

WITOLD MIZERSKI

528.74:622.235

Fotogrametryczna metoda pomiaru procesów szybkozmiennych w zastosowaniu do wyznaczania stref rozrzutu odłamków skalnych przy robotach strzałowych

Wstęp

Fotogrametryczna metoda pomiaru procesów szybkozmiennych została opracowana w Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii na zlecenie Zakładu Badań i Doświadczeń Przemysłu Kamienia Budowlanego „PROKAM”, z przeznaczeniem do wyznaczania zasięgu odłamków skalnych rozrzuconych w czasie odstrzału.

Znajomość rzeczywistego zasięgu odłamków ma duże znaczenie dla bezpieczeństwa i właściwej organizacji pracy w kamieniołomach.

Dotychczas stosowane metody, polegające na wizualnej obserwacji odłamków skalnych przez grupę obserwatorów rozmieszczonych w schronach z otworami obserwacyjnymi odwróconymi od punktu odstrzału, dawały niepewne wyniki: nie można było na przykład zaobserwować punktów upadku drobnych odłamków skalnych.

Badania nad nową metodą zostały podjęte w Zakładzie Fotogrametrii w 1971 r. Wykorzystano prace teoretyczne i doświadczenia dr T. Bednarzskiego i dr A. Majde z Politechniki Warszawskiej, dotyczące fotogrametrycznego pomiaru procesu tłoczenia wybuchowego.

Stwierdzono, że postawiony problem można rozwiązać tylko przy użyciu kamer filmowych pracujących z podwyższoną częstotliwością i przy wykorzystaniu zjawiska stereoskopii.

Zadaniem Zakładu Fotogrametrii było opracowanie szczegółowych przepisów technologicznych wykonywania pomiarów stref rozrzutu metodą fotogrametryczną. Celem tych pomiarów będzie wyznaczenie zależności strefy rozrzutu od rodzaju i wielkości ładunku wybuchowego, sposobu jego rozmieszczenia i rodzaju skały.

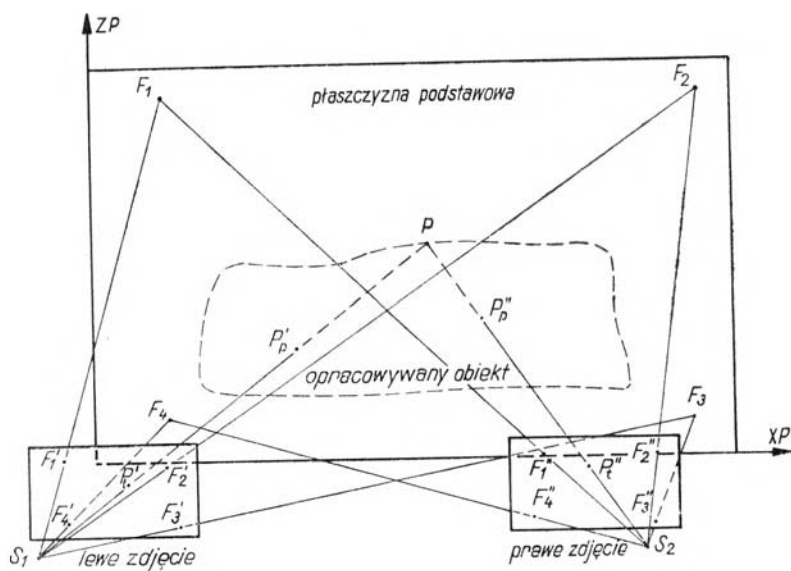
1. Teoretyczne podstawy metody

1.1. Orientacja zdjęć i wyznaczanie współrzędnych odfotografowanych punktów

Kamery przeznaczone do wykonywania pomiarów fotogrametrycznych powinny posiadać stałe i znane elementy orientacji wewnętrznej (odległość obrazu i położenie punktu głównego) oraz możliwość nastawienia lub pomiaru elementów orientacji zewnętrznej do określenia położenia osi zdjęcia w przyjętym układzie współrzędnych.

Użyte przez nas kamery filmowe: Pentazet 16, Peillard Bolex 16, Pentaflex 16 i Cinephon BR w swojej konstrukcji nie były oczywiście przystosowane do wykonywania pomiarów fotogrametrycznych. Nie znano elementów orientacji wewnętrznej, nie było także możliwości wyznaczenia bądź pomiaru elementów orientacji zewnętrznej.

Problemy wynikające z braku elementów orientacji rozwiązano w oparciu o zasady geometrii rzutowej. Płaszczyzna zdjęcia filmowego, o nieznanym położeniu w przestrzeni, zostaje mianowicie przekształcona rzutowo na ściśle określoną i wytyczoną w terenie płaszczyznę, zwaną dalej płaszczyzną podstawową.



Rys. 1

Związki pomiędzy współrzędnymi tłowymi odfotografowanych punktów i ich współrzędnymi przetworzonymi na płaszczyznę podstawową można wyrazić następującymi wzorami:

$$x_p = \frac{a \cdot x_t + b \cdot z_t + c}{g \cdot x_t + h \cdot z_t + 1}, \quad (1a)$$

$$z_p = \frac{d \cdot x_t + e \cdot z_t + f}{g \cdot x_t + h \cdot z_t + 1}, \quad (1b)$$

gdzie:

x_p, z_p — współrzędne na płaszczyźnie podstawowej,

x_t, z_t — współrzędne obrazowe wyrażone w dowolnym układzie.

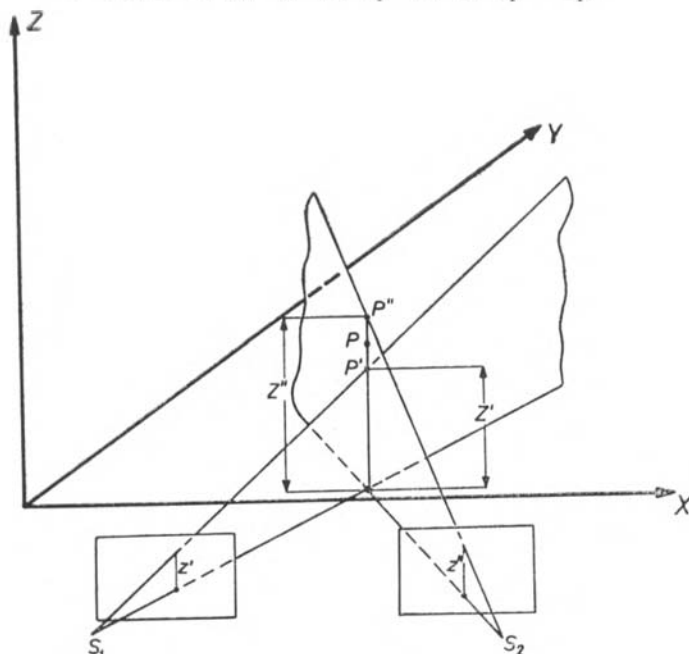
Osiem współczynników przekształcenia rzutowego: a, b, c, d, e, f, g, h wyznacza się na podstawie n (minimum cztery) fotopunktów, których współrzędne są znane w obu układach.

Przy minimalnej liczbie fotopunktów muszą one spełniać warunek, że żadne trzy z nich nie leżą na jednej prostej.

Każdy fotopunkt daje dwa równania:

$$a \cdot x_t + b \cdot z_t + c - g \cdot x_t \cdot x_p - h \cdot z_t \cdot x_p = x_p, \quad (2a)$$

$$d \cdot x_t + e \cdot z_t + f - g \cdot x_t \cdot z_p - h \cdot z_t \cdot z_p = z_p. \quad (2b)$$



Rys. 2

Układ $2n$ takich równań jest rozwiązywany metodą najmniejszych kwadratów.

Gdyby obserwacje współrzędnych tłowych oraz współrzędnych geodezyjnych fotopunktów i środków rzutów nie były obciążone błędami przypadkowymi, wówczas proste S_1P_t' i S_2P_t'' (rys. 1) przecięłyby się w przestrzeni, wyznaczając położenie obserwowanego punktu. Ponieważ jednak błędy przypadkowe są nieuniknione proste te będą na ogół skośne. Spośród różnych znanych definicji punktu „przecięcia” dwóch prostych skośnych wybrano jako stosunkowo łatwe do wykorzystania określenie wyznaczonego punktu przez rozwiązanie warunku $Z' - Z'' = 0$ (rys. 2). Otrzymane różnice pomiędzy współrzędnymi Z' i Z'' charakteryzują w pewnym stopniu dokładność opracowania i były liczone dla każdego obserwowanego punktu.

1.2. Problem synchronizacji pracy kamer

Opracowana metoda wyznaczania współrzędnych przestrzennych zakłada, że zdjęcia użyte do obliczenia położenia punktu zostały wykonane równocześnie.

O wymaganej precyzji synchronizacji momentu wykonania zdjęć można się przekonać przeprowadzając następujące rozumowanie: Zakładamy, że z odległości y i z bazy b został sfilmowany kamień poruszający się równolegle do bazy z prędkością v .

Błąd paralaksy podłużnej, wynikający z przesunięcia się kamienia w czasie m_t pomiędzy wykonaniem obydwu zdjęć tworzących stereogram, wyniesie

$$m_p = \frac{v}{m} m_t,$$

gdzie m jest mianownikiem skali zdjęć i równa się y/f

$$\text{skąd} \quad m_p = \frac{v \cdot f}{y} m_t. \quad (3)$$

Różniczkując względem p wzór dla współrzędnej y zdjęć normalnych

$$y = \frac{bf}{p}$$

otrzymamy wynikający z błędu paralaksy błąd tej współrzędnej

$$m_y = \frac{bf}{p^2} m_p. \quad (4)$$

Wstawiając do wzoru (4) wartości: $\frac{bf}{p} = y$, $p = \frac{bf}{y}$, oraz (3), otrzymamy wzór wyrażający błąd współrzędnej y w funkcji błędu synchronizacji czasowej kamery

$$m_y = \frac{y \cdot v}{b} m_t. \quad (5)$$

Błąd współrzędnej x (wzdłuż osi równoległej do bazy) będzie wynosił

$$m_x = v \cdot m_t. \quad (6)$$

Jeżeli założymy przeciętnie spotykane wartości: $m_t = 1/100$ sek.; $y = 100$ m; $b = 10$ m; $v = 20$ m/s, wówczas otrzymamy $m_y = 2$ m i $m_x = 0,2$ m.

Przeprowadzona analiza wykazała, że sprawie synchronizacji częstotliwości pracy kamer i uzgadniania czasowego zdjęć należy poświęcić wiele uwagi. Ponadto należy tak dobierać metodę określania trajektorii i wyznaczania punktów upadku odłamków skalnych, aby zmniejszyć do minimum skutki niezgodności czasowej zdjęć.

Jako uzgadnianie czasowe zdjęć należy rozumieć postępowanie, mające na celu wybranie z dwóch zestawów zdjęć wykonanych dwoma kamerami filmowymi klatek najbliższych sobie czasowo.

1.3. Wyznaczanie zasięgu odłamków skalnych

W czasie pierwszego etapu prac badawczych sformułowano i przebadano dwie różne metody określania współrzędnych punktów upadku odłamków skalnych.

Pierwsza metoda, którą nazwano geometryczną, polegała na pomiarze współrzędnych poruszającego się odłamka skalnego w kilku punktach jego trajektorii i następnie aproksymacji równania toru wielomianem drugiego stopnia:

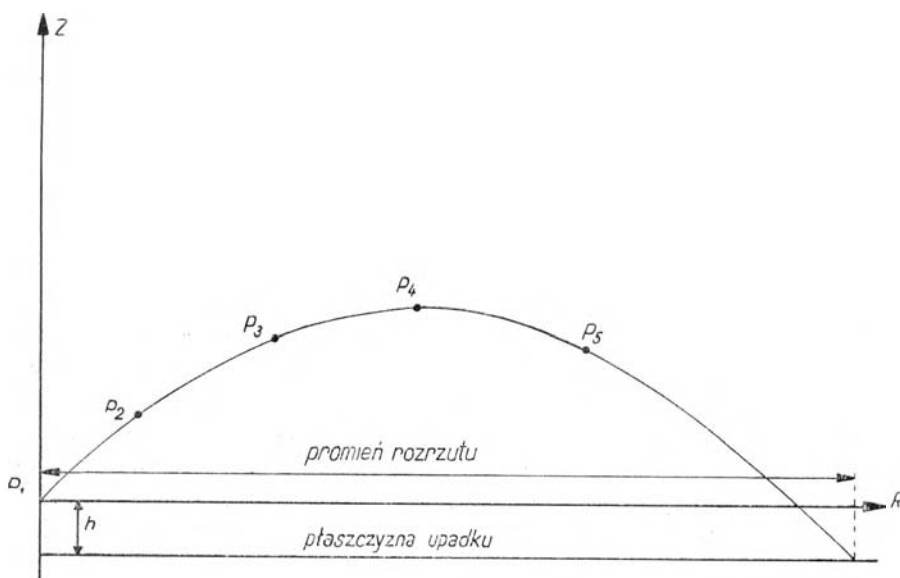
$$z = a \cdot r^2 + b \cdot r + c. \quad (7)$$

Zasięg odłamka skalnego obliczano przez rozwiązanie wyznaczonego już równania toru z płaszczyzną o równaniu

$$z = -h, \quad (8)$$

gdzie h wyraża znany z pomiaru lub założenia poziom upadku (rys. 3).

Przy większych rozrzutach trudno jest niestety uchwycić pomiarowo dostatecznie reprezentatywny odcinek trajektorii, gdyż często następuje



Rys. 3

zbyt szybkie gubienie śladowych odłamków skalnych. W takim przypadku pomiar z konieczności ogranicza się tylko do początkowego fragmentu toru, dlatego też jego określenie musiało być wykonywane innym sposobem.

Opracowano więc następną metodę aproksymacji równania trajektorii, którą nazwano kinetyczną.

Jako podstawę dla wyznaczenia trajektorii przyjęto jej fizyczną postać określoną znanym równaniem dla rzutu ukośnego.

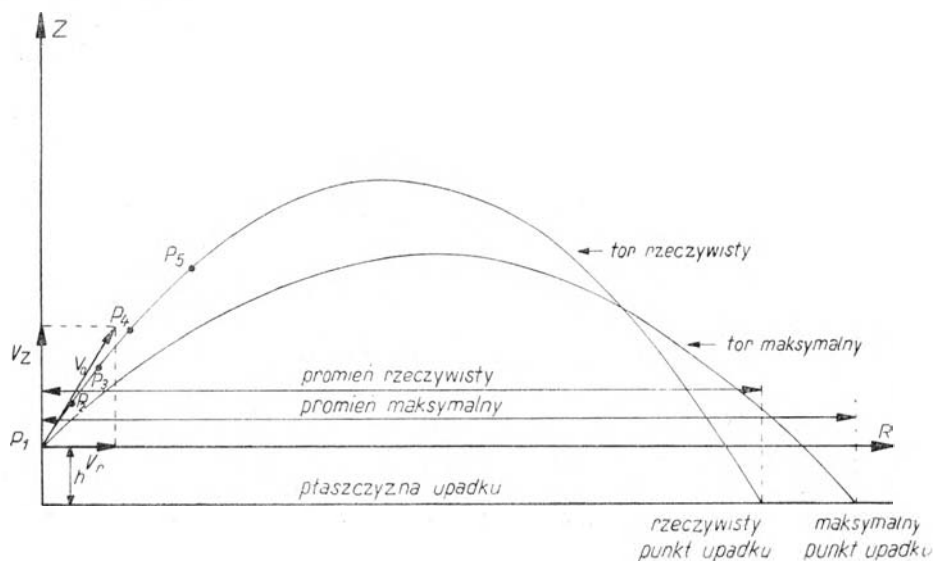
Na podstawie uchwycionych pomiarowo kilku początkowych położań obserwowanego odłamka skalnego w czasie i przestrzeni, oblicza się jego prędkość początkową v_0 i jej składowe: v_z i v_r . Następnie w funkcji tych wielkości oraz przyspieszenia ziemskiego oblicza się równanie trajektorii i zasięg odłamka skalnego.

Wyznaczone równanie ma następującą postać:

$$r = \frac{v_r}{g} (v_z + \sqrt{v_z^2 + 2gh}), \quad (9)$$

gdzie g — wartość przyspieszenia ziemskiego, pozostałe oznaczenia jak na rysunku 4.

Obliczenie zasięgu odłamków skalnych było wykonywane dla rzeczywistości uchwyconej trajektorii oraz przy założeniu, że obserwowany odłamek skalny posiada prędkość początkową o tej samej wartości bezwzględnej, lecz o najmniej korzystnym nachyleniu, tzn. 45° (stąd wynika $v_r = v_z = v_0/\sqrt{2}$)



Rys. 4

Po analizie okazało się, że metoda kinetyczna jest bardziej przydatna i uniwersalna od metody geometrycznej, ponieważ pozwala na wyznaczenie punktów upadku nawet bardzo drobnych odłamków skalnych obserwowanych na krótkich, początkowych odcinkach trajektorii. Metoda kinetyczna jest ponadto mniej czuła na narastające niezgodności czasowe zdjęć.

1.4. Analiza wymaganej dokładności wyznaczenia punktów określających trajektorię

Dla uproszczenia rozważań przekształćmy wzór (9) zakładając

$$v_r = v_z = v_0/\sqrt{2} = v \text{ oraz } h = 0,$$

skąd otrzymamy

$$r = 2 \cdot v^2/g. \quad (10)$$

Różniczkując wzór (10) względem v otrzymamy błąd obliczanego zasięgu odłamka skalnego w funkcji błędu jego prędkości:

$$m_r = \frac{4 \cdot v}{g} m_v. \quad (11)$$

Wychodząc z wzoru na szybkość $v = d/t$, możemy po jego zróżniczkowaniu i odpowiednim przekształceniu otrzymać wzór na błąd prędkości w funkcji błędu odległości (m_d) i błędu wyznaczenia odcinka czasu (m_t)

$$m_v = \frac{1}{d} \sqrt{(v \cdot m_d)^2 + (v^2 \cdot m_t)^2}. \quad (12)$$

Wstawiając wyprowadzoną wartość m_v (12) do (11) i odpowiednio przekształcając możemy otrzymać wzór określający dopuszczalny błąd wyznaczanych odcinków (m_d), jeżeli chcemy się zmieścić w założonym błędzie obliczanego zasięgu odłamka skalnego (m_r):

$$m_d = \sqrt{\frac{g^2 \cdot d^2}{16 \cdot v^4} \cdot m_r^2 - v^2 \cdot m_t^2}. \quad (13)$$

Z praktyki wiadomo, że obserwowany kamień jest chwytny pomiarowo średnio na odcinku 10 m, porusza się ze średnią prędkością początkową $v_0 = 30$ m/sek oraz, że $m_t = 1/100$ sek. Ponadto zakładając, że chcemy osiągnąć $m_r = \pm 5$ m i wstawiając powyższe wartości do wzoru (13) otrzymamy $m_d = 0,20$ m.

Stąd punkty wyznaczające obserwowany odcinek trajektorii muszą być wyznaczone z błędem nie większym niż $0,2/\sqrt{2}$, tj. około 15 cm.

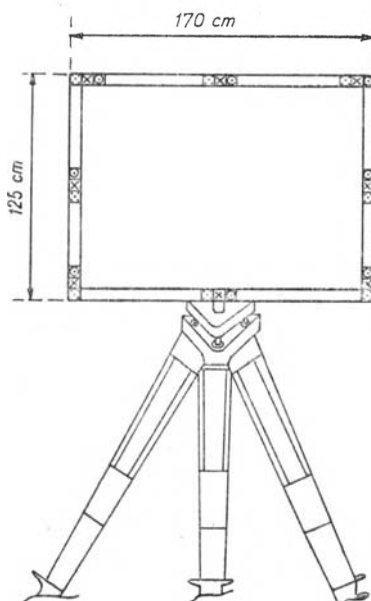
Ustalając przepisy technologiczne, tak dobierano parametry dokładnościowe poszczególnych faz pracy, aby zapewnić otrzymanie współrzędnych obserwowanych punktów z dokładnością ± 15 cm.

2. Praktyczna realizacja opracowanej metody

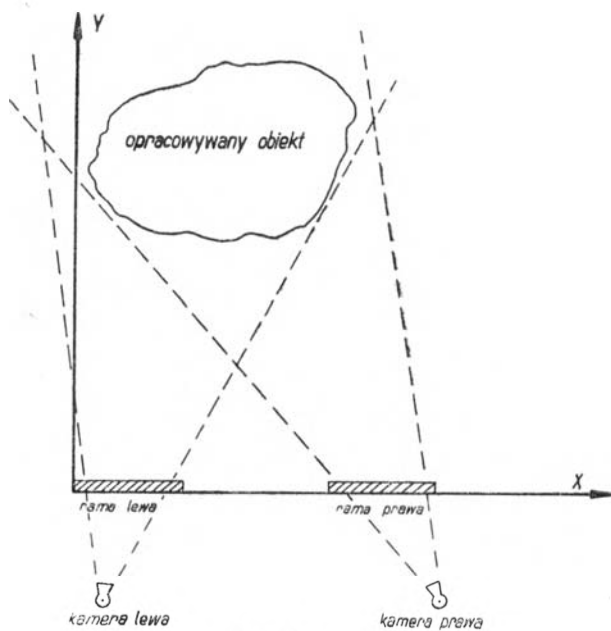
W drugim etapie prac badawczych zakończonym na początku 1974 r. sprawdzono opracowaną metodę przez kilkakrotne wykonanie pomiarów przy różnych typach odstrzałów w różnych kamieniołomach oraz opracowano szczegółową technologię ich przeprowadzania.

2.1. Realizacja płaszczyzny podstawowej

Płaszczyznę podstawową realizowano początkowo za pomocą sygnałów umieszczanych na wysokich stalowych masztach ustawianych w pobliżu filmowanego obiektu. Sposób ten okazał się bardzo pracochłonny ponie-



Rys. 5



Rys. 6

waż trudno było ustawić stabilnie dostatecznie wysokie maszty, ponadto były one często uszkodzane i przewracane podczas odstrzałów.

Ostatecznie zdecydowano się na realizację płaszczyzny podstawowej za pomocą dwóch specjalnie skonstruowanych lekkich i składanych ram aluminiowych (rys. 5) o wymiarach 170×125 cm. Ramy te były ustawiane na statywach geodezyjnych przed obiektywami obu kamer filmowych w takiej odległości, aby otrzymane ich obrazy były ostre i aby znaczki naklejone na ramy i spełniające rolę fotopunktów obejmowały opracowywany obiekt. Ramy te były wtyczane za pomocą teodolitów, tak aby tworzyły jedną płaszczyznę. Dla lepszej ich stabilizacji zaprojektowano odciągi linowe mocowane do kołków wbijanych w ziemię.

Schemat rozstawienia ram pomiarowych i kamer filmowych w stosunku do opracowywanego obiektu pokazano na rysunku 6.

2.2. Pomiary geodezyjne

Po rozstawieniu ram i kamer należało wykonać pomiary geodezyjne. Celem tych pomiarów było wyznaczenie przestrzennych współrzędnych znaczków naklejonych na ramach i spełniających rolę fotopunktów oraz środków rzutów (środków obiektywów kamer filmowych).

W przypadku braku możliwości bezpośredniego wyznaczenia współrzędnych środków rzutów (ponieważ kamery były często ukryte w schronach) należało pomierzyć współrzędne co najmniej dwóch fotopunktów leżących możliwie daleko od płaszczyzny podstawowej i odfotografowanych na obu zdjęciach.

Współrzędne punktów osnowy i środków rzutów muszą być wyrażone w układzie określonym przez płaszczyznę podstawową: oś X jest osią poziomą leżącą w płaszczyźnie podstawowej, oś Y jest osią poziomą prostopadłą do X , oś Z jest prostopadłą do X i Y , skierowaną do góry.

Dla zapewnienia odpowiedniej dokładności wyznaczanych punktów, współrzędne znaczków umieszczonych na ramach i współrzędne środków rzutów muszą być wyznaczone z wzajemną zgodnością nie gorszą niż ± 2 mm. Nie jest to trudne do osiągnięcia zważywszy, że odległości wzajemne nie przekraczają 15 m. Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów leżących poza płaszczyznę podstawową (wyznaczanych, gdy nie można pomierzyć środków rzutów) określa się na ± 5 cm.

Przy średniej skali zdjęcia 1 : 1000 i spodziewanym błędzie pomiarowej współrzędnej tłowej $\pm 0,02$ mm, współrzędne fotopunktów leżących w pobliżu opracowywanego obiektu powinny być wyznaczone z dokład-

nością ± 2 cm. Ze względu na konstrukcję najczęściej stosowanych więc w przód (ze stosunkowo małej bazy fotografowania) byłoby to trudne do osiągnięcia, wymagałoby to dodatkowych pomiarów geodezyjnych i nie byłoby potrzebne zważywszy, że dla punktów wyznaczanych wystarcza dokładność ± 15 cm (patrz punkt 1.3).

2.3. Filmowanie ostrzału

Do filmowania ostrzałów używano następujących kamer:

1) Pentazet 16, o formacie 16 mm i częstotliwości zdjęć do 3000 klatek na sek. Próbne filmowania tą kamerą wykonywano z częstotliwościami: 300, 600 i 1000 zdjęć na sek.

2) Peaillard Bolex 16, o formacie 16 mm i częstotliwości wykonywania zdjęć do 64 klatek na sek.

3) Pentaflex 16, o formacie 16 mm i częstotliwości wykonywania zdjęć do 48 klatek na sek.

3) Cinephon BR, o formacie 35 mm i częstotliwości wykonywania zdjęć do 38 klatek na sek.

Podczas przygotowywania kamer do pracy i w czasie ich obsługi należy przestrzegać następujących wskazówek:

1) W czasie rozruchu kamer należy zadbać o możliwie najlepsze uzgodnienie częstotliwości ich pracy. Narastające przesunięcia czasowe kolejnych par zdjęć, mogą poważnie zdeformować wyniki pomiarów o ile nie zostaną skorygowane w trakcie opracowania.

2) Należy filmować z możliwie wysoką częstotliwością, jednak nie większą niż 300 klatek na sek. Filmując z wysoką częstotliwością zmniejszamy czas naświetlania, a więc ograniczamy ewentualne rozmazania i uzyskujemy bogatszy materiał dokumentacyjny. Należy jednak pamiętać, że wysokie częstotliwości wymagają dobrych warunków oświetlenia. Użycie wysokoczułych materiałów fotograficznych ze względu na duże ziarno nie rozwiązuje problemu.

3) Należy tak dobierać materiał fotograficzny, stopień naświetlenia oraz rodzaj wywoływacza, aby uzyskać maksymalną wyrazistość i czytelność drobnych szczegółów. Bardzo ważne jest uzyskanie małego ziarna, dopuścić natomiast można skażenie ogólnej tonacji filmu, o ile spowoduje to lepszą czytelność szczegółów.

4) Należy tak dobrać przysłonę i kąt sektora migawki, aby przy ustalonej częstotliwości filmowania jednocześnie zapewnić odpowiednio krótki

czas naświetlenia, pełną ostrość obiektu (daleki plan) i tylko nieznaczny spadek ostrości znaczków ramy pomiarowej (bliski plan).

2.4. Analiza otrzymanego materiału filmowego i uzgadnianie czasowe zdjęć

Wykonany materiał filmowy poddać należy wstępnej analizie. W szczególności powinny być analizowane następujące elementy otrzymanych obrazów:

1) Czasowo-przestrzenna treść filmu. Należy sprawdzić, czy film zawiera: właściwy przedział czasowy, właściwy dla badanego procesu wy-cinek przestrzeni i dostateczną podstawę fotogrametryczną.

2) Kontrast materiału filmowego. Należy sprawdzić czy takie parametry fotograficzne jak kontrast i zaczernienie umożliwiają wyróżnienie drobnych obiektów.

3) Ostrość materiału filmowego. Należy sprawdzić czy ostrość uzyskanego materiału gwarantuje dostateczną dokładność opracowania. Spraw-dzeniu należy poddać przede wszystkim partię filmu obrazującą pierwsze momenty wybuchu, gdyż tu właśnie może nastąpić istotny spadek ostrości spowodowany zbyt szybkim ruchem odstrzelonego urobku w stosunku do czasu naświetlania.

Po przeanalizowaniu materiału filmowego i stwierdzeniu, że nadaje się on do opracowania, przeprowadza się uzgodnienie czasowe zdjęć oraz numeruje się je według ustalonych systemów.

W zależności od używanych kamer można stosować różne sposoby postępowania przy uzgadnianiu czasowym zdjęć.

Konstruktorzy szybkich kamer (np. Pentazet 16) w przewidywaniu potrzeb pomiaru czasu wprowadzili specjalne znaczkki czasu w postaci odfo-tografującej się na brzegu taśmy filmowej cienkiej linii, przerywanej w momentach ustalonych przez generator impulsów. Najwłaściwsze wyko-rzystanie znaczków czasu przy stereoskopowym filmowaniu takimi kame-rami polega na zasilaniu znaczników obu kamer przez wspólny generator impulsów. Osiągnięcie tego wymagało modyfikacji połączeń układu zasilania lamp znaczników czasu.

Przy innych kamerach, gdzie nie było tych możliwości, stosowano uzgadnianie wykonanych zdjęć na podstawie odfotografowanych błysków silnej żarówki, lub na podstawie położenia w przestrzeni (na tle ściany ka-mieniołomu) specjalnie odstrzelonego pionowo w górę małego kamienia.

Uzgodnienie wykonanych zdjęć można także wykonać na podstawie ukazującego się w momencie odstrzału obłoku gazowego. Oczywiście na

tej podstawie można uzgodnić tylko zdjęcia samego początku procesu i wówczas dokładność opracowania zależałaby od dobrej synchronizacji częstotliwości pracy obu kamer. W wypadku niezgodnych częstotliwości można korygować zestawienia następnych zdjęć w oparciu o próbne obliczenia różnych stereogramów i kontrolę paralaks poprzecznych w modelu numerycznym.

2.5. Obserwacje

Obserwacje zdjęć filmowych były wykonywane na stekometrze z automatyczną rejestracją wyników na taśmie ośmiokanałowej. Opracowano specjalną technologię obserwacji pozwalającą na śledzenie tego samego odłamka skalnego poprzez wiele stereogramów.

Przebieg procesu obserwacji wyglądał następująco:

- 1) Na nośniki stekometru zakładano wybrane i uzgodnione odcinki filmów z obu kamer liczące po około 20 klatek.
- 2) Wykonywano strojenie tak, aby uzyskać model stereoskopowy.
- 3) Obserwowano fotopunkty kolejno na wszystkich stereogramach.
- 4) Obserwowano wybrany kamień, śledząc go poprzez wszystkie stereogramy, na których się znajdował. Po zakończeniu obserwacji jednego kamienia wracano do stereogramu początkowego i zaczynało obserwację następnego kamienia.

Opracowany system obserwacji ułatwiał identyfikację poruszających się kamieni na kolejnych stereogramach, wymagał jednak bardzo starannej numeracji wszystkich obserwacji według przyjętego kodu, pozwalającego na automatyczne rozróżnienie przez maszynę liczącą fotopunktów od kamieni i ich posortowania według stereogramów.

2.6. Obliczenia

Obliczenia współrzędnych punktów osnowy w zadanym układzie wykonywano typowymi programami geodezyjnymi. Dalsze prace obliczeniowe były realizowane na maszynie ODRA 1204 według następujących programów opracowanych w języku ALGOL 1204:

1) Program porządkowania obserwacji. Program uśrednia wykonane obserwacje i grupuje je według kolejnych stereogramów.

2) Program obliczania współrzędnych punktów obserwowanych. Program realizuje przekształcenie rzutowe zaobserwowanych współrzędnych łowych na płaszczyznę podstawową i liczy współrzędne przestrzenne obserwowanych punktów.

3) Program obliczania stref rozrzutu. Program realizuje wzory metody „kinetycznej”. Obliczane są zasięgi (rzeczywiste i maksymalne) zaobserwowanych kamieni, przewidywane błędy oraz azymuty kierunków w jakich poruszały się kamienie.

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, że opracowana technologia dostarcza wartościowych informacji metrycznych o rozrzucie odłamków skalnych spowodowanym detonacją materiału wybuchowego. Jednocześnie należy stwierdzić, że istnieją możliwości podniesienia dokładności i szczegółowości opracowań. Podstawowe różnice wymagań musiałyby wówczas dotyczyć kamer, a mianowicie zwiększenia formatu obrazu (np. 70 mm) i większej częstotliwości wykonywania zdjęć (powyżej 100 zdjęć na sekundę).

Na wykonywanych przez nas zdjęciach kamerą Cinephon BR (35 mm) z częstotliwością 38 zdjęć na sekundę, najszybciej poruszające się odłamki skalne były lekko rozmyte, co zmniejszało dokładność obserwacji. Były one jednak obserwowane ponieważ miały największy zasięg. Kamery Pentazet 16 posiadały możliwość pracy z dużą częstotliwością, jednakże obraz miał zbyt mały format (16 mm), co bardzo ograniczało pole widzenia.

Omówiona metoda może również znaleźć zastosowanie przy pracach badawczych w innych dziedzinach techniki, na przykład w balistyce do wyznaczania torów pocisków, w hydrologii do pomiaru rozchodzenia się fal przy badaniach modelowych, w meteorologii do pomiaru szybkości i kierunków wiatrów itp.

LITERATURA

- [1] Ahrend M.: Equipment for Ballistic Geodesy. Bildmessung und Luftbildwesen, nr 3, 1964.
- [2] Bednarski T., Majde A.: The spatial restitution of terrestrial photographs on the basis of projective transformations, Bulletin Societe Francaise de Photogrametrie, nr 42, 1971.
- [3] Linsenbarth A.: Fotogrametria naziemna i specjalna, PPWK, Warszawa 1974.
- [4] Majde A.: Fotogrametryczny pomiar procesów szybkozmiennych, Przegląd Geodezyjny, nr 5, 1970.

Recenzował: dr inż. Andrzej Majde

Rękopis złożono w Redakcji w lutym 1975 r.

ВИТОЛЬД МИЗЕРСКИ

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ БЫСТРО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПРОЦЕССОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАПОЗОНА РАЗБРОСА ОСКОЛКОВ ПОРОДЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Резюме

Знание действительной дальности осколков породы, разбрасываемых в результате взрыва, имеет большое значение для безопасности и правильной организации работы в каменоломнях.

Применявшиеся до сих пор методы были приблизительные и ненадёжные. В лаборатории ИГиК разработано новый метод измерения диапазона разброса на основании киноснимков, выполненных двумя одновременно работающими камерами.

Следовало решить вопросы, являющиеся следствием отсутствия элементов ориентировки, а также вопрос синхронизации работы камер и согласования сделанных снимков.

В результате проведённых исследований был разработан метод измерения траектории полёта осколков породы и вычисления координат точек падения.

Были разработаны технологические инструкции для следующих этапов работ:

- установка и измерение основы на местности,
- выполнение киноснимков,
- измерение координат точек снимка при помощи стекометра,
- вычисления: преобразование координат точек снимка в основной плоскости, вычисление координат наблюдаемых точек, аппроксимация траектории и вычисление координат точек падения.

Разработанный метод может также найти применение при исследованиях, проводимых для нужд других отраслей техники, можно, например, назвать баллистику (исследование траекторий снарядов), гидрологию (распространение волн при исследованиях на моделях), метеорологию (скорости и направления ветров) и т.п.

WITOLD MIZERSKI

PHOTOGRAMMETRIC METHOD OF MEASUREMENT OF HIGH-FREQUENCY PROCESSES TO DETERMINE DISPERSION ZONES OF ROCK MATERIAL DURING FIRING

Abstract

Knowledge concerning actual dispersion of rock material after firing is very essential in arranging safe and proper work in quarries.

The methods that have been used till now were approximate and undependable.

The new measurement method of the area of dispersion has been developed on the bases of film photos made simultaneously by two cameras. The method has been developed in the Department of Photogrammetry in the Institute of Geodesy and Cartography.

Some problems resulted from the lack of orientation elements, synchronization of cameras and adjustment of taken photos were to be solved.

As the result of these investigations a measurement method of paths of dispersed rock material was worked out, as well as a method of calculation of landing points coordinates.

Technological requirements in connection with the following stages of works have been lately developed:

- installation and measurement of ground control in open areas,
- taken of film photographs,
- measurement of the images coordinates with Stekometer,
- calculations: conversing of the images coordinates to base plane, estimation of observed coordinates of points, path equation approximation and estimation of landing points coordinates.

This method can be also used in investigations for purposes of other technological branches. For example: ballistics (investigation of missile paths), hydrology (dispersion of waves in model analyses), metrology (speed and directions of wind), etc.