

Jerzy Bernasik*, Sławomir Mikrut*

WYKONYWANIE NAZIEMNYCH ZDJĘĆ CYFROWYCH
O ŚCIŚLE OKREŚLONEJ ORIENTACJI**

1. Wprowadzenie

Zagadnieniem, którego rozwiązanie opisano w tej pracy, jest takie oprzyrządowanie amatorskiej cyfrowej kamery fotograficznej, aby możliwa była nie tylko rekonstrukcja wiązki promieni tworzących obraz, ale aby już w momencie fotografowania można było znać dokładnie przestrzenną orientację tej wiązki. Pozwoli to traktować nowy zestaw fotograficzny jak fototeodolit. A nawet więcej – bo pomimo wyposażania fototeodolitów w libelle i systemy kątomierze, niedoskonałości konstrukcyjne nie pozwalały traktować fototeodolitów jak pełnowartościowych przyrządów pomiarowych. Jak pamiętamy, punkty kontrolne, mierzone „wiarygodnym” teodolitem stanowiły zazwyczaj podstawę korekcji kątowych elementów orientacji zdjęć fototeodolitowych. Jedynie w przypadku niektórych pomiarów budowli inżynierskich obywano się bez tych korekcji, ufając w wystarczającą metryczność („pomiarowość”) kamer naziemnych. Tę pomiarową pełnowartościowość urządzeń stosowanych do orientowania kamer zdjęć chcemy przywrócić, choć w przypadku wykorzystania do tego celu kamer niemetrycznych wydaje się to najmniej właściwe (a nawet karkołomne).

Jaki jest zatem sens tego rozwiązania? Czemu ma ono służyć? Odpowiedzi są dwie:

- 1) kamery cyfrowe umożliwiają zautomatyzowanie pomiarów obrazów fotograficznych,
- 2) ze stanowisk naziemnych można wykonywać zdjęcia o precyzyjnie znanej orientacji przestrzennej.

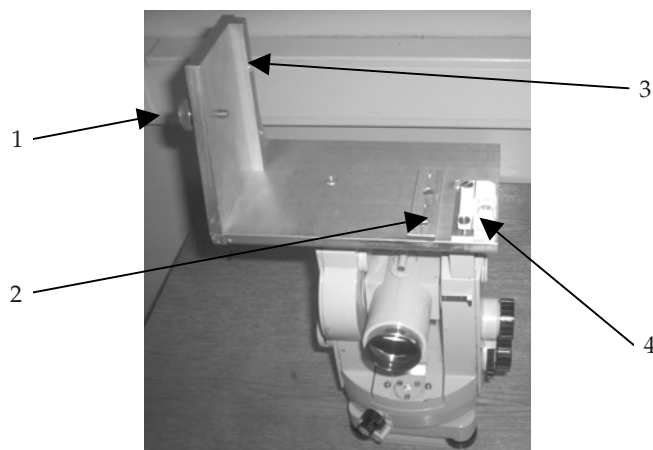
* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej

** Opracowano w ramach badań statutowych Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, nr badań 11.11.150.459

Dopóki nie będą dostępne pełnowartościowe fototeodolity cyfrowe, opisane zestawy umożliwią – mamy nadzieję – szybkie i tanie rozwiązanie wielu zadań pomiarowych z dziedziny fotogrametrii inżynierskiej.

2. „Metryzacja” amatorskiej kamery fotograficznej Kodak DCS 760

Punktem wyjścia jest fototeodolit jako przyrząd, który można precyzyjnie spoziomować i zorientować. Nasadkę mocującą kamerę amatorską na teodolicie Theo 010 stosował wcześniej dr inż. Adam Boroń (WGGiŚ AGH, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej), co pozwalało mu na przybliżone spoziomowanie i zorientowanie kamery, przy wykonywaniu zdjęć w standardowym ustawieniu (format wydłużony w poziomie). Planując wykorzystanie nowego zestawu do pomiarów wysokich budowli (maszty, kominy, wieże, słupy), opracowaliśmy inną nasadkę, umożliwiającą precyzyjne (powtarzalne) mocowanie kamery przy nachylonej osi optycznej ($+14^\circ$), do zdjęć o formacie wydłużonym w pionie (rys. 1). W przypadku obiektywu o ogniskowej 50 mm pozwala to uzyskać zasięg pionowy: górny $+29^\circ$, dolny -1° .



Rys. 1. Nasadka zamocowana na teodolicie; wskazano główne punkt podparcia kamery oraz libellę do korekcji nachylenia kamery: 1 – śruba mocująca ze stożkowym wpustem, 2 – wgłębienie na metalowy element kamery, 3 – beleczka ustalająca nachylenie po zamocowaniu kamery, 4 – libella

Najwięcej problemów stwarzała miękkość obudowy kamery Kodak DCS 760, bowiem zamocowanie musiało zapewniać powtarzalność orientacji kątowej na poziomie $10\pm 20''$, zwłaszcza jeśli chodzi o kąt skręcenia układu tłowego. Aby to osiągnąć, niezbędna była powtarzalność mocowania aparatu na poziomie 0,1 mm. Metodą prób i błędów, wraz z wykonawcą prototypu, panem Zygmuntem Starkiem, doszliśmy do efektów, które opisano w następnym rozdziale.

Niezależnie od prac nad konstrukcją nasadki mocującej trwały prace nad optymalizacją rozwiązań fotograficznych. Po stwierdzeniu, że nawet delikatne manipulacje związane z nastawieniem aparatu powodują zmianę niekontrolowanego (w momencie ekspozycji) nachylenia kamery, zainstalowano na urządzeniu mocującym dodatkową libellę. Dla wyjaśnienia: systemy teodolitu (libella alidadowa, luneta, limbus) gwarantowały powtarzalność orientacji, ale w momencie ekspozycji libella alidadowa pozwalała kontrolować tylko kąt skręcenia kamery (κ), zaś luneta – orientację poziomą (φ).

Ponieważ ręczne wyzwalanie migawki powodowało podobny efekt zmiany nachylenia, rozpoczęto poszukiwania urządzenia odpowiedniego urządzenia – zakupiony wężyk wyzwalający migawkę elektromagnetycznie spełnił oczekiwania. Tak dopracowany zestaw fotogrametryczny (rys. 2) stanowił przedmiot dalszych prób i badań.



Rys. 2. Kamera Kodak DCS 760 zamocowana na teodolicie Theo 010B jako zestaw fotogrametryczny do wykonywania zorientowanych zdjęć nachylonych w celu pomiaru wychyleń wysokich obiektów

Podjęto także badania nad możliwością wprowadzenia korekt do nastawionych kątowych elementów orientacji w oparciu o rejestrację wysokiego punktu (np. wierzchołka kolumny) przy kilku różnych orientacjach kamery.

O efektywności tych działań świadczą zdjęcia pola testowego.

3. Wyznaczanie parametrów nowego zestawu fotograficznego i ocena powtarzalności orientacji kamery

Kamerę Kodak DCS 760 z obiektywem o ogniskowej 50 mm (nastawionym na ∞), jak to stwierdzono w trakcie wykonanych wcześniej kalibracji, charakteryzuje odległość obrazowa $c_k = 5682$ piksele. Wraz z opisanym urządzeniem mocującym tworzy zestaw, w którym oś kamery jest nachylona pod kątem $15,746^\circ$, górny zasięg pionowy wynosi $+32,44^\circ$, dolny zasięg $-0,854^\circ$, a zasięg poziomy $22,2^\circ (\pm 11,1^\circ)$.



Rys. 3. Pole testowe – sześć punktów kontrolnych obranych na elewacji budynku C4 (AGH)

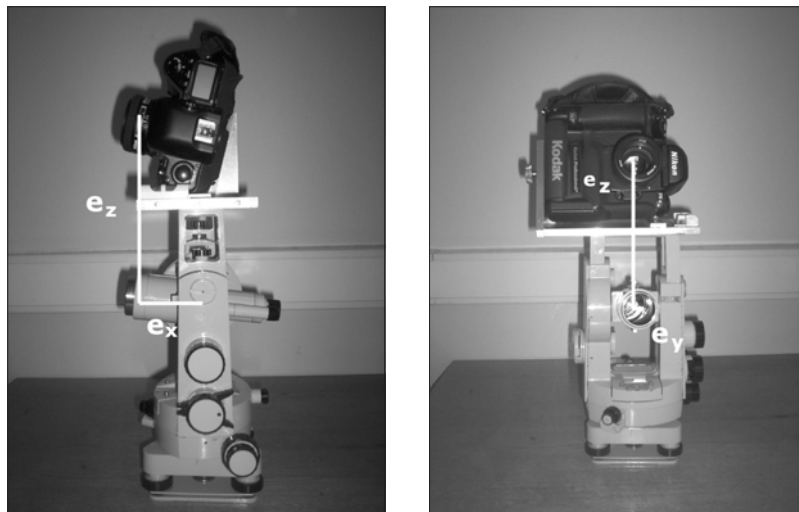
Ocenę efektywności podjętych prób i wyznaczanie zasięgów kamery przeprowadzono na polu testowym (rys. 3). Z wybranego stanowiska pomiarowego (rys. 4) wykonano 27 zdjęć, które (po ich pomiarze) miały dostarczyć odpowiedzi na następujące pytania:

- Jaka jest dokładność orientacji kątowej nowego zestawu fotogrametrycznego?
- Jaka jest powtarzalność orientacji kątowej, po każdorazowym zamocowaniu kamery?
- Jaki wpływ na poszczególne elementy orientacji mają stwierdzone błędy powtarzalności orientacji kamery?
- Jakie są parametry (nachylenie, skręcenie układu tłowego, zasięgi,) nowego zestawu?



Rys. 4. Autorzy w trakcie prac na stanowisku pomiarowym

Na stanowisku pomiarowym wykonano pomiar kierunków (kąty poziome i pionowe) do punktów kontrolnych. Wyznaczono elementy mimośrodowe ($e_{x'}$, $e_{y'}$, e_z) (rys. 5), które pozwoliły określić prawdziwe kierunki do punktów kontrolnych jako wiązkę o wierzchołku w zewnętrznym środku rzutów kamery.



Rys. 5. Elementy mimośrodowe: $e_{x'}$, $e_{y'}$, e_z

Współrzędne tłowe pomierzono w cyfrowej stacji fotogrametrycznej VSD, określając pikselowe współrzędne punktów kontrolnych na wszystkich zdjęciach.

Pierwsze analizy materiału pomiarowego pozwoliły określić odchylenia standardowe, z jakimi określono współrzędne x i z , wyodrębniając wpływ (na to odchylenie): pomiaru (m_p), orientacji (oraz pomiaru) (m_{or}), mocowania (oraz pomiaru i orientacji) (m_m). Wyznaczone wartości zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Odchylenia standardowe określenia współrzędnych tłowych (w pikselach)

Nr punktu kontrolnego	m_p		m_{or}		m_m	
	$m_{p,x}$	$m_{p,z}$	$m_{or,x}$	$m_{or,z}$	$m_{m,x}$	$m_{m,z}$
1	0,3	0,6	1,7	1,3	4,9	12,0
2	0,4	0,4	1,2	1,1	5,2	12,6
3	0,6	0,4	0,5	0,3	5,9	12,9
4	0,5	0,3	1,0	0,0	4,9	12,4
5	0,0	0,3	0,5	0,5	5,6	11,5
6	0,3	0,0	0,8	1,2	4,5	12,4
Przeciętne wartości odchyłeń standardowych	0,35	0,33	0,95	0,73	5,1	12,3

Analiza powyższych błędów doprowadziła do określenia ich wpływu na orientację kamery. Obliczono (w sekundach stopniowych) błędy: skręcenia – m_{κ} , zwrotu – m_{φ} , nachylenia – m_{ω} :

$$\begin{array}{lll}
 m_{\kappa,p} = 71'' & m_{\kappa,or} = 109'' & m_{\kappa,m} = 184'' \\
 m_{\varphi,p} = 13'' & m_{\varphi,or} = 34'' & m_{\varphi,m} = 185'' \\
 m_{\omega,p} = 12'' & m_{\omega,or} = 12'' & m_{\omega,m} = 446''
 \end{array}$$

Dla orientacji, wpływ tych błędów na określenie wychylenia od pionu (M_w) budowli 50-metrowej wyniesie:

$$M_{w,p} = \pm 17 \text{ mm}, \quad M_{w,or} = \pm 26 \text{ mm}, \quad M_{w,m} = \pm 45 \text{ mm}.$$

4. Ocena przydatności i możliwości dokładnościowych prototypowego zestawu fotogrametrycznego

Powyższe zestawienia pozwalają na dokonanie ostatecznej oceny wyników badań, ale wymagają zastanowienia (zwłaszcza wartość $M_{w,m}$) i komentarza. Zakładając wykorzysta-

nie testowanego przyrządu (wraz z oprogramowaniem automatyzującym pomiar) do szybkiego – w czasie prawie rzeczywistym – określania odchyień od pionu, można uznać, że system będzie przydatny.

Na wysnucie takiego wniosku pozwalają następujące wskaźniki:

- błędy pomiaru ręcznego w VSD na poziomie $1/3$ piksela wpływają na wynik w stopniu niegroźnym (17 mm przy wysokości 50 m), a będą one jeszcze mniejsze w przypadku automatycznej analizy konturu widocznego na tle nieba;
- błędy orientacji zwiększają tamten wskaźnik do 26 mm i jest to wielkość dopuszczalna;
- największe błędy przypadkowe, spowodowane niejednakowym mocowaniem kamery, w przypadku wielokrotnych zdjęć (automatycznie analizowanych w czasie rzeczywistym) można zmniejszyć – np. dwukrotnie, przy czterech zdjęciach; taka dokładność (rzędu 2 cm) jest do zaakceptowania, zwłaszcza że na poprawność określenia lokalnych zmian kształtu wpływ ten będzie znacznie mniejszy;
- wpływ błędów orientacji można będzie zmniejszyć, stosując automatyczną korekcję orientacji kamery, przy zastosowaniu opracowywanej metody, opartej na rejestracji wysokiego punktu w kilku ustawieniach kamery.

Reasumując, powyższe wyniki możemy uznać za obiecujące, liczymy, że dalsze badania uda się realizować przy wykorzystaniu kamery cyfrowej o lepszych parametrach.