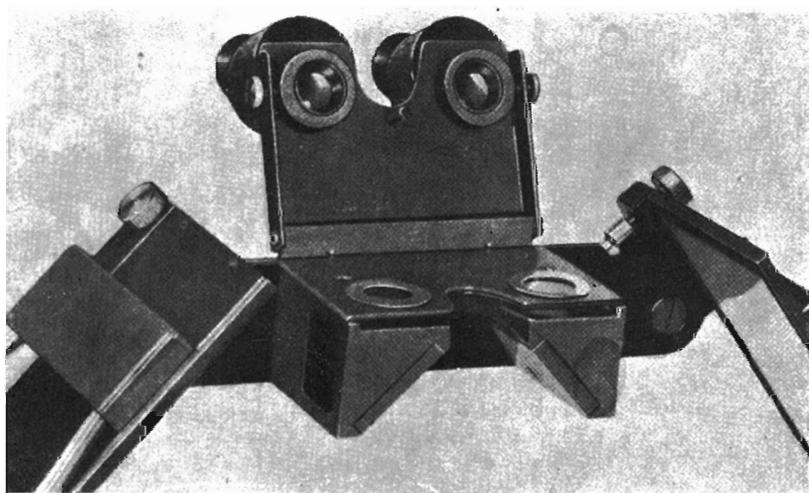


Fig. 5

Maciej HAKENBERG — Uwagi o możliwości wykorzystania niektórych zdjęć lotniczych do konstrukcji przekrojów geologicznych metodą stereofotogrametryczną