

## **Punkty triangulacyjne i inne niesygnalizowane, jako pełnowartościowa osnowa fotogrametryczna**

Przedmiotem niniejszej pracy jest polowa osnowa fotogrametryczna. Słowa punkty triangulacyjne (w tytule) mogą być również zastąpione przez „punkty osnowy geodezyjnej odpowiednio dokładnej”.

W dotychczasowej praktyce fotogrametrycznej osnowę polową stanowią fotopunkty lub z-punkty i są one wykorzystywane bezpośrednio w opracowaniach map w różnych skalach przez wykonawców. Natomiast, punkty triangulacyjne, wzgl. inne punkty osnowy geodezyjnej są na „uboczu” niemal w całym procesie fotogrametrycznym, a zatem nie odgrywają prawie żadnej roli w czasie powstawania mapy metodą fotogrametryczną.

Istotną cechą obecnej osnowy fotogrametrycznej, a ściślej mówiąc fotopunktu, jest jego odfotografowanie na zdjęciu lotniczym. Według moich określeń podanych w artykule: „Zasady przeprowadzania identyfikacji f- i z-punktów w terenie przy opracowaniach map wielko- i średnioskalowych” (Prace IGiK, zeszyt 2/14 tom VI 1959), fotopunktem mógł być dowolny szczegół terenu lub obiektu na terenie, który posiadając odpowiednie kształty i wymiary, został odfotografowany na zdjęciu lotniczym i który w czasie przeprowadzania pomiarów osnowy fotogrametrycznej polowej w terenie dotrwał w swoim niezmienionym kształcie do momentu pomiaru i mógł być z dostateczną dokładnością zidentyfikowany na zdjęciu i w terenie. Te wszystkie okoliczności trudne niekiedy do stwierdzenia sprawiały, że powstały niekiedy błędy różnej wielkości (przypadkowe i grube). Niebezpieczeństwo zaistnienia błędu identyfikacji fotopunktu było dość duże, szczególnie wówczas, gdy pomiar osnowy fotogrametrycznej w terenie był przeprowadzany w parę lat po wykonaniu zdjęć lotniczych. Ponadto, na dokładność fotopunktu miały wpływ błędy samego pomiaru instrumentalnego w terenie, jak również i stosowane metody pomiaru (poligonizacja techniczna, wcięcia). O obliczeniach współrzędnych tychże fotopunktów możnaby nie wspominać, gdyż zasadniczo one nie powinny być przyczyną powstawania błędów, — istnieje tu jednak sprawa czasu potrzebnego na to obliczenie, ale ten czynnik wiąże się ze stroną ekonomiczną takiego postępowania.

Trzeba przyznać na korzyść fotopunktu, że był on i jest punktem bezpośrednio widocznym na zdjęciu lotniczym, a zatem b. łatwym do wykorzystania przez pracownika kameralnego, opracowującego mapę.

Sumując co wyżej zostało podane, można łatwo zauważyć, że aby określony punkt mógł zostać fotopunktem, musiało wprawdzie powstać szereg kolejnych okoliczności czy warunków. Jeśli nawet te wszystkie warunki były dochowane, to jednak dokładność fotopunktu wyraźnie malała (mając na względzie jego współrzędne  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) w stosunku do punktu triangulacyjnego, czy innego punktu osnowy geodezyjnej.

Korzystanie z fotopunktów było tak szeroko stosowane, że jeśli nawet punkt triangulacyjny przypadał w miejscu korzystnym dla metod fotogrametrycznych, był jednak pomijany (gdyż nie był odfotografowany), a w jego bliskiej okolicy obierano fotopunkt, co pociągało za sobą szereg czynności technicznych, związanych z pomiarem tego fotopunktu. Sprawa ta była rzadko kiedy upraszczana, chyba tylko wówczas, gdy pracownik polowy dopatrywał się w punkcie triangulacyjnym również i fotopunktu. Ten przypadek był jednak zwykle b. rzadki, gdyż przeważnie punkty te nie znajdują się w miejscach charakterystycznych terenu, a zatem nie są zwykle odfotografowane.

„Ucieczkę” od punktów osnowy geodezyjnej na rzecz fotopunktów można i należy uznać jako słabą stronę takiego postępowania. Prawda, że i w tej metodzie, przy dobrym jej wykonaniu mapa powinna być dobrze sporządzona, a punkty triangulacyjne, czy punkty innej osnowy geodezyjnej powinny automatycznie trafiać na swoje miejsca w stosunku do wykreślanej treści mapy. W tym jednak postępowaniu traci się korzyści ekonomiczne, a czynnik techniczny — często jest problematyczny.

W koncepcji tu przedkładanej, szereg wymienionych wyżej warunków jest zbędnych, postępowanie nieco odmienne, w rezultacie — łatwiejsze i technicznie zupełnie poprawne dla wszystkich skal opracowania mapy

Autor, po rozważeniu całego zagadnienia i po udanych doświadczeniach przedkłada niniejszą swoją koncepcję.

Na wstępie niniejszej pracy, należy podkreślić, że w obecnej chwili nie jest możliwe zastąpienie wszystkich bez wyjątku fotopunktów punktami triangulacyjnymi, czy też innymi punktami osnowy geodezyjnych, a to z tego względu, że liczba niezbędnych dziś fotopunktów jest jeszcze znacznie większa, aniżeli liczba punktów triangulacyjnych i ponadto położenie tych ostatnich nie zawsze jest odpowiednie dla opracowań fotogrametrycznych. Nie znaczy to jednak, aby ten wzgląd miał przesądzić o słuszności przedstawianej koncepcji tylko z przyczyny zbyt małej liczby punktów triangulacyjnych w stosunku do fotopunktów.

Z metod fotogrametrycznych, obecnie stosowanych w produkcji, najlepiej nadającą się do wykorzystywania punktów triangulacyjnych byłaby metoda uniwersalna (autogrametryczna). Łatwo jest zauważyć, że zwiększając powierzchnię (w  $\text{km}^2$ ) stereogramu, przez zmianę skali zdjęcia lotniczego względnie jego formatu, można dojść do objęcia stereogramem takiej powierzchni, w której znajdzie się (dla opracowań autogrametrycznych) dostateczna liczba punktów triangulacyjnych, wystarczających do opracowania stereogramu nawet bez uciekania się do metody aerotriangulacji przestrzennej. Z tego również widać, w jakim kierunku powinien pójść postęp techniczny w fotogrametrii. Moim zdaniem, uzyskanie wspomnianych możliwości jest już dziś prawie osiągalne, gdyż obecny sprzęt fotogrametryczny jest dostatecznie dokładny. Opracowanie odpowiedniej technologii takiej produkcji również nie nastęrcza większych trudności. A zatem, w niedalekiej przyszłości możnaby przejść wyłącznie na osnowę triangulacyjną (czy inną osnowę geodezyjną) i zaniechać pomiaru dotychczasowej osnowy fotopunktowej przynajmniej do opracowań autogrametrycznych w pierwszej kolejności.

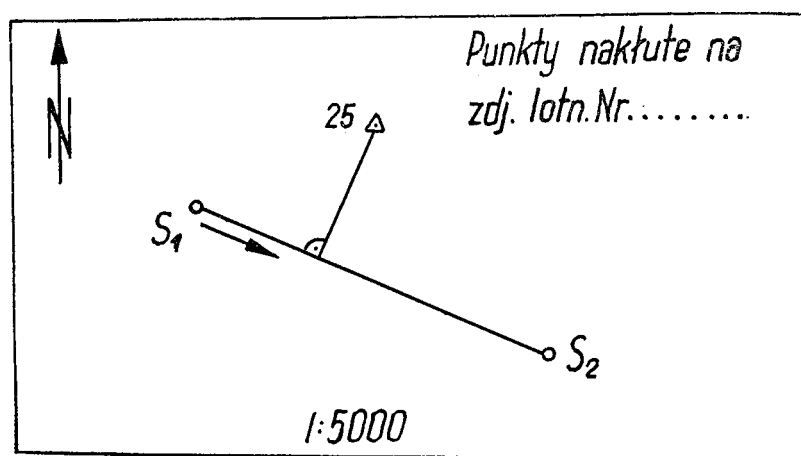
Obecnie, ustawienie znacznika pomiarowego na fotopuncie wymaga znajomości położenia tegoż punktu na zdjęciu lotniczym, a lepiej mówiąc na stereogramie. A zatem, ustawienie to dokonuje się „na oko” tj. wizualnie, bezpośrednio na dany fotopunkt, posługując się ruchami  $x$  i  $y$  oraz  $z$  przyrządu.

Jeśli wyobrazimy sobie, że w okolicy jakiegoś punktu triangulacyjnego (który ma spełniać rolę punktu osnowy fotogrametrycznej) obrany został na zdjęciu lotniczym i w terenie jakiś wyraźny punkt sytuacyjny (o cechach fotopunktu) i od tego punktu w określonej odległości i kierunku znajduje się ów punkt triangulacyjny, to dane te posłużyć mogą, w pewnej fazie prac kameralnych, do ustalenia wielkości przesunięć  $\Delta x$  i  $\Delta y$  znacznika pomiarowego (wzdłuż osi  $x$  i  $y$  przyrządu) w stosunku do obranego punktu sytuacyjnego.

Najprościej i najwygodniej będzie, jeśli dla ustalenia kierunku przesunięcia znacznika pomiarowego wykorzystamy jeszcze drugi punkt sytuacyjny w okolicy punktu triangulacyjnego i ustalenie tego kierunku przeprowadzimy w oparciu o prostą i znaną konstrukcję geodezyjną, zwaną metodą rzędnych i odciętych. Metoda rzędnych i odciętych w praktycznym polowym wykonaniu wymaga tylko taśmy mierniczej i węgielnicy (najwygodniej dwuprzyrmatycznej), a zatem teodolit jest tu zupełnie zbędny. Wzajemne odległości owych 3-ch punktów (punktu triangulacyjnego i 2-ch punktów sytuacyjnych) mogą być rzędu np. stukilkudziesięciu mterów, przy czym prostopadła wystawiona węgielnicą może być dość krótka. W przypadkach większych odległości możnaby korzystać z podpórek.

W dalszym praktycznym kameralnym wykorzystaniu danych polowych należy brać pod uwagę nie obliczenia, a raczej naniesienie na małym kartonie owych 3-ch punktów w skali opracowywanej mapy (patrz rys. 1).

Naniesienie to można przeprowadzić zawnazu przy pomocy odpowiedniego koordynatografu lub nanośnika, odkłuwając na kartonie położenia wzajemne owych punktów ( $\Delta 25, s_1, s_2$ ). Zorientowanie tych punktów w stosunku do brzegów kartonu jest rzeczą drugorzędną,



Rys. 1

a strzałka północy umieszczona na nim orientuje w dużym przybliżeniu położenie tej grupy punktów w stosunku do północy, lub — kierunku zdjęć lotniczych. Każdy karton może zawierać tylko jeden punkt triangulacyjny. Położenia punktów sytuacyjnych ( $s_1, s_2$ ) muszą być wskazane nakłuciem i opisane na odpowiednich odbitkach polowych zdjęć lotniczych. I tym jedynie są one podobne do dawnych fotopunktów, że muszą być zidentyfikowane jak dawne fotopunkty. Dla porządku i informacji, na kartonie musi być podana uwaga gdzie są nakłucia s-punktów (numer zdjęcia lotniczego i szereg).

Przyjmijmy, że mamy: 1) zestrojony na autografie stereogram w skali dostatecznie przybliżonej, 2) sekcję mapy z naniesioną osnową triangulacyjną (czy inną osnową geodezyjną) w skali opracowywanej mapy, 3) komplet wyżej opisanych kartonów z grupami punktów również w skali mapy (skala większa raczej niepraktyczna) i 4) komplet zdjęć lotniczych z nakłutymi s-punktami. Obserwator, mając powyższy materiał może łatwo na autografie przeprowadzić nadanie stereogramowi właściwej skali w następujący sposób. Po nastawieniu znaczka pomiarowego na  $s_1$  (przy połączonym koordynatografie z autografem) podsuwamy pod

mikroskop koordynatografu karton z punktem  $s_1$ , następnie po przesunięciu znaczka pomiarowego na punkt  $s_2$  orientujemy karton, obracając go dookoła punktu  $s_1$ . Ten obrót kartonu, przy metodzie pracy opisanej w moim artykule „Nowa metoda przeprowadzania orientacji zewnętrznej pary zdjęć lotniczych na autografach typu Wild A8”, sprowadzi jednocześnie punkt  $s_2$  na krzyżyk mikroskopu koordynatografu. Następną czynnością będzie przesunięcie mikroskopu koordynatografu ruchami korbek  $x$  i  $y$  tegoż koordynatografu na punkt triangulacyjny, nakłuty na tymże kartonie. A ponieważ to przesunięcie odbywało się przy połączonym autografie z koordynatografem przeto znaczek pomiarowy autografu musiał zająć określone położenie  $(x, y)$  w stereoskopowym modelu. Pozostaje tylko ustawienie znaczka pomiarowego ruchem  $z$  na teren; tak ustawiony znaczek wskaże położenie punktu triangulacyjnego na stereogramie. Reszta — to czynności znane: usunąć karton i podsunąć planszę punktem triangulacyjnym pod mikroskop koordynatografu.

W opisanym wyżej postępowaniu mamy dodatkową możliwość lokalnego ustalenia skali fragmentu modelu w okolicy konkretnego punktu triangulacyjnego. O tej skali wnioskujemy z małego odcinka  $s_1s_2$ . Jeśli skala modelu jest bliska skali ostatecznej, to na krótkim odcinku można najwyżej zauważyć b. małe jego skrócenie lub wydłużenie, praktycznie będzie ono często usprawiedliwione błędami ustawienia znaczka pomiarowego na obu punktach sytuacyjnych, chyba że model posiada skalę dużo różną od skali ostatecznej modelu. W przypadku stosowania projektowanych przeze mnie metod strojenia zdjęć lotniczych na autografach A8 różnice te z tytułu skali nie wystąpią. Natomiast w przypadku stosowania metod dotychczasowych, błędy z tego powodu istniejące zostają zlikwidowane już po pierwszym kolejnym przybliżeniu, poprawiającym skalę modelu.

Nowy sposób postępowania posiada tę wyższość nad dotychczasowym, że pozwala na niezależne, lokalne ustosunkowanie się co do wartości punktu triangulacyjnego, tj. jego dowiązania oraz trwałości sytuacji w jego otoczeniu, czego przeważnie brak przy fotopunktach.

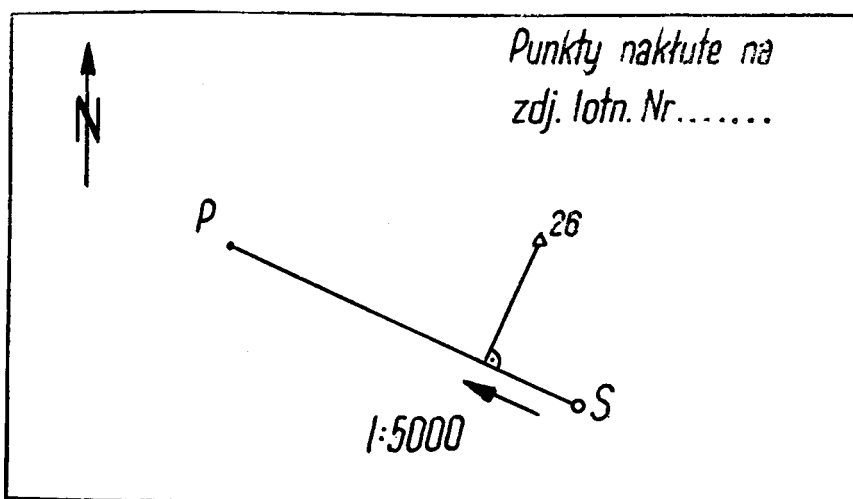
Metoda ta, zresztą i każda inna, zawodzi gdy w otoczeniu punktu triangulacyjnego nie można znaleźć żadnego punktu sytuacyjnego (brak wobec tego i fotopunktów).

Należałoby się zastanowić nad możliwymi innymi przypadkami, które odbiegają od wyżej przytoczonego, typowego przykładu.

Niech w otoczeniu punktu triangulacyjnego będzie jeden  $s$ -punkt położony na linii sytuacyjnej. Linia taką może być jakaś miedza czy też coś podobnego, odfotografowana na zdjęciu lotniczym i istniejąca w terenie w momencie pomiaru (fotolinia). Również i w tym przypadku bę-

dziemy mieli możliwość zorientowania tej linii sytuacyjnej oraz umiejscowienia jej w modelu a następnie i na mapie. A zatem w rezultacie możliwe będzie odpowiednie przesunięcie znaczka pomiarowego autografu na punkt triangulacyjny. Do tej czynności posłużą nam również te same elementy terenowe, dostarczone pracownikowi kameralnemu przez pracownika polowego. I w tym przypadku, najwygodniejszą będzie metoda rzędnych i odciętych z początkiem pomiaru w obranym  $s$ -punkcie (rys. 2).

W obu tych przykładach mamy po jednym elemencie orientacji i dwa w pierwszym przypadku, a jeden w drugim przypadku element locali-



Rys. 2

zacji grupy punktów ( $s_1$ ,  $s_2$ ,  $\Delta 25$  i  $s$ ,  $p$ ,  $\Delta 26$ ). Elementy te wiążą stereogram z osnową geodezyjną, w układzie której opracowujemy mapę. W drugim przykładzie nie będziemy mieli dodatkowej kontroli, dotyczącej lokalnej skali modelu i dlatego też pod tym względem drugi przykład zbliżony jest do przypadku pojedynczego fotonpunktu, w którym zasadniczo o tym czy punkt jest dobry czy zły, nic sądzić nie można.

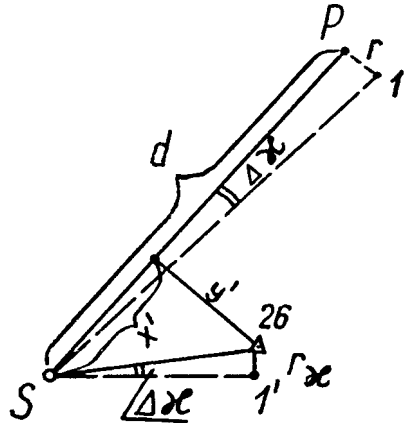
Aby zorientowanie kartonu, a tym samym ustalenie położenia punktu triangulacyjnego, było dostatecznie dokładne, długość boku  $s_1s_2$  lub  $sp$  powinna być odpowiednia. Ta długość jest znowu związana (zależna) z odległością punktu triangulacyjnego od początkowego punktu pomiaru ( $s_1$  — w pierwszym przykładzie; lub  $s$  — w drugim przykładzie). W związku z powyższym rozpatrzmy, jaki ma wpływ zorientowanie kartonu na dokładność współrzędnych punktu triangulacyjnego, ustalanego przy pomocy takiego kartonu.

Załóżmy, że wyznaczamy punkt triangulacyjny z konstrukcji podanej w przykładzie ostatnim (rys. 3).

gdzie  $r = \overline{p-1}$

$$r_x = 26 - 1'$$

W terenie wg metody rzędnych i odciętych pomierzone zostały odcinki:  $x'$ ,  $y'$  i  $d$ . Pomiar ten w stosunku do późniejszych czynności kameralnych można uznać za bezbłędny, a ponieważ w pierwszej kolejności postawiliśmy sobie rozważenie wpływu orientacji a nie lokalizacji, przeto należy przyjąć pewną dowolność w wyznaczeniu punktu  $p$  (punkt na miedzy — niecharakterystyczny), — niech ta dowolność w przypadku krańcowym wyniesie  $r$ ; ona to jako pierwszy czynnik zadecyduje o błędzie orientacji. Podobnie, błędem orientacji obciążony będzie i punkt triangulacyjny, jedynie punkt  $s$  wolny będzie od tego błędu, ponieważ dookoła niego obrót kartoniku będzie dokonywany. Cała sprawa sprowadza się do wyznaczania wartości  $r_x$ , która to wartość przedstawia błąd przesunięcia punktu triangulacyjnego z tytułu orientacji linii sytuacyjnej w terenie.



Rys. 3

Z rys. 3 łatwo wyprowadzić:

$$r_x = \pm \sqrt{x'^2 + y'^2} \cdot \sin \Delta_x = \pm \frac{\Delta_x^c}{\rho^c} \cdot \sqrt{x'^2 + y'^2} \quad (1)$$

gdzie  $\Delta_x^c$  — w centygradach

$$\rho^c = 6366$$

$$\text{a ponieważ } r = d \cdot \sin \Delta_x = \frac{d \cdot \Delta_x}{\rho^c} \quad \text{skąd } \Delta_x = \frac{r \cdot \rho^c}{d} \quad (2)$$

i po podstawieniu do (1) otrzymamy:

$$r_x = \pm \frac{r}{d} \sqrt{x'^2 + y'^2} \quad (3)$$

Z ostatniego wzoru łatwo wyczytać, że wartość przesunięcia punktu triangulacyjnego (błąd orientacji) jest wprost proporcjonalna do błędowi identyfikacji punktu  $p$  (na miedzy, czy gdzie indziej) oraz odległości punktu triangulacyjnego od punktu początkowego ( $s$ ) a odwrotnie proporcjonalna do długości odcinka linii sytuacyjnej.

W celu zorientowania się co do wartości tego przesunięcia (błędu) można przyjąć wartości liczbowe dla przypadku krańcowego

i tak, niech:  $r = 0,3$  metra,  $d = 200$  metrów,  $x' = 90$  metrów i  $y' = 30$  metrów, to  $r_x = \pm 0,14$  metra.

Drugim czynnikiem, składającym się na wartość przesunięcia punktu triangulacyjnego jest czynnik lokalizacji (identyfikacji) punktu początkowego (np.  $s_1$  czy  $s$ ) w terenie. Ten czynnik, który jest niczym innym jak błędem identyfikacji fotopunktu, można przyjąć również w przypadku krańcowym za  $r_i = \pm 0,3$  metra, a całkowity błąd wyznaczenia położenia punktu triangulacyjnego wyniesie zgodnie z rachunkiem prawdopodobieństwa

$$r_{\text{całk.}} = \pm \sqrt{r_i^2 + r_x^2} \quad (4)$$

Przeliczając tę wartość błędu dla przypadku krańcowego i dla obu czynników razem, otrzymamy

$$r_{\text{całk.}} = \pm \sqrt{0,30^2 + 0,14^2} = \pm 0,33 \text{ metra}$$

Wielkość tego błędu, ponieważ odnosi się do przypadku granicznego jest do przyjęcia i powinna być uwzględniana w obowiązujących instrukcjach.

Z zależności, wyrażonych wzorami (3) i (4) płyną wnioski, jak w sposób najwłaściwszy dowiązywać punkty triangulacyjne, aby poszczególne błędy składowe miały jak najmniejszy wpływ na dokładność położenia wspomnianych punktów.

Te wnioski możnaby nazwać zasadami wyznaczania położenia punktów triangulacyjnych dla opracowań autogrametrycznych 1 : 5 000 przy błędzie granicznym wyznaczenia położenia punktu triang. mniejszym od  $\pm 0,1$  mm w skali mapy.

Oto one:

1. punktem początkowym powinien być ten (w przypadku 2-ch  $s$ -punktów), którego spodziewany błąd identyfikacji jest mniejszy, czyli powinien być punkt pewniejszy (jest to warunek ze względu na lokalizację),
2. w przypadku spodziewanego dużego błędu identyfikacji ( $r > 0,3$  m do 0,5 m) punktu drugiego ( $s_2$  lub  $p$ ), długość linii sytuacyjnej (pomiarowej) powinna być dostateczna ( $d > 300$  m — z warunku orientacji — przy  $x = 100$ ,  $y = 30$ ),
3. punkt triangulacyjny powinien leżeć blisko ( $y' \leq 40$  m) założonej linii pomiarowej ( $s_1s_2$ ) lub sytuacyjnej ( $sp$ ).

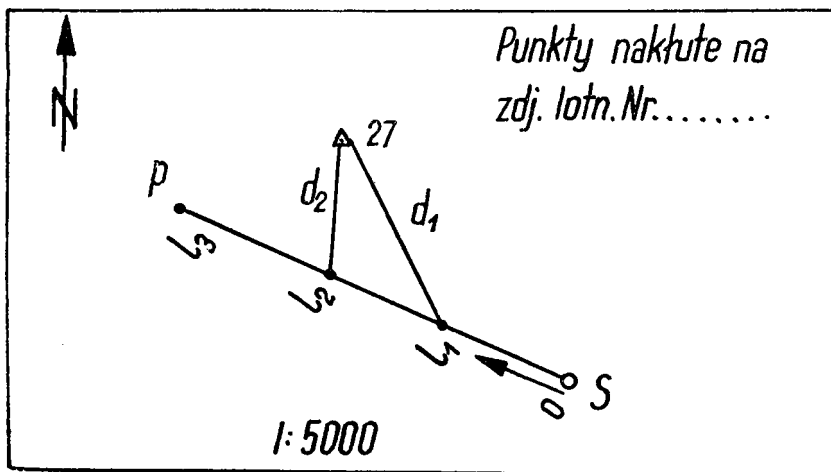
Uwaga: Obliczenie spodziewanego błędu można dokonać wg wzorów (3) i (4), wstawiając w nie dane dla konkretnego przypadku.

Powyższe dwa przykłady, pozwalające na zastosowanie metody rzędnych i odciętych, nie wyczerpują wszystkich możliwych sposobów dowiązywania punktów triangulacyjnych do zdjęć lotniczych. Ta metoda jest jednak najwygodniejsza zarówno w terenie jak i w kameralnym jej wy-



korzystaniu, tj. przy sporządzaniu „kartonów” z grupami punktów (koordynatograf). Możliwy do zastosowania byłby np. i inny sposób dowiązania, podany na rys. 4.

Ten ostatni przypadek może zachodzić wówczas, gdy prostopadłej nie można wystawić w terenie na skutek istniejących przeszkód. I dlatego też, aby punkt triangulacyjny dowiązać sprzętem proponowanym (taśmą



Rys. 4

i węgielnicą), używamy w tym przypadku tylko taśmy, a na linii pomiarowej (*sp*) odkładamy pełne metry, aby z tych punktów móc pomierzyć odcinki  $d_1$  i  $d_2$  (rys. 4).

W ostatnim przypadku wykonanie kartonu z punktami wymaga użycia cyrkla i podziałki transwersalnej wzgl. milimetrówki.

W opisanych trzech przykładach, każdy element dodatkowy (może być to punkt i miara) upewniają o wartości całej grupy, a nawet podnoszą dokładność wyznaczenia położenia punktu triangulacyjnego.

Przejdźmy teraz do strony fotogrametrycznej, wykazując słuszność takiego postępowania.

Jest rzeczą powszechnie znaną, że pojedyncze pochylone zdjęcie lotnicze terenu płaskiego posiada zmienną skalę oraz zdjęcie takie nie jest wiernokątne z wyjątkiem punktu izocentrycznego, a jeszcze gorzej przedstawia się sprawa gdy będzie to zdjęcie terenu górzystego. Zmienność skali jest dość duża a i z wiernokątnością nie jest dobrze — wystarczy dla przypomnienia tych zjawisk zajrzeć do któregośkolwiek podręcznika fotogrametrii. Oceniając niniejszy projek z tego punktu widzenia, łatwo można by go odrzucić.

Sprawa jednak nie wygląda tak niebezpiecznie, a to z następujących okoliczności. Stosowanie tej metody zaczyna się dopiero na pewnym

etapie kameralnego, autogrametrycznego opracowywania mapy, na etapie w którym wymienione wyżej czynniki już nie dochodzą do głosu w sposób wyraźny. Tak np. czynnik deniwelacji likwidowany jest przez samą metodę opracowania autogrametrycznego; skala modelu przestrzennego jest przeważnie bliska skali ostatecznej; spoziomowanie jego może być dokonane dość dokładnie ( $\omega$  i  $\varphi < 1^\circ$ ) i to nawet w przypadku strojenia stereogramów wg dotychczasowej metody. Mówiąc o tym mamy na myśli dokładność zestrojenia modelu w pierwszej jego fazie, dla której już wyjściowe nastawienia były dość dokładne.

Wyżej wymienione czynniki zupełnie nie występują w przypadku stosowania techniki pracy, opisanej przeze mnie w artykule pt. „Nowa metoda przeprowadzania orientacji zewnętrznej pary zdjęć lotniczych na autografach typu Wild A8”. Już w pierwszej fazie zestrojenia, wg tej metody model posiada dokładną skalę (wpasowanie na fotopunkty na całej powierzchni modelu nie przekracza  $\pm 0,1$  mm w skali mapy), a przecież do wyznaczenia z kartonu, położenia punktu triangulacyjnego, korzystamy z małego fragmentu stereogramu, w którym możliwa, niewielka niedokładność skali nie wpływa na wyznaczenie położenia punktu proponowaną metodą. W celu udowodnienia powyższego, proponujemy prześledzić następujący rachunek:

Przyjmijmy możliwy względny błąd graniczny w skali modelu, w jego pierwszej fazie, równy  $\frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{420}$  (patrz wymieniona publikacja).

Proporcję tę należy rozumieć, że na długości boku 420 mm błąd w długości tego boku może wynosić 1 mm. Jeśli opracowanie mapy było przeprowadzane w skali 1 : 5 000, a użyta długość linii sytuacyjnej (pomiarowej) wynosiła np. 200 metrów, co w skali 1 : 5 000 odpowiada 40 mm, przeto wg prostej proporcji mamy:

$$\begin{array}{l} 420 \text{ mm} - 1 \text{ mm (błędu)} \\ 40 \text{ mm} - x \end{array} \quad x = 0,10 \text{ mm}$$

Zatem owe 0,10 mm błędu, to wartość graficzna i ponadto graniczna — gdyż przyjęty błąd skali modelu był błędem granicznym.

W ogólnym przypadku, przy dzisiejszej metodzie strojenia modelu, drugie przybliżenie daje tę samą dokładność.

Jeszcze lepiej przedstawia się ta skala, gdy chodzi o czynnik spoziomowania modelu, a to z tego powodu, że błąd niedostatecznego spoziomowania, praktycznie nie wpływa na zmianę długości odcinków mierzonych na modelu.

W ten sposób zagrożenie dla niniejszej metody od strony teorii zdjęcia lotniczego pochylonego, jest tylko natury formalnej i nie istnieje, gdy chodzi o praktyczną dokładność proponowanej metody.

Opisany sposób wyznaczania położenia punktów triangulacyjnych

przy pomocy kartonów jest najwygodniejszy i graficznie zupełnie dokładny. Komplet takich kartonów (po jednym kartonie na punkt triangulacyjny, czy punkt osnowy geodezyjnej) może służyć dla dowolnego stereogramu zdjęć lotniczych, zawierających tę grupę punktów i dla określonej skali opracowania mapy. A zatem, jeden karton może być użyty tyle razy, ile razy dana grupa z odpowiednim punktem triangulacyjnym występuje na określonej robocie. Ten fakt może być korzystny ze względu na umieszczane na kartonie informacje, usprawniające korzystanie z tegoż punktu w sąsiednich stereogramach. Informacje te mogłyby być podawane na odwrocie kartonu.

Sposób kartonowy można zastąpić sposobem rachunkowym, nieco uciążliwszym, ale natomiast bardziej dokładnym, np. w przypadku przeprowadzania aerotriangulacji sposobem rachunkowym. Usprawnienie i tego rachunku byłoby również możliwe przez zastosowanie odpowiednich grafików. Ze względu na to, że ten sposób prawdopodobnie będzie mniej używany, przeto tu ograniczymy się tylko do przedstawienia jego przebiegu w pracowni autografów.

Wyjściowym materiałem do tego postępowania będą również dane polowe, podające dowiązanie metodą rzędnych i odciętych punktu triangulacyjnego do dwóch punktów sytuacyjnych ( $s_1s_2$ ), odfotografowanych na zdjęciach lotniczych i zidentyfikowanych w terenie. Dalszą podstawą będzie stereogram, zestrojony wg tej metody.

Czynności:

1. kolejno ustawiamy znaczek pomiarowy na punktach  $s_1$  i  $s_2$ , odczytując ich współrzędne autogrametryczne ( $x_{s_1}, y_{s_1}, x_{s_2}, y_{s_2}$ )

Uwaga: Tu można sprawdzić skalę modelu na podstawie tych odczytów oraz znanej długości odcinka  $s_1s_2$ .

2. obliczamy (wzgl. bierzemy z grafiku) przyrosty współrzędnych  $\Delta x_{s_1 - \text{pkt. tr.}}$  i  $\Delta y_{s_1 - \text{pkt. tr.}}$ , które dodane do współrzędnych autogrametrycznych punktu  $s_1$  dają współrzędne autogrametryczne punktu triangulacyjnego,
3. oba liczniki autografu ( $x, y$ ) ruchem korb ( $x, y$ ) ustawiamy na odczyty, odpowiadające współrzędnym autogrametrycznym punktu wyznaczanego.

W wyniku tych ustawień znaczek pomiarowy zajmie w modelu przestrzennym odpowiednie miejsce. Należy jedynie ruchem z ustawić go na terenie. To ustawienie znacznika pomiarowego odpowiada położeniu punktu triangulacyjnego.

W porównaniu do sposobu kartonowego, sposób rachunkowy dla określonego stereogramu nie może być bezpośrednio wykorzystany dla innego stereogramu. Wyznaczone współrzędne autogrametryczne punktu triangulacyjnego służyć mogą jedynie tylko dla danego stereogramu.

Na zakończenie celowe będzie podsumowanie całej tej koncepcji wraz z porównaniem jej ze sposobem dotychczasowym. Można to przedstawić jak niżej

Nr kol.	Opis porównania	W metodzie dotychczasowej Fotopunkt	W metodzie nowej Pkt. triang.
1	Istnienie p-tu w terenie w momencie zdjęć lotniczych	konieczne	zbędne
2	widoczność p-tu na zdj. lotn.	konieczna	niekonieczna
<u>W pracach w terenie</u>			
3	przedmiot identyfikacji w terenie	<i>f</i> -punkt	dwa <i>s</i> -punkty w pobliżu p-tu triang.
4	wykonanie szkicu foto- i topograficznego oraz oznaczenie na zdj. lotn. ich położenia	dla samego <i>f</i> -punktu	dla 2-ch <i>s</i> -punktów i p-tu triang.
5	pomiar geodez. i metoda	musi być dowiązany do sieci geodez. przy pomocy teodolitu metodą wcięć lub poligonową	pomiar lokalny w nawiązaniu do <i>s</i> -punktów za pomocą taśmy i węgielnicy
6	obliczenie współrz. połowych z ewent. ich wyrównaniem	konieczne	niepotrzebne gdyż są
7	możliwość popelnienia błędów pomiaru i rachunku	istnieje	prawie nie istnieje
8	dokładność współrzędnych	średnia	duża
<u>W pracach kameralnych</u> (oprac. autogram. — po zestrojeniu modelu)			
9	kontrola wstępna danych połowych punktu	niemożliwa dla pojedynczego <i>f</i> -punktu	Istnieje i nie do pominięcia
10	czynności przygotowawcze do ustawienia znaczką pomiarowego na punkcie	w zasadzie nie istnieją	sporządzenie kartonu z 3-ma punktami
11	ustawienie znaczką pomiarowego na punkcie	bezpośrednio ruchem <i>x</i> i <i>y</i> autografu	pośrednio przez karton
12	punkt bezpośrednio użyteczny w oprac. autogram.	fotopunkt	punkt triang. lub inny osnowy geodez.
<u>Względy techniczne</u>			
13	prace polowe i kameralne	skomplikowane	b. proste
14	dokładność użyteczna p-tu (współrz. i identyfik.)	średnia	duża
15	dla jakich skal opracowania może służyć?	dla wszystkich	dla wszystkich
16	rola p-tu triang.	drugorzędna	pierwszorzędna

Nr kol.	Opis porównania	W metodzie dotychczasowej <u>Fotopunkt</u>	W metodzie nowej <u>Pkt. triang.</u>
17	<u>Względy ekonomiczne</u> pomiar w terenie i obliczenia osnowy fotogram.	koszty duże (rzędu tysięcy zł) w stosunku	koszty bardzo małe = 10 : 1
18	w opracowaniach kameralnych (naniesienie osnowy na sekcję) Uwaga: Stosunek kosztów wyników łącznych z pkt. 17 i 18	koszty małe w stosunku = 1 : 10 koszty duże	koszty większe koszty małe

Rękopis złożono w Redakcji we wrześniu 1962 r.

СТАНИСЛАВ ДМОХОВСКИ

## ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЕ И ИНЫЕ НЕОТМЕЧЕННЫЕ ПУНКТЫ КАК ПОЛНОЦЕННАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОСНОВА

### Резюме

До настоящего времени полезность триангуляционных пунктов в непосредственных фотограмметрических процессах была весьма невелика. Триангуляционный пункт был полезен тогда, когда он был одновременно опознаком, то есть был отчетливо сфотографирован на аэроснимке.

Целью настоящей работы является изложение такого метода, в котором триангуляционные пункты, даже неотфотографированные, могут быть использованы в фотограмметрических работах, в особенности при изготовлении карт по универсальным методам.

Вся концепция основана на измерении данных по таким методам (метод ординат и абсцисс), которые дали бы возможность наблюдателю легко и просто использовать их также и в лабораторных условиях.

Сущность концепции состоит в следующем:

1) В районе триангуляционного пункта надо идентифицировать на снимке и на местности по крайней мере один хорошо сфотографированный  $s$  — пункт, который следует принять за начальную точку измерения (т. е. полюс). Должен он находиться на какой-нибудь сфотографированной линии, например, на межи. Упомянутая линия будет в то же время створом измерения на местности, то есть осью абсцисс.

После идентификации упомянутых двух элементов ( $s$  — пункта и линии), триангуляционный пункт следует увязать к ним, самым удобным методом — методом ординат и абсцисс, используя для этого мерную ленту и двупризмный экер. Это будет привязка триангуляционного пункта к избранным и идентифицированным элементам аэроснимка. Как известно, мы поступаем наоборот в случае привязки опознаков к пунктам геодезической основы. Увеличивая количество идентифицированных элементов на снимке и на местности, например, еще одним  $s$  — пунктом, который с ранее избранным  $s$  — пунктом может составить отрезок известной длины, получают добавочные местные контрольные данные. Такие два  $s$  пункта были наиболее частым случаем в производственной практике.

Эти добавочные данные, могут служить для увеличения точности положения триангуляционного пункта или для исключения возможности ошибки в идентификации или измерении на местности.

В случае, когда нет этих обстоятельств, то полевые работы надо ограничить до минимума необходимых сведений.

2) На основе данных с местности следует нанести при помощи координатографа (например автографа) так называемые вспомогательные чертежи основы на картонах, на которых вычерчивают всю снятую на местности группу пунктов в масштабе составляемой карты. На каждом таком чертеже изображают увязку только одного триангуляционного пункта; следовательно столько будет чертежей, сколько было увязанных триангуляционных пунктов. Один такой чертеж может служить для любой стереопары, если вся группа пунктов отобразится на этой стереопаре.

3) Ориентировку стереопары выполняют по методу, изложенному в статье „Новый метод внешнего ориентирования пары аэроснимков на автографах типа Wild A8 опубликованной в Сборнике Трудов ИГиК — 1963 г.

С помощью этого метода получают стереопары (вторую и следующие) в очень хорошем масштабе (относительная ошибка масштаба  $\frac{\Delta H}{H} \leq \frac{1}{420}$ ) и почти приведенные в горизонтальное положение без опознаков.

Из крайней величины относительной ошибки масштаба стереопары можно предвычислить ошибку положения триангуляционного пункта для определенного случая. Итак для масштаба карты 1 : 5000 и расстояния 200 м. ( $\rightarrow$  40 мм), эта крайняя величина составит  $\pm 0,10$  мм, что соответствует графической ошибке. Таким образом полученная стереопара является одномасштабной и равноугольной на всей своей поверхности.

Отдельно следует рассмотреть первую стереопару. Если даже для первой стереопары эта относительная ошибка масштаба может быть несколько большей величиной, то ряд очередных повторений даст возможность привести её к масштабу, основываясь на двух триангуляционных пунктах, расположенных на противоположных сторонах стереопары, так как эффект плохого масштаба модели влияет не только на группу окружающих пунктов, но проявляется еще более четко на всей поверхности стереопары. Весьма полезно в этом случае, для избежания возможной компенсации ошибок масштаба, определяемого на основании двух триангуляционных пунктов, принять вариант, данный на рис. 1, т. е. триангуляционные пункты увязать к двум  $s$  — пунктам.

4) Имея довольно хорошо определенную по масштабу стереопару и комплект вспомогательных чертежей с нанесенными триангуляционными пунктами, укладывают вспомогательный чертеж на доску коор-

динатографа автографа в место, указанное микроскопом координатографа, который должен быть заранее сцеплен с автографом. Путем установки визирной марки последовательно на соответствующих  $s$  — пунктах или линиях ( $p$ ), микроскоп координатографа устанавливается автоматически в соответствующих местах и в них укладывают вспомогательный чертеж. Таким образом чертеж, содержащий триангуляционный пункт, дает возможность передвинуть микроскоп координатографа на этот триангуляционный пункт (движениями рукояток) и визирная марка найдется ниже или выше триангуляционного пункта. Останется лишь поместить визирную марку на местности движением „z”.

Вследствие этой операции визирная марка найдется на триангуляционном пункте. Уточнение положения визирной марки на триангуляционном пункте может быть произведено также посредством простого расчета, который позволяет рассчитать соответствующие передвижения по оси  $x$  и  $y$  автографа по отношению к начальной точке ( $s$ ).

Остальные операции те же, что и раньше и не требуют описания.

Для анализа величины возможных ошибок, сопровождающих операции изложенной концепции, следует обратить внимание на следующие их источники:

1. ошибка вызванная ориентировкой чертежа (рис. 3, формула 3),
2. ошибка расположения (= идентификации)  $s$  — пункта, которая связана в лабораторных работах с расположением чертежа на координатографе автографа,
3. возможная ошибка масштаба стереопары в начальной фазе её настройки.

После анализа всех этих факторов, можно было сделать вывод, что вышеизложенный метод является технически правильным; он лучше метода, с опознаками, так как не требует, например, измерения и расчета координат для новых опознаков. Такими опознаками являются триангуляционные пункты. Координаты триангуляционных сетей гораздо точнее координат фотограмметрических сетей и в большинстве случаев они уже заблаговременно рассчитаны. Лабораторные и полевые работы при употреблении предлагаемого метода, являются весьма простыми.

Предлагаемый метод станет еще и экономически выгодным, когда можно будет свести число пунктов фотограмметрической основы к числу триангуляционных пунктов.



TRIGONOMETRIC AND OTHER GEODETIC, NON-MARKED  
POINTS AS THE FULLY VALUABLE PHOTOGRAMMETRIC  
CONTROL POINTS

S u m m a r y

As control points in the photogrammetric plotting are used in Poland till now only the well defined details of situation, clearly visible on the air photographs, whose coordinates are known (we call them here: *f*-points).

Trigonometric and other geodetic points, however, are till now used as control points in such rare cases only, when they are clearly visible on the air photographs; in other cases these points are not used in the plotting.

The purpose of this work is to present such a procedure, in which the trigonometric points, non-marked on the ground and therefore not visible in the photographs, can be successfully used in the photogrammetric plotting, particularly in the stereoscopic one.

The conception is based on the very simple measurements on the ground, which enable to the observer on the autograph the use of these points as photogrammetric control points.

*Characteristic of the method*

1) One have to identify on the photograph and on the ground at least 1 point of situation (we call it: *s*-point) nearly the trigonometric point and one choose this point as the initial point (the pole) of the measurement. This point ought to be situated on a straight line of situation (e.g. on a balk. Both the point and the line have to be clearly visible on the photograph. This line will be the survey line (*x*-axis).

Then one have to connect the triangulation point; the most convenient method of connection will be the perpendicular offsets method, which needs only the tape and the prism square. It will be therefore the connection of the trigonometric point to the chosen and identified elements of the air photograph. An inverse procedure is used, as we know, if we tie the control points to the geodetic points. If we choose more elements of the photograph, identified on the ground, e. g.: if we choose one more *s*-point, which form with the previous point a line of a given length, then we'll have the additional, local control data. Such two „*s*-points” would be in the practice the most used case. The use of additional points or lines may be made for increasing the accuracy

of determination the position of the trigonometric point; the other reason may be: the elimination of the possible error of the identification of points or of the measurements on the ground. If these conditions don't occur, it will be advisable to reduce the field work, necessary to obtain the minimum data required.

2) Using the field data one have to plot on a cartoon sheet the complete group of points, measured on the ground at the scale of the map to be plotted. Each cartoon sheet contains only one trigonometric point; that means, that we'll have as many cartoons as the number of trigonometric points, we have measured. One such cartoon will be used for all these stereograms, where the given trigonometric point with his group of s-points is situated.

3) One have to perform the orientation of the stereogram, according to the method described in the article: „Nowa metoda orientacji zewnętrznej pary zdjęć lotniczych na autografach typu Wild A8” (“A new method of absolute orientation of aerial stereograms for the autographs of Wild A8 type”), published in the “Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography” No 1 – 1963. By means of this method we obtain the stereograms (the 2<sup>nd</sup> and all the next) in a very correct scale (the relative error of the scale  $\frac{\Delta H}{H} \leq \frac{1}{420}$ ) and quite well levelled, without the use of control points.

From the maximal value of the relative error of the scale of a stereogram one can calculate the error of position of a trigonometric point for the definite case. For the map scale 1:5 000 and for the distance of 200 m (= 40 mm on the map) this maximal error will be 0,10 mm, which corresponds to the graphic error. Such a stereogram is conformal and has equal scale on its whole area.

The first stereogram has to be discussed more in details. Even if the relative error of the scale of the first stereogram is great, it will be possible to give him the correct scale by means of succeeding reiterations, basing on the two trigonometric points, situated on both sides of the stereogram, because the effect of the false model scale influences not only the vicinity of this group of points, but the whole area of the stereogram in a more distinct manner.

For such case it is well to use the version, shown in the fig. 1., that is to tie the trigonometric points to 2 s-points, in order to avoid the compensation of the errors of scale, determined from two trigonometric points.

4) When we have the stereogram quite well scaled and a set of cartoons with the trigonometric points plotted on them, we put the

appropriate cartoon on the table of the autograph, on the place shown by the microscope of the coordinatograph, which ought to be previously coupled with the autograph. By adjusting the floating mark successively on the  $s$ -points or on the lines of situation ( $p$ ) in the model, the microscope of the coordinatograph will automatically point the corresponding places on the table. We put the cartoon on the appropriate place and orient it. The oriented cartoon, because it contains also the trigonometric point enables us to adjust the microscope of the coordinatograph on this trigonometric point (by means of the hand-wheels) and the floating mark will be thus automatically set over or under the trigonometric point, in the model. Then we have only to set the mark on the ground with the  $z$ -spindle. After these operations we'll have set the floating mark on the trigonometric point with at least graphical accuracy. The increase of this accuracy may be achieved by a simple calculus, in result of which we'll obtain the necessary displacements along  $x$  and  $y$  axes of the autograph in regard to the initial point ( $s$ ).

The manipulations which follow don't require explanations.

In order to analyze the errors, resulting from this procedure, we have to call attention to the following sources of these errors:

1. error due to the orientation of the cartoon (fig. 3, formula 3).
2. error of position (= identification) of the  $s$ -point, which — as the plotting operations concerns — is connected with the adjusting of the cartoon on the table of the autograph.
3. eventual error in scale of the stereogram in the initial phase of orientation.

Having analyze all these factors one can conclude, that the above described method is technically correct and better, than this of  $f$ -points, because it doesn't require the measurements and computations of coordinates of  $f$ -points.

The trigonometric points have the coordinates of greater accuracy, than these of  $f$ -points, used till now. Both the office work and the field work are very simple in this method. If it is possible to use only the trigonometric points for the photogrammetric plotting, the value of this conception will be still greater for the practice from the economic point of view.