

## WSPÓLCZESNE PODEJŚCIE DO ZAGADNIENIA WYZNACZANIA WSPÓLRZĘDNYCH FOTOPUNKTÓW

Marek Plewako

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej w Krakowie  
Katedra Geodezji Wyższej  
Kraków, ul. Balicka 253a

Jubileusz 40-lecia Katedry Fotogrametrii skłania do podjęcia aktualnego przed 40 laty, lecz także i dziś zadania wyznaczenia współrzędnych fotopunktów.

Panujące dość powszechnie przekonanie o niskich wymaganiach dokładnościowych naziemnej osnowy fotogrametrycznej dla zdjęć lotniczych musi być zrewidowane w konfrontacji ze specjalnymi zadaniami gdzie współrzędne fotopunktów wyznaczane muszą być z wysoką dokładnością np. za pomocą aparatury GPS.

### 1. Fotopunkty — rozmieszczenie, sygnalizacja

Problem relacji między dokładnością fotogrametrycznego opracowania zdjęć (tak lotniczych jak i naziemnych) a liczbą i położeniem punktów wyjściowych – fotopunktów zaprzętał uwagę badaczy od wielu dziesiątek lat [np. Kratky, 1968; Vogl, 1966]. Fotopunkty łączą m.in. poszczególne ogniwa bloków aerotriangulacji [Stark, 1970; Ackermann, 1967]. Zwiększenie ich liczby nie zawsze jest ekonomicznie i dokładnościowo uzasadnione. Uważa się, np., że przy ścisłym wyrównaniu bloku aerotriangulacji dla utworzenia wielkoskalowej mapy, punkty osnowy geodezyjnej powinny występować co 2–4 modele [Hallund, 1970]. Zwiększenie liczby punktów geodezyjnych na obwodzie bloku podwyższa absolutną dokładność bloku.

Istniejące zalecenia, co do rozmieszczenia fotopunktów w pasie wspólnego pokrycia sąsiednich zdjęć stwarzają często określone problemy dla ich wyboru spośród niesygnalizowanych punktów.

Porównanie dokładności wyznaczenia przestrzennych współrzędnych sygnalizowanych i niesygnalizowanych punktów na przyrządach uniwersalnych przy zdjęciach wielkoskalowych wskazuje na różnicę 30–100% dokładności na korzyść punktów sygnalizowanych [Timuszczew, 1969].

Sygnalizacja fotopunktów przynosi kolejne zagadnienia inaczej rozwiązywane w różnych krajach:

- optymalizacja sygnału (kształt, rozmiar),
- możliwości zastosowania luminescencji do sygnalizacji punktów,
- zastosowanie różnych materiałów, np. z mas plastycznych.

Według niektórych badaczy, minimalne wymiary znaku sygnalizacyjnego (w cm) powinny wynosić:

$$\frac{M}{300 \div 400}$$

gdzie: M — mianownik skali zdjęcia [Pichlik, 1967].

### 2. Geodezyjne wyznaczenie współrzędnych fotopunktów

Podchodząc do problemu w sposób klasyczny należy kierować się zawsze wstępną analizą dokładności. Wychodząc z założonych wstępnie lub wymaganych z góry wielkości średnich

błędów położenia punktów (względnie dopuszczalnych odchyłek) poprzez dane o skali zdjęcia lotniczego, długości ogniskowej, niezbędnej gęstości osnowy geodezyjnej i sygnalizacji fotopunktów dochodzi się do metod pomiaru i niezbędne dla uzyskania obliczonej dokładności sprzętu geodezyjnego.

Przed 40 laty do powszechnie stosowanych metod geodezyjnego wyznaczania współrzędnych fotopunktów należały m.in. kątowe wcięcia, ciągi poligonowe, lokalne sieci triangulacyjne. Pojawiały się coraz liczniej doniesienia o stosowaniu dalmierzy elektromagnetycznych do tworzenia konstrukcji kątowo-liniowych i trilateracyjnych [Dale, 1968; Plewako i Żuk, 1968].

Ogólnie rzecz biorąc wszystkie te metody mogą być i są często nadal stosowane do wyznaczania współrzędnych fotopunktów. Są to; pojedyncze ciągi poligonowe, ale także sieci poligonowe z punktami węzłowymi; geodezyjne wcięcia kątowe i liniowe lub kątowo-liniowe; triangulacja, trilateracja, triangulateracja, pomiar biegunowy.

Przed 20 laty zaczęła swa triumfalną drogę do przekształcenia świadomości geodetów metoda wykorzystania sygnałów GPS do wyznaczenia składowych wektorów łączących wierzchołki anten odbiorników tego systemu. Daje ona wysokie dokładności w relatywnie krótkim czasie. Metoda nie wymaga wzajemnej widoczności między stanowiskami pomiarowymi.

### 3. Wyznaczenie za pomocą GPS wysokodokładnych współrzędnych fotopunktów

Współczesne podejście do problemu wyboru fotopunktów uwzględnia często możliwość ich wskazania po wykonaniu nalotu. Dobrze odfotografowane na zdjęciach, jednoznacznie identyfikowalne punkty mogą być teraz zamierzone geodezyjnie np. za pomocą aparatury GPS, jeśli pozwala na to brak ew. przeszkód w otoczeniu tych punktów [Plewako i in., 1999]. Dokładność tak wyznaczonych współrzędnych jest zazwyczaj wyższa od wymaganej i kształtuje się często w granicach  $\pm 1 \div 2$  cm. Dzięki temu, że nie jest wymagana realizacja wzajemnych celowych między punktami, pomiar ogranicza się do sesji pomiarowych z odbiornikami na fotopunktach. Tym samym oszczędza się dużo czasu w porównaniu do metod klasycznych

Specjalnego podejścia wymaga wyznaczenie współrzędnych fotopunktów dla wielkoskalowych zdjęć lotniczych w geodezji miejskiej, kolejowej czy inżynierskiej. Są to przypadki, gdy współrzędne fotopunktów trzeba wyznaczyć bardzo dokładnie. Stosując metodę statyczną lub Fast Static można liczyć na dokładność wyznaczenia składowych wektorów  $\pm 3-5$  mm, choć będzie to zależało od długości sesji, długości wektorów i innych czynników, często o charakterze lokalnym.

Określona przez instrukcję G-4 dokładność połowej osnowy fotogrametrycznej pomierzonej w terenie metodami geodezyjnymi wynosi,  $m_p < 0,05$  m i  $m_H < 0,05$  m. Jak wynika z przeprowadzonych doświadczeń dokładności te GPS zapewnia na poziomie  $m_p < 0,03$  m i  $m_H < 0,04$  m w półgodzinnych sesjach metody statycznej przy odległości odbiorników 1,5–9 km.

Cytowane wartości błędów dotyczą pojedynczych, najslabiej wyznaczonych punktów. Dokładności dla wektorów wyrównanych w sieci kształtują się zazwyczaj w granicach 0,005–0,200 m dla każdej ze składowych wektora  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  [Plewako i in. 1999].

### 4. Podsumowanie

W czasie 40 lat to samo, wciąż aktualne, rozwiązanie zadania wyznaczenia współrzędnych przeszło znaczącą ewolucję. Od wcięć kątowych poprzez konstrukcje liniowo-kątowe do wektorów GPS. Ta ostatnia metoda daje najdokładniejsze wyniki w najkrótszym czasie, dlatego stosuje się ją bardzo często w wyznaczaniu fotopunktów wzdłuż autostrad, magistrali kolejowych albo do wielkoskalowych opracowań obszarów miejskich. Odpadają wszystkie pomocnicze konstrukcje (np. ciągi poligonowe), za pomocą których w klasycznym podejściu przenoszone były współrzędne z punktów nawiązania na fotopunkty.

## Abstract

### A modern approach to establishment of photogrammetric control points problem

The ground control points for aerial photogrammetry – how it was done 40 years ago, 20 years ago and how it is done today with the help of GPS instrumentation.

Modern methods show their advantage both in time consuming and accuracy. The use of GPS allows to solve large scale mapping problems that appear in towns, railways, highways etc.

## Literatura

- Ackermann F. 1967, Theoretische Beispiele zur Lagegenauigkeit ausgleichener Blöcke, Bildmess. und Luftbildwes, 35, Nr 3, 114-122
- Dale P.F. 1968, The establishment of control by tellurometer radiations, Survey Rev. 19, Nr 147, 206-216
- Hallund J. 1970, Rapport vedorende fotogrammetrisk aerotriangulation og blokudjaevning, Landinspektoren, 25, Nr 10, 416-441
- Kratky V., 1968, Teoretický rozbor nutné přesnosti vlivovacích bodů v letecké stereofotogrametrii, Geod. A Kartogr. Obzor, Nr 11, 277-280
- Pichlik V. 1967, Zavislost' velikosti – fotogrammetrickeho signalizačního znaku a měřítka snímku na přesnosti polohového vyhodnocení, Geod. A Kartogr. obzor, 13, Nr 8, 206-210
- Plewako M., Żuk J. 1968, Zastosowanie telemetru OG-I w metodzie biegunowej wyznaczenia współrzędnych punktów osnowy fotogrametrycznej, Przegl. Geode. 40, Nr 10, 419-423
- Plewako M., Filippek M., Kwoczyńska B. 1999, Wyznaczenie współrzędnych fotopunktów za pomocą technologii GPS w różnych układach współrzędnych, ZN AR w Krakowie, 359, Geodezja z. 18, 109-118
- Stark E. 1970, Die Einbeziehung geodätischer Strecken und Azimuthmessungen in die Punktbestimmung durch photogrammetrische Block-triangulation, Allg. Vermess-Nachr, 77, Nr 8, 318-328
- Timuszczew G.N. 1969, Srawnienije tocznosti opriedelienija prostranstwiennykh koordinat markirovannykh i niemarkirovannykh tocziek na uniwersalnykh priborach pri krupnomassztabnykh sjemkach. Geod. Kartogr. i Aerofotostj. Wyp. 8, 108-116
- Vogl W. 1966, Die Genauigkeit der terrestrisch – photogrammetrischen Aufnahme in Abhängigkeit von der Anzahl und Lage der Paßpunkte unter besonderet Berücksichtigung der Aufnahmeverhältnisse im Braunkohlenbergbau, Freiburger forschungsh., A, Nr397, 7-107

Recenzował: dr inż. Tadeusz Wrona

