

WOJCIECH BYCHAWSKI
ANDRZEJ NOWOSIELSKI

528.718:513.43/.44

Zastosowanie fotogrametrii naziemnej do określania kształtu konstrukcji będących zmaterializowaną postacią walca lub płaszczyzny

Wstęp

Praca niniejsza jest opisem możliwości zastosowania fotogrametrii naziemnej w przypadkach, gdy istnieje potrzeba określania kształtu powierzchni konstrukcji, które mają być zmaterializowaną postacią walca o osi poziomej lub pionowej albo dowolnie nachylonej płaszczyzny.

Zakłada się sytuację wyjściową, w której do dyspozycji jest zamontowana konstrukcja, mająca z założenia stanowić jeden z wymienionych tworów geometrycznych. Celem zabiegów pomiarowych i rachunkowych jest uzyskanie informacji o tym, w jakim stopniu istniejąca konstrukcja spełnia zamierzenia. Innymi słowy, bada się odkształcenia, jakim uległ w procesie realizacji zamierzony twór geometryczny.

Przyjęto, iż zmiany te będą określane w postaci odchyłek bądź poprawek do promienia wybranych przekrojów zadanego walca w płaszczyźnie prostopadłej do jego osi. W przypadku płaszczyzny traktowanej jako szczególny rodzaj walca ($R = \infty$), poprawki te będą świadczyły wprost o odchyleniach od prostoliniowości krawędzi przecięcia się badanej powierzchni z wybranymi płaszczyznami pionowymi lub poziomymi.

W przypadku walca kołowego przyjęty sposób określania odkształceń obrazuje rysunek 1.

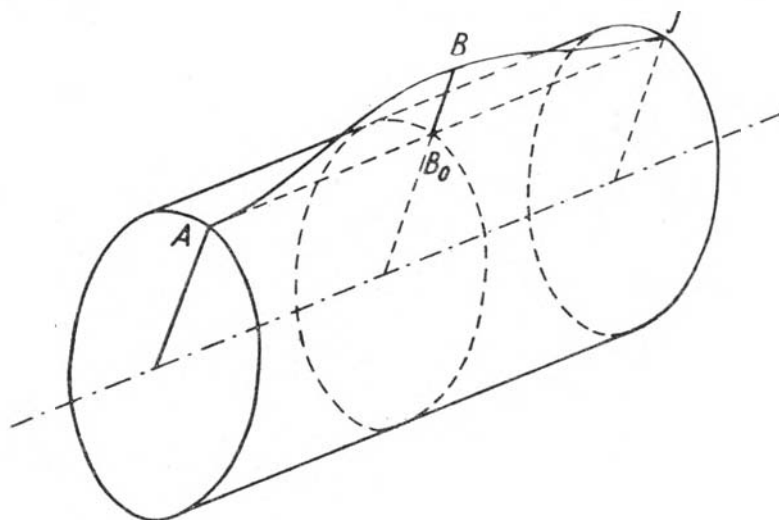
Jeżeli punkt B tworzącej AJ leży na powierzchni tworu lecz nie jest punktem prostej AJ , przyjmuje się określać zmianę kształtu powierzchni w tym punkcie wielkością B_0B , która jest przyrostem promienia przekroju prostopadłego do osi walca w punkcie B w stosunku do wielkości promienia takiego przekroju w punkcie A .

Mając do czynienia z tworami przestrzennymi należy stosować fotogrametrię dwuobrazową, dla której wysokie wymagania dokładnościowe są pewnego rodzaju problemem.

Wykorzystywanie modelu stereoskopowego dla celów pomiarowych opiera się, w sensie geometrycznym, na pojęciu wcięcia w przód. Dokładność takiego wcięcia jest w ścisłym związku z jego konstrukcją geometry-

czną, której istotną miarą jest kąt przecięcia się celowych wyznaczających, wyprowadzonych z końców bazy. To kryterium przyjęło się określać stosunkiem odległości fotografowania do długości bazy. W przeciwieństwie do wcięcia w przód realizowanego teodolitem, wcięcie fotogrametryczne ma ograniczone możliwości konstrukcyjne. Wynikają one z charakterystyki sprzętu fotogrametrycznego oraz z zasad budowy modelu stereoskopowego. Chcąc złagodzić skutki tych ograniczeń trzeba zastosować taki sposób opracowania, by bez naruszania walorów fotogrametrii poradzić sobie z jej niedogodnościami.

Warto podkreślić, iż praca ta zajmuje się badaniem takich tworów geometrycznych, których niektóre przekroje powinny się charakteryzo-



Rys. 1

wać występowaniem linii prostych. Jeżeli powierzchnia konstrukcji ma być płaszczyzną, to przecięcie jej jakąkolwiek inną płaszczyzną powinno dawać krawędź prostoliniową. Jeżeli powierzchnia ma być walcem, to liniami prostymi mają być jego tworzące. Tak więc, mimo iż ma się do czynienia z tworami przestrzennymi, badanie ich kształtu można sprowadzić do badania prostoliniowości we właściwych przekrojach. Można tego dokonać przez odpowiednie skonstruowanie modelu stereoskopowego.

Linie prostą w przestrzeni modelu stereoskopowego najłatwiej określić jako linię równej paralaksy podłużnej stereogramu zdjęć normalnych. Linie równych paralaks, w takim przypadku, zajmują położenie równoległe do kierunku bazy. To stwierdzenie określa właściwy sposób rozwiązania zagadnienia.

Jeżeli wykona się stereogram zdjęć normalnych z bazy równoległej do krawędzi przecięcia powierzchni płaszczyzną pionową lub poziomą, to linie równych paralaks będą liniami, w stosunku do których można wyrażać odchylenia od prostoliniowości wybranych tworzących badanej powierzchni.

Takie podejście do zagadnienia wynika również z rozważań dokładnościowych. Jak wiadomo, model stereoskopowy ulega zniekształceniom wywołanym błędami elementów orientacji fotogramów. W przypadku zdjęć normalnych linie równych paralaks w znacznym stopniu pokrywają się z liniami równych zniekształceń modelu. Przyjęcie zasady badania zmian położenia punktów wzdłuż linii równej paralaksy powoduje, iż operuje się różnicami współrzędnych obarczonych znacznymi nieraz lecz bliskimi sobie wielkościami błędów.

1. Opis proponowanego sposobu badania kształtu powierzchni

Opis ten odnosi się do bardziej skomplikowanego przypadku, jakim jest badanie powierzchni walca. Badanie powierzchni konstrukcji mającej stanowić płaszczyznę jest szczególnym przypadkiem badania powierzchni walca i w sensie merytorycznym jest oczywistym uproszczeniem, nie wymagającym szerszego omówienia.

Całość prac można podzielić na dwie części:

1. Określanie odkształceń względnych.
2. Określanie odkształceń bezwzględnych.

Pod pojęciem odkształceń względnych rozumie się przemieszczenie się punktów jednej tworzącej względem siebie. Innymi słowy odkształcenia względne określają odchylenia od prostoliniowości badanej tworzącej.

Odształceniem bezwzględnym nazywać się będzie odchylenie powierzchni faktycznej od zadanej wyrażone poprawką do promienia walca w punkcie badanym. Innymi słowy, jest to wielkość, o jaką należy skorygować powierzchnię konstrukcji, aby odpowiadała powierzchni zadanej.

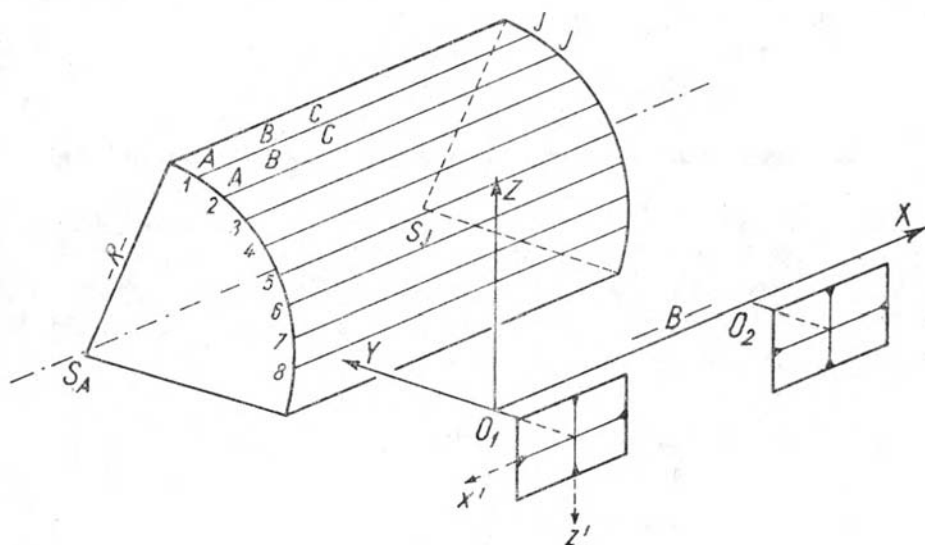
Określenie odkształceń względnych może być dokonane metodą fotogrametryczną bez uciekania się do uzupełniających pomiarów bezpośrednich. Przejście od odkształceń względnych do bezwzględnych wymaga pomiarów uzupełniających, o czym będzie mowa.

1.1. Określanie odkształceń względnych

Badaną konstrukcję należy objąć stereogramem zdjęć normalnych z zachowaniem równoległości bazy zdjęć do osi walca (rys. 2).

Wykonane zdjęcia, po właściwej obróbce fotochemicznej, umożliwiają utworzenie i obserwację modelu przestrzennego badanej konstrukcji.

W zależności od potrzeb, powierzchnię dzieli się umownie szeregiem linii równoległych do osi walca, ponumerowanych przykładowo na rysunku 2 cyframi od 1 do 8. Punkty początkowe i końcowe tych linii mogą być zasygnalizowane przed wykonaniem zdjęć, mogą być również wybrane dopiero na modelu. Wzdłuż każdej takiej linii (tworzącej) wybiera się określoną ilość punktów oznaczonych na rysunku 2 literami od A do J. Podobnie jak poprzednio, punkty te mogą być zasygnalizowane lub też określone dopiero na podstawie zdjęć.



Rys. 2

Wszystkie punkty każdej tworzącej powinny leżeć w przestrzeni modelu stereoskopowego na linii równej paralaksy podłużnej. Mierząc te paralaksy w punktach na tworzącej ($p_A, p_B, \dots, p_J$) otrzymuje się informację o prostoliniowości powierzchni wzdłuż obserwowanej tworzącej. Przykładowo, jeżeli paralaksa w punkcie B (leżącym na powierzchni) jest inna od paralaksy w punkcie A (rys. 2) oznacza to, że punkt B jest w innej odległości od bazy niż punkt A, różnica zaś tych odległości jest miarą zdeformowania powierzchni w punkcie B względem punktu A wyrażonego w płaszczyźnie poziomej. Podobnie można interpretować różnicę paralaks między kolejnymi punktami danej tworzącej, aż do punktu końcowego. Znając paralaksy podłużne we wszystkich punktach tworzącej można obliczyć różnice odległości (ΔY) między sąsiednimi punktami.

W przypadku zdjęć normalnych odległość od bazy można wyrazić wzorem:

$$Y = \frac{Bf}{p} \quad (1)$$

Przyjmując oznaczenia podane na rysunku 2, przyrost współrzędnej między punktami A i B może być zapisany jako:

$$\Delta Y = Y_B - Y_A, \quad (2)$$

gdzie:

$$Y_B = \frac{Bf}{p_B}, \quad (3)$$

$$Y_A = \frac{Bf}{p_A}. \quad (4)$$

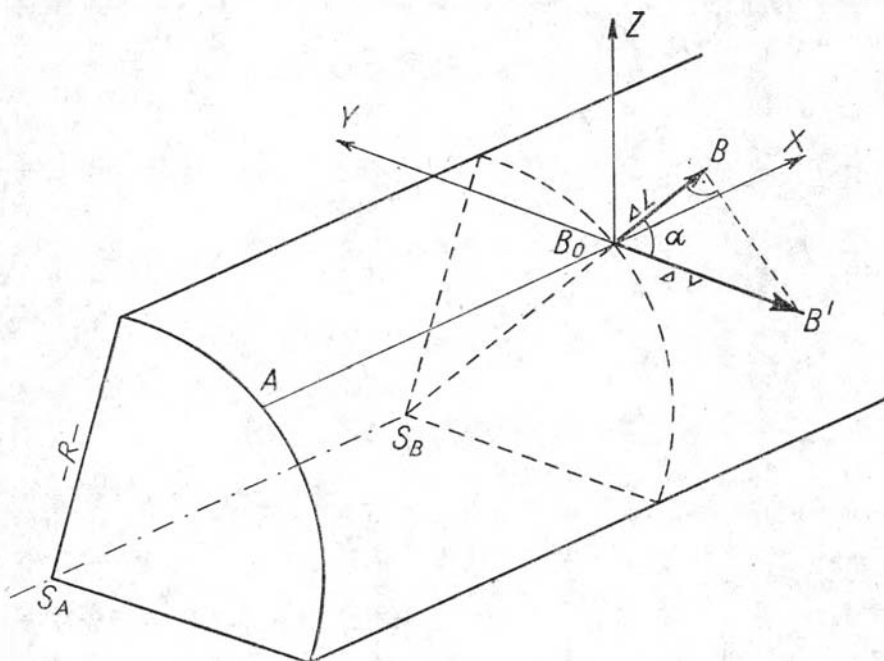
Długość bazy fotografowania (B) dana jest z pomiaru w terenie, odległość obrazu kamery pomiarowej (f) jest znanym elementem orientacji wewnętrznej zaś wielkości paralaks (p_A , p_B) mogą być pomierzone na stereokomparatorze.

Posługując się opisanym sposobem można znaleźć przyrosty ΔY między wszystkimi punktami każdej tworzącej. Wielkości te określają zdefiniowane już odkształcenia względne badanej powierzchni wyrażone w płaszczyźnie poziomej.

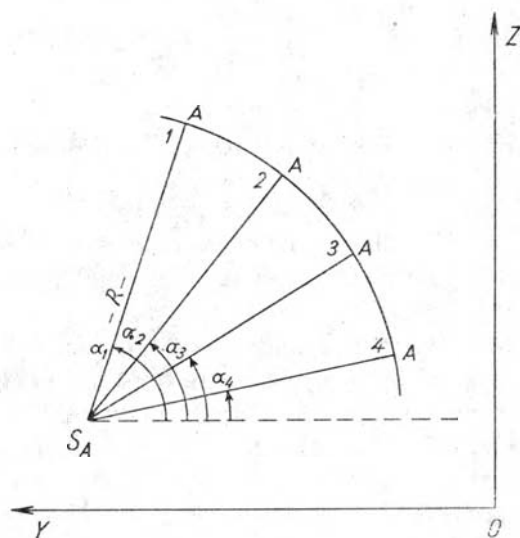
Zgodnie z przyjętym we wstępie założeniem, odkształcenia te należy wyrazić w postaci poprawek do promienia walca. Czynność ta związana jest z koniecznością zmiany rzutni. Określone już wielkości ΔY odnoszą się do rzutni poziomej, której przyjęcie wynika z fotogrametrycznego układu współrzędnych stereogramu zdjęć normalnych przy poziomym ułożeniu osi kamer. Tylko w tym układzie słuszny jest wzór (1), będący podstawą tego sposobu opracowania. Sytuację, o której mowa obrazuje rysunek 3.

Wielkość ΔY wyznaczona jest w płaszczyźnie A , B_0 , B' , dąży się natomiast do określenia odkształceń powierzchni w płaszczyźnie S_A , S_B , B , A . Można tego dokonać znając kąt nachylenia promienia walca w punkcie B względem płaszczyzny poziomej.

Kąt nachylenia promienia walca można określić znając współrzędne punktów S_A i A (rys. 3). Współrzędne punktu A są znane po pomierzeniu współrzędnych tłowych, natomiast określenie współrzędnych punktu na osi (S_A) może być bardziej kłopotliwe. Punkt ten nie leży na powierzchni badanej i nie zawsze jest punktem materialnym. Jeżeli nim jest, można pokusić się o zasygnalizowanie jego położenia w taki sposób, aby stał się on punktem stereogramu. Jeżeli jednak oś konstrukcji nie jest zmateriałowana, lub jest, lecz nie da się odfotografować na obu zdjęciach, wówczas



Rys. 3



Rys. 4

czas dla określenia położenia punktu na osi (S_A) w fotogrametrycznym układzie współrzędnych należy użyć innego sposobu. Punkty początkowe (A) wszystkich tworzących powinny leżeć na okręgu, którego środek znajduje się w punkcie S_A . Sytuację tę obrazuje rysunek 4.

Wszystkie punkty A są punktami stereogramu, a więc mogą mieć określone współrzędne (Y, Z) na podstawie obserwacji współrzędnych tło-owych. Znalezienie środka okręgu przy znajomości położenia punktów na obwodzie nie nastręcza trudności. Można tego dokonać na drodze rachunkowej lub graficznej w zależności od potrzeb. Znajomość położenia punktu S_A (rys. 4) w fotogrametrycznym układzie współrzędnych rozwiązuje zagadnienie poszukiwania kątów nachylenia (α).

Znając wielkość kąta α , zmianę rzutni można wykonać realizując wzór

$$\Delta L = \Delta Y \cos \alpha. \quad (5)$$

Wielkość ΔL może być traktowana jako zmiana poprawki do promienia w punkcie B (ΔR_B) w stosunku do poprawki w punkcie A (ΔR_A), czyli

$$\Delta L = \Delta R_B - \Delta R_A. \quad (6)$$

Wzór (6) określa poszukiwaną wielkość nazwaną uprzednio odkształceniem względnym.

1.2. Określenie odkształceń bezwzględnych

Mając wielkości ΔL bez trudu można znaleźć poprawki do promienia (ΔR) pod warunkiem znajomości rzeczywistej odległości od osi walca jakiegokolwiek punktu określonej tworzącej.

Rzeczywista odległość punktu A jakiegś tworzącej od osi może być zapisana jako

$$R + \Delta R_A, \quad (7)$$

gdzie R jest zadany promieniem walca.

Dodając do (7) znane już wyrażenie $\Delta L_1 = \Delta R_B - \Delta R_A$ otrzymuje się wielkość $R + \Delta R_B$ czyli rzeczywistą odległość punktu B od osi walca. Postępując w podobny sposób z kolejnymi wielkościami ΔL otrzymuje się poszukiwane odkształcenia bezwzględne kolejnych punktów aż do ostatniego. Rzecz jasna, że w ten sam sposób należy postępować wtedy, gdy w punkcie A pomierzona będzie tylko poprawka do promienia (ΔR_A). Wówczas ciąg opisanych czynności doprowadzi do otrzymania poprawek ΔR .

Względy dokładnościowe wymagają poznania rzeczywistych odległości od osi do dwóch punktów skrajnych każdej tworzącej (A i J). Powstaje wówczas coś w rodzaju ciągu obustronnie nawiązanego z możliwością wyrównania i oceny dokładności.

Osobnym zagadnieniem jest sposób uzyskania rzeczywistych odległości od osi do punktów skrajnych na tworzących. Zagadnienie to jest newralgicznym punktem opracowania zwłaszcza wtedy, gdy znajomość odkształceń względnych nie wystarcza.

W przykładzie ilustrującym niniejsze opracowanie wielkości te uzyskano na drodze pomiaru bezpośredniego wykorzystując przyrząd specjalnie do tego celu skonstruowany w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie. Jest to rodzaj cyrkla mocowanego na tulei osi walca.

Podany opis wyczerpuje zagadnienie w sensie merytorycznym. Opracowanie wykonane zgodnie z tym opisem da w wyniku informacje liczbowe o stopniu zgodności powierzchni badanej z zamierzeniami konstruktorów. Osobnym zagadnieniem, wymagającym omówienia, jest sprawa dokładności opracowania i możliwości fotogrametrii w tym względzie.

2. Analiza dokładności opracowania fotogrametrycznego

Na dokładność opracowania mają wpływ następujące czynniki:

- Błędy orientacji zewnętrznej, a więc błąd pomiaru bazy, błąd realizacji kąta zwrotu osi kamer i zbieżność osi.
- Błędy orientacji wewnętrznej, w tym błąd określenia odległości obrazu i nieprzylegania kliszy do ramki tłowej.
- Błędy pomiaru paralaksy podłużnej.
- Błąd określenia kąta α (rys. 4).
- Błąd określenia rzeczywistej odległości od punktów skrajnych każdej tworzącej do osi walca.

Powyższa lista źródeł błędów opracowania nie zawiera wpływów błędów nachylenia osi kamery w płaszczyźnie pionowej i skręcenia osi tłowych w płaszczyźnie tłowej. Te dwa elementy orientacji zewnętrznej, wobec przyjętego sposobu opracowania, nie mają wpływu na jego dokładność. Dzieje się tak dlatego, że w obu tych przypadkach wpływ błędu jest wprost proporcjonalny do rzędnej tłowej badanego punktu. Punkty badane rozmieszczane są jak wiadomo wzdłuż tworzącej, oraz realizowany jest warunek równoległości bazy zdjęć do osi walca. Wobec tego różnica rzędnych z założenia równa jest zeru. Ponieważ inną cechą proponowanego sposobu opracowania jest operowanie różnicami współrzędnych, to wpływ błędów nachylenia i skręcenia, z założenia, równają się zeru.

2.1. Wpływ błędów orientacji zewnętrznej

Wzorem wyjściowym jest zależność

$$Y = \frac{B}{p} (f \cos \varphi + x'' \sin \varphi), \quad (8)$$

W myśl założeń opisywanego sposobu, operuje się pojęciem różnicy współrzędnych a mianowicie:

$$\Delta Y = Y_B - Y_A = \frac{B}{p_B} (f \cos \varphi + x''_B \sin \varphi) - \frac{B}{p_A} (f \cos \varphi + x''_A \sin \varphi) \quad (9)$$

gdzie: B — długość bazy fotografowania,

p — paralaksa podłużna,

f — odległość obrazu kamery pomiarowej,

x'' — odcięta tłowa na prawym zdjęciu,

φ — kąt zwrotu osi kamery.

Elementami orientacji zewnętrznej są: baza (B), kąt zwrotu (φ) oraz kąt zbieżności osi (γ).

2.1.1. Wpływ błędu pomiaru bazy (t_1) można określić jako różniczkę cząstkową funkcji (9) względem argumentu B .

$$t_1 = \frac{\partial \Delta Y}{\partial B} dB = \left(\frac{f \cos \varphi}{p_B} - \frac{f \cos \varphi}{p_A} \right) dB. \quad (10)$$

Ze względu na to, że ma się do czynienia ze zdjęciami normalnymi, wzór (10) przyjmie postać

$$t_1 = f \left(\frac{p_A - p_B}{p_A p_B} \right) dB. \quad (11)$$

Ponieważ dla zdjęć normalnych wzór (9) ma postać

$$\Delta Y = Bf \left(\frac{p_A - p_B}{p_A p_B} \right), \quad (12)$$

zależność (11) można zapisać jak następuje:

$$t_1 = \frac{\Delta Y}{B} dB. \quad (13)$$

Widać więc, że wpływ pomiaru bazy jest tym mniejszy im mniejsze są odkształcenia (ΔY) oraz im dłuższa jest baza zdjęć.

2.1.2. Wpływ błędu kąta zwrotu (t_2), podobnie jak poprzednio, wyznaczony zostaje jako różniczka cząstkowa funkcji (9) lecz względem argumentu φ .

$$t_2 = \frac{\partial \Delta Y}{\partial \varphi} d\varphi = \left(-\frac{Bf \sin \varphi}{p_B} + x''_B \cos \varphi \right) d\varphi - \left(-\frac{Bf \sin \varphi}{p_A} + x''_A \cos \varphi \right) d\varphi, \quad (14)$$

przy założeniu $\varphi = 0$ oraz wobec tego, że

$$x''_A = x'_A - p_A \quad (15)$$

$$x''_B = x'_B - p_B, \quad (16)$$

wielkość t_2 można zapisać jako

$$t_2 = (x'_B - p_B - x'_A + p_A) d\varphi. \quad (17)$$

Ponieważ obserwacje prowadzone są wzdłuż linii równych paralaks, to przy rozważaniach tego typu można przyjąć, że $p_A = p_B = p$. Teraz, wzór (17) przyjmie postać

$$t_2 = (x'_B - x'_A) d\varphi. \quad (18)$$

Godny uwagi jest fakt, iż w przypadku operowania różnicami współrzędnych punktów leżących w pobliżu linii równej paralaksy, wpływ błędu kąta zwrotu zależy tylko od odległości między punktami badanymi, nie zależy zaś od usytuowania tych punktów w przestrzeni stereogramu, jak to ma miejsce w przypadku operowania współrzędnymi, a nie ich przyrostami.

2.1.3. *Wpływ zbieżności osi (t_3).* Zależności tej nie można wyprowadzić wprost z ogólnego wzoru (9). Pod pojęciem zbieżności rozumie się różnicę kątów zwrotu osi kamer ustawionych na obu końcach bazy.

Wyprowadzenie wzoru na wpływ zbieżności osi jest czynnością zmusną, wymagającą wielu przekształceń. Przytaczanie tego dowodu w całości miało by się z celem niniejszego opracowania. Wobec tego podaje się ostateczną postać wzoru określającego szukany wpływ z dostateczną dokładnością.

$$t_3 = \frac{2Y}{f} (x'_B - x'_A) d\gamma. \quad (19)$$

Warto zwrócić uwagę, że wpływ ten, podobnie jak wpływ błędu kąta zwrotu zależy wprost od odległości między badanymi punktami lecz jest różny dla różnych tworzących ($Y \neq \text{const}$).

2.2. Wpływ błędów elementów orientacji wewnętrznej

W głównej mierze chodzi tu o błąd określenia odległości obrazu kamery pomiarowej oraz o błąd nieprzylegania kliszy do ramki tłowej. Wpływy obu tych błędów można rozpatrywać łącznie przyjmując, iż ma się do czynienia z przypadkiem równomiernego niedociskania kliszy.

Tak rozumiany wpływ błędu odległości obrazu (t_4) wyprowadza się wprost z wzoru (9)

$$t_4 = \frac{\partial \Delta Y}{\partial f} df = \frac{\Delta Y}{f} df. \quad (20)$$

2.3. Wpływ błędu pomiaru paralaksy podłużnej

Na podstawie wzoru (9) można napisać:

$$t_5 = \frac{\partial \Delta Y}{\partial p_A} dp_A = \frac{Y_A}{p_A} dp_A \quad (21)$$

$$t_6 = \frac{Y_B}{p_B} dp_B, \quad (22)$$

przy założeniu $Y_A = Y_B = Y$, oraz $dp_A = dp_B = dp$, otrzymuje się

$$t_5 = t_6 = \frac{Y}{p} dp. \quad (23)$$

2.4. Określenie średniego błędu różnicy współrzędnej Y

W oparciu o wzór określający średni błąd funkcji można napisać

$$m_Y^2 = t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 + t_4^2 + t_5^2 + t_6^2. \quad (24)$$

Po uwzględnieniu wzorów (13), (18), (19), (20) i (23) wzór (24) przyjmie postać

$$m_{\Delta Y}^2 = \left(\frac{\Delta Y}{B} m_B\right)^2 + \left[(x'_B - x'_A) m_\varphi\right]^2 + \left[\frac{2Y}{f} (x'_B - x'_A) m_r\right]^2 + \left(\frac{\Delta Y}{f} m_f\right)^2 + 2\left(\frac{Y}{p} m_p\right)^2. \quad (25)$$

Wzór (25) można rozpatrywać wielorako. Chcąc jednak unaocznić udział wpływów poszczególnych błędów na błąd średni, wygodnie jest posłużyć się przykładem zaczerpniętym z konkretnego opracowania.

Przyjmuje się: $\Delta Y = 5$ mm, $B = 4500$ mm, $f = 194$ mm, $Y = 12000$ mm, $p = 70$ mm, $(x'_B - x'_A) = 10$ mm.

Teraz wzór (25) przyjmie postać

$$m_{\Delta Y}^2 = 10^{-6} m_B^2 + 3 \cdot 10^{-10} m_\varphi^{cc2} + 4 \cdot 10^{-6} m_r^{cc2} + 6 \cdot 10^{-4} m_f^2 + 6 \cdot 10^4 m_p^2. \quad (26)$$

Wyrażenie (26) bardzo obrazowo przedstawia dominujący wpływ błędu pomiaru paralaksy. Dysproporcja udziału poszczególnych błędów jest tak znaczna, że bez zagłębiania się w bardziej szczegółowe rozważania można napisać

$$m_{\Delta Y} \approx \pm \frac{Y}{p} \sqrt{2} m_p, \quad (27)$$

gdzie: Y — odległość fotografowania,

p — paralaksa podłużna,

m_p — błąd pomiaru paralaksy podłużnej.

W praktyce fotogrametrycznej przyjęło się operować stosunkiem odległości fotografowania (Y) do długości bazy (B), który dostarcza informacji o konstrukcji geometrycznej wcięcia fotogrametrycznego.

Jeżeli:

$$k = \frac{Y}{B}, \quad (28)$$

to po wykorzystaniu wzoru (1), wzór (27) przyjmie postać

$$m_{\Delta Y} = \pm k \frac{Y}{f} \sqrt{2} m_p. \quad (29)$$

Błąd $m_{\Delta Y}$ jest tym mniejszy, im mniejsza będzie wielkość k . Wniosek ten potwierdza się przy rozpatrywaniu sensu geometrycznego wcięcia, o którym mowa była we wstępie.

Zależność (29) daje podstawę do dalszych rozważań dokładnościowych, których przeprowadzenie musi być wykonane przed podjęciem decyzji o opracowaniu konkretnego obiektu.

Sprzęt fotogrametryczny produkcji Zeissa umożliwia realizowanie wielkości $k \geq 2,6$.

W tablicy 1 podaje się wielkości średnich błędów $m_{\Delta Y}$ możliwych do uzyskania przy $k = 2,6$, przy różnych wielkościach m_p i Y .

Wielkości błędów $m_{\Delta Y}$ podano w milimetrach.

Tablica 1

Y (m)	m_p (mm)	$\pm 0,002$	$\pm 0,003$	$\pm 0,004$
12		$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,9$
20		0,8	1,1	1,5
50		1,9	2,8	3,8
100		3,8	5,6	7,5

2.5. Wpływ błędów określenia kąta α

Powiedziano, iż kąt α (rys. 4) jest elementem potrzebnym do zmiany rzutni. Wpływ błędu tego kąta powinien być tak mały aby nie partycypował w błędzie średnim opracowania. Założenie to jest uzasadnione wyłączenie rachunkowym charakterem czynności zmiany rzutni.

Opierając się na wzorze (5) można napisać

$$\frac{\partial \Delta L}{\partial \alpha} d\alpha = -\Delta Y \sin \alpha d\alpha. \quad (30)$$

Wobec tego, iż najmniejszy możliwy błąd $m_{\Delta Y}$ (tabl. 1) jest rzędu $\pm 0,4$ mm, można przyjąć, że wpływ błędu kąta α będzie znikomo mały, jeżeli nie przekroczy wielkości rzędu $\pm 0,1$ mm. Zatem, zgodnie z (30)

$$|d\alpha| = \frac{0,1}{\Delta Y \sin \alpha}. \quad (31)$$

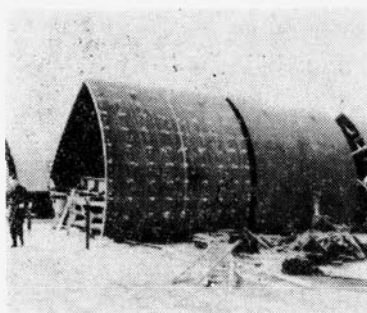
Zakładając $\alpha = \frac{\pi}{2}$ będzie

$$|d\alpha| = \frac{0,1}{\Delta Y} \quad (32)$$

Skąd wniosek, że dopuszczalna wielkość błędu kąta α zależy od spotykanych wielkości ΔY , więc może być konkretyzowana przy znajomości badanej konstrukcji.

3. Omówienie przykładowego zastosowania fotogrametrii naziemnej do badania kształtu powierzchni walcowej

Przykładowym opracowaniem objęto stalową konstrukcję elementu zapory rzecznej (jazu). Widok ogólny takiego elementu pokazany jest na rysunku 5. Jedna ze ścian elementu ma być wycinkiem walca kołowego



Rys. 5

o promieniu $R = 3900$ mm. Założenia konstrukcyjne stawiają warunek, iż dopuszczalne odchylenia mierzone w kierunku normalnej do powierzchni nie mogą przekraczać wielkości ± 2 mm. Kryterium to warunkuje metodę pomiaru definiując jej błąd graniczny, a co za tym idzie, błąd średni rzędu $\pm 0,7$ mm. Długość elementu wynosi 4320 mm.

Przyjęto, iż powierzchnia będzie badana w punktach rozmieszczonych według regularnej siatki prostokątów składającej się z 10 tworzących (ponumerowanych od 1 do 10), z których każda podzielona jest na 8 odcinków między punktami oznaczonymi literami od A do J.

Przed przystąpieniem do pracy należało przeprowadzić analizę, w wyniku której otrzyma się kryteria dokładności pomiaru poszczególnych parametrów.

3.1. Określenie kryteriów dokładności pracy

3.1.1. *Baza fotografowania.* Minimalna odległość fotografowania wynikająca z możliwości fototeodolitu Zeissa i wymiarów obiektu wynosi ok. 12 metrów. Przyjmując $k = 2,6$, długość bazy określa się z wzoru (28)

$$B = \frac{Y}{k} = 4,6 \text{ m}$$

Zakłada się, iż spotykane wielkości ΔY nie będą większe od 5 mm. Opierając się na wzorze (13), można napisać

$$dB = \frac{t_1 B}{\Delta Y}. \quad (33)$$

Chcąc, aby wpływ błędu pomiaru bazy (t_1) był dostatecznie mały wobec wymaganego błędu średniego $m_{\Delta Y} = \pm 0,7 \text{ mm}$, można przyjąć $t_1 = \pm 0,05 \text{ mm}$. Tak więc zgodnie z (33) będzie

$$dB = 46 \text{ mm}.$$

Skąd wniosek, iż pomiar bazy może być wykonany z niewielką dokładnością, rzędu kilku centymetrów. Wniosek ten ma istotne znaczenie dla pracochłonności prac polowych.

Należy tu jeszcze wspomnieć o wymaganej precyzji realizacji równoległości bazy do osi walca. Sprawy tej nie omawiano w przeprowadzonej analizie dokładności ze względu na to, że wpływ nierównoległości ma charakter błędu systematycznego. Ewentualne występowanie tego błędu należy traktować jako niedogodność rachunkową. Nie wdając się w szczególności prostego sposobu dowodzenia opartego na proporcji odcinków, stwierdza się, iż dla warunków niniejszego przykładu, równoległość bazy zachowana w granicach 1 mm różnicy odległości punktów skrajnych osi od końców bazy eliminuje pojęcie błędu nierównoległości.

3.1.2. *Kąt zwrotu i zbieżność osi.* Zgodnie z (18) wiadomo, że

$$d\varphi = \frac{t_2}{x'_B - x'_A}. \quad (34)$$

Aby wpływ t_2 był zanedbywalnie mały ($t_2 = 0,05 \text{ mm}$), wobec przyjętej siatki punktów badanych i odległości fotografowania, dopuszczalna wielkość błędu kąta zwrotu wynosi

$$d\varphi^c = 30^c.$$

Wobec znacznie wyższej dokładności urządzenia kątomierczego fototeodolitu Zeissa, wpływ błędu kąta zwrotu można wyeliminować z dalszych rozważań.

Wpływ zbieżności osi określa wzór (19) skąd

$$d\gamma = \frac{t_3 f}{2Y(x'_B - x'_A)}. \quad (35)$$

Zgodnie z przyjętymi wielkościami parametrów

$$d\gamma = 25^{\text{cc}}.$$

Rachunek ten nakazuje dużą staranność orientowania kamer, z tym jednak, że osiągnięcie tej dokładności, a więc i praktyczne wyeliminowanie wpływu zbieżności osi, leży w granicach możliwości fototeodolitu Zeissa.

3.1.3. *Odległość obrazu i nieprzyleganie kliszy.* W oparciu o wzór (20) można napisać

$$df = \frac{t_i f}{\Delta Y}. \quad (36)$$

Uwzględniając przyjęte wielkości otrzymuje się $df = 0,2$ mm.

Fabryczne określenie odległości obrazu charakteryzuje się błędem rzędu $\pm 0,01$ mm, a więc znikomo małym w stosunku do dopuszczalnego. Można więc tolerować niedociskanie kliszy rzędu 0,2 mm. Wobec tego, że kasety produkcji Zeissa gwarantują przyleganie kliszy z błędem znacznie mniejszym od 0,2 mm, wpływ ten można pominąć.

3.1.4. *Dopuszczalny błąd pomiaru paralaksy* wynika z tablicy 1. Chcąc opracowywać z błędem średnim $m_{\Delta Y} = \pm 0,7$ mm, wobec $Y = 12$ m, błąd ten nie może być większy od $\pm 0,003$ mm. Trzeba podkreślić, iż kryterium to nastęrcza trudności.

3.1.5. *Określenie kąta α ,* zgodnie z (32), powinno być wykonane z błędem nie większym od $\pm 60^{\circ}$. Wystarczy więc określać te kąty graficznie, w skali 1 : 200. Prosty rachunek oparty na dokładności pracy w tej skali pozwala sądzić o możliwości określenia kąta z błędem rzędu $\pm 45^{\circ}$, co w zupełności wystarczy.

3.2. Prace polowe

Badany element objęto dwoma stereogramami zdjęć normalnych z dwóch baz równoległych do osi walca. Równoległe usytuowanie baz zrealizowano teodolitem z kontrolą wykonaną przymiarem liniowym. Czas trwania fotogrametrycznych prac polowych nie przekroczył 1 godziny. Zdjęcia wykonano fototeodolitem Zeiss 19/1318 na płytach TOPO-PLATTE T01 produkcji ORWO.

3.3. Prace kameralne

3.3.1. Obserwacje paralaks podłużnych wykonano przy użyciu stereokomparatora Zeiss 1818 nr fabr. 225923 oraz na stekometrze Zeiss nr fabr. 22500. W trakcie obserwacji wystąpiły pewne trudności. Wynikały one z charakterystyki fotografowanego obiektu odznaczającego się jednolitym wyglądem mało kontrastowej powierzchni, pozbawionej szczegółów sytuacyjnych. Z tego też względu obserwacje paralaks wykonano wielokrotnie, celem możliwie ścisłego określenia błędu pomiaru.

W przypadku pomiaru na stereokomparatorze przyjęto jako wynik ostateczny średnią arytmetyczną z sześciu spostrzeżeń charakteryzującą się przeciętną wielkością średniego błędu $\pm 0,003$ mm.

Na stekometrze wykonano cztery obserwacje obu stereogramów uzyskując informację, iż przeciętny średni błąd pojedynczej obserwacji zawiera się w granicach $\pm 0,005$ mm. Ta informacja pozwala sądzić, iż średnie arytmetyczne z trzech obserwacji (po dwa stereogramy) powinny zapewnić wymaganą dokładność pomiaru paralaksy ($\pm 0,003$ mm).

Użycie obu tych instrumentów miało na celu sprawdzenie w praktyce przydatności stereokomparatora Zeiss 1818 dla prac o tak dużej precyzji. Porównanie otrzymanych wyników pozwala na sformułowanie wniosku, iż stereokomparator może być użyty z tym jednak, że wymagana tu dokładność pomiaru paralaksy powinna być traktowana jako wielkość graniczna możliwości instrumentu. Spostrzeżenie to ma wartość praktyczną wówczas, gdy weźmie się pod uwagę porównanie kosztów stereokomparatora i stekometru. W tych jednak przypadkach, gdy w grę wchodzi duża ilość opracowań czyli wówczas, gdy rozpatrywać się będzie wykonywanie tego typu prac w skali produkcyjnej, użycie stekometru staje się koniecznością. Argumentem niech będzie porównanie czasochłonności na przykładzie tego opracowania.

Obserwacje na stekometrze, ze względu na automatyczną rejestrację odczytów, powodują zmniejszenie efektywnego czasu trwania obserwacji o 75%. Do tego należy doliczyć jeszcze ogromne korzyści wynikające z ominięcia etapu przygotowania danych w przypadku stosowania elektronicznej techniki rachunku.

Po zaobserwowaniu paralaks dalsze prace kameralne wykonano według następującego, bardzo prostego schematu.

3.3.2. Kąty nachylenia α (rys. 4), dla wszystkich punktów przekroju A (rys. 2) określono graficznie.

Najpierw obliczono:

$$Y = \frac{Bf}{p}, \quad (37)$$

$$Z = \frac{Bz'}{p}. \quad (38)$$

Obliczone wielkości naniesiono, w skali 1:200, na papier milimetrowy. Na tym wykresie graficznie określono położenie punktu S_A (rys. 4) w układzie (Y, Z) oraz odczytano potrzebne kąty.

3.3.3. *Obliczenie odkształceń powierzchni.* Jak wspomniano, powierzchnię badano w punktach rozmieszczonych według regularnej siatki prostokątów. Siatka ta składa się z 10 tworzących walca, na każdej rozmieszczono po 9 punktów. W sumie obserwowano 90 punktów na powierzchni.

Dla zilustrowania sposobu rachunku podaje się w tablicy 2 przykład obliczenia odkształceń wzdłuż jednej tworzącej.

Tablica 2

Stereogram Nr 1				Tworząca Nr 3			
Długość bazy $B = 4541,1$ mm				Obserwacja Nr 1			
Odległość obrazu $f = 194,23$ mm							
$\cos \alpha = 0,795$							
Oznaczenie punktu	Paralaksa podłużna p (mm)	$Y = \frac{Bf}{p}$	ΔY (mm)	ΔL (mm)	Δr (mm)	dr (mm)	ΔR (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8
A	69,883	12,6214			<u>-5,0</u>		-5,0
B	69,891	12,6199	+1,5	+1,2	-3,8	+0,8	-3,0
C	69,901	12,6181	+1,8	+1,4	-2,4	+1,7	-0,7
D	69,893	12,6195	-1,4	-1,1	-3,5	+2,6	-0,9
E	69,877	12,6224	-2,9	-2,3	-5,8	+3,5	-2,3
F	69,895	12,6192	+3,2	+2,5	-3,3	+4,4	+1,1
G	69,897	12,6188	+0,4	+0,3	-3,0	+5,3	+2,3
H	69,901	12,6181	+0,7	+0,6	-2,4	+6,2	+3,8
J	69,903	12,6177	+0,4	+0,3	-2,1	+7,1	+5,0
					<u>+5,0</u>		
					$dr_J = +7,1$		

3.4. Analiza wyników przykładowego opracowania

Badany element mierzony był metodą bezpośrednią w dniu wykonywania zdjęć.

Pomiar bezpośredni wykonywany był metodą opracowaną w IGIK z modyfikacjami wprowadzonymi przez wykonawców. Wzmianka ta jest o tyle istotna, że modyfikacja wpływa w pewnym stopniu na ocenę dokładności opracowania fotogrametrycznego w porównaniu z wynikami pomiaru bezpośredniego.

W skrócie metoda bezpośrednia przedstawia się następująco: W pierwszym i ostatnim przekroju elementu (A i J na rys. 2) mierzy się odległości od osi elementu do jego powierzchni. Dokonuje się tego za pomocą specjalnego cyrkla mocowanego na tulei osi, zakończonego czujnikami pomiarowym. Punkty A i J wszystkich tworzących były oznaczone na powierzchni elementu. W ten sposób otrzymano wielkości zapisane w rubryce 6 tablicy 2 (w ramce). Następnie kolejno, wzdłuż każdej tworzącej (czyli od A do J) napina się strunę oddaloną od powierzchni o kilka centymetrów z tym, że struna, tworząca walca oraz jego oś leżą w jednej płaszczyźnie. Teraz mierzy się we wszystkich punktach od A do J odległości od struny do powierzchni. Opisany pomiar w połączeniu z pomiarem odległości od struny dostarczają danych do obliczenia odchyłek od zadanego promienia czyli wielkości nazwanych tu odkształceniami bezwzględnymi.

Modyfikacja, o której była mowa, polega na tym, że zamiast cyrkla z czujnikiem pomiarowym zastosowano dwa cyrkle o długości $(R+c)$, ($c = \text{const}$). Końce tych cyrkli zaopatrzone są we wgłębienia, które służą do rozpięcia struny. Cyrkle mocowane są na tulejach osi jednocześnie po obu stronach elementu (A i J) i pomiar wszystkich punktów na tworzącej wykonywany jest przez wyznaczenie odległości od prostej $(R+c)$ do powierzchni.

Opisana zmiana techniki pomiaru bezpośredniego, chociaż bardzo skraca czas pracy utrudniła wykorzystywanie wyników do analizy dokładności sposobu fotogrametrycznego.

Trudności te są dwojakiego rodzaju:

1. Pomiar cyrklem z czujnikiem na punktach skrajnych pozwalał na traktowanie tak uzyskanych odchyłek od promienia w punktach początkowym i końcowym za bardziej dokładne od pomiaru na pozostałych punktach (ze względu na ich sygnalizację). Cecha ta, może nie najważniejsza przy obliczeniach pomiaru bezpośredniego, ma zasadnicze znaczenie w przypadku pomiaru fotogrametrycznego, jako że punkty skrajne traktowane są jako punkty nawiązania ciągu przyrostów promienia wzdłuż tworzącej.

2. Stosowanie cyrkli o długości $(R+c)$ powoduje konieczność przyspawania do brzegu elementu płytek metalowych służących do przymocowania uchwytu cyrkla, co powoduje iż powierzchnia elementu w tych punktach odkształca się lokalnie o znaczną niekiedy wielkość. Wobec tego, że nie istnieje teraz potrzeba oznaczania na powierzchni elementu położenia punktów skrajnych tworzącej, powstała zasadnicza trudność przy identyfikacji tych punktów na modelu stereoskopowym.

Wymienione przyczyny spowodowały, iż w przeprowadzonej analizie dokładności trzeba było zastosować takie środki, które uwolniłyby jej wyniki od błędnych wniosków stąd wypływających. Będzie to widoczne w dalszej treści opracowania, przy omawianiu zgodności wyników pomiaru fotogrametrycznego z wynikami pomiaru bezpośredniego.

3.4.1. *Analiza dokładności pomiaru fotogrametrycznego.* Wewnętrzna dokładność opracowania fotogrametrycznego określano wielorako. Przede wszystkim skrupulatnie prześledzono błąd pomiaru paralaksy, który, zgodnie z wynikami dociekań w rozdziale 2.4., stanowi dominującą składową średniego błędu opracowania. Sprawa ta została omówiona w rozdziale 3.3.1.

Obserwacje na stekometrze, jak powiedziano, przeprowadzono w czterech seriach. Dla każdej serii obserwacji wykonano obliczenie odkształceń względnych (tabl. 2, rubr. 5) niezależnie, z dwóch stereogramów.

Następnie prześledzono wzrost dokładności wyznaczenia wielkości ΔL w miarę zwiększania ilości obserwacji przyjętych do określania średniej wielkości poszukiwanej. Obrazuje to rysunek 6.

Linia ciągłą pokazano zmianę przeciętnej wielkości średniego błędu średniej arytmetycznej (ΔL) w miarę wzrostu ilości obserwacji. Pod pojęciem jednej obserwacji rozumie się średnią arytmetyczną z dwóch wielkości ΔL obliczonych niezależnie z dwóch stereogramów.

Linia przerywaną pokazano zmianę największych błędów średnich występujących w danym zespole obserwacji.

Linia kropkowana wskazuje przebieg zmian sumy kwadratów różnic między wielkościami ΔL wyznaczonymi pomiarem bezpośrednim i fotogrametrycznym, natomiast linią kropka-kreska pokazano największe występujące wielkości δ czyli różnice między pomiarem bezpośrednim i fotogrametrycznym.

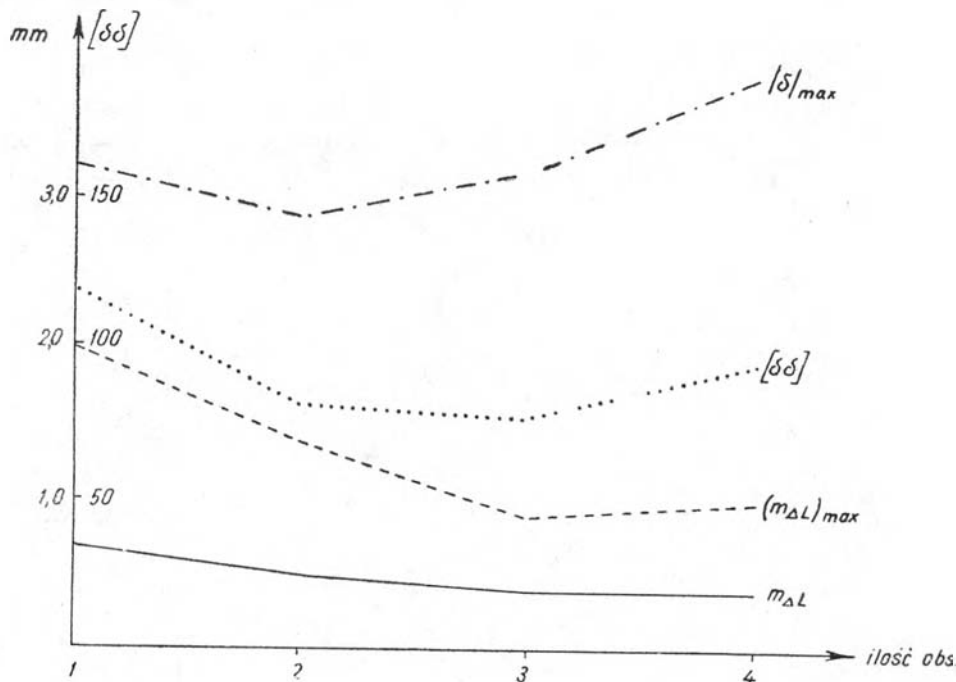
Rysunek 6 uzasadnia mniemanie, iż w tym przypadku trzy obserwacje są ilością optymalną tak w sensie wewnętrznej dokładności metody fotogrametrycznej, jak i zgodności z wynikami pomiaru bezpośredniego.

Wywód ten pozwala określić przeciętny średni błąd pomiaru fotogrametrycznego jako

$$m_{\Delta L} = \pm 0,4 \text{ mm.}$$

Potwierdzenie wielkości tego błędu uzyskano przez porównanie wyników otrzymanych z obserwacji na stekometrze i stereokomparatorze.

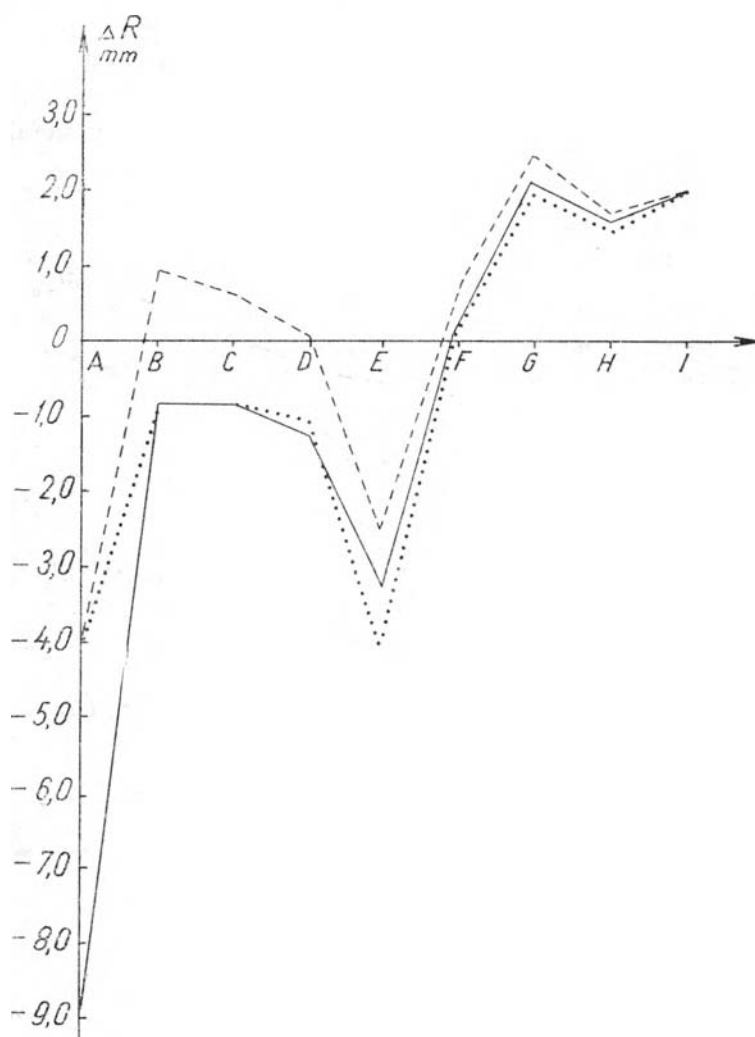
3.4.2. *Porównanie wyników pomiaru fotogrametrycznego z bezpośrednim.* Celem pomiaru bezpośredniego jest uzyskanie deformacji bezwzględnych powierzchni badanego elementu. Metoda fotogrametryczna może dostarczyć tych wielkości pod warunkiem, że znane są odchyłki od zadanego promienia pomierzone w punktach początkowym i końcowym każdej tworzącej. Wspomniano, iż wielkości te uzyskuje się na drodze pomiaru bezpośredniego.



Rys. 6

W trakcie obserwacji modelu stereoskopowego widać było, że większość punktów A, tj. punktów początkowych każdej tworzącej, leży w strefie zdeformowanej przyspawaniem uchwytów cyrkla. W punktach tych, wobec dużych zmian powierzchni na małym obszarze, kwestia zidentyfikowania punktu, w którym wykonany był pomiar bezpośredni, nabrała szczególnego znaczenia. Celem uniknięcia nieuzasadnionego obarczania odkształceń bezwzględnych wyznaczonych na drodze fotogrametrycznej przyjęto, iż pomiarowi bezpośredniemu odchyłek od zadanego promienia podlegały punkty drugiego przekroju (tj. punkty B każdej tworzącej), a nie punkty A. Takie założenie pozwoliło na określenie różnic między

wielkościami odkształceń bezwzględnych wyznaczonych dwoma metodami z jednoczesnym unaocznieniem odkształceń krawędzi elementu wywołanych przyspawaniem uchwytów cyrkla.



Rys. 7

Jak duże znaczenie ma dokładność określania odchyłek od zadanej linii tworzącej, pokazuje rysunek 7.

Pokazano tu przekrój elementu płaszczyzną normalną do powierzchni walca wzdłuż tworzącej 4. Pozioma oś wykresu symbolizuje teoretyczną (zadaną) linię tworzącej walca o promieniu R .

Linia kropkowaną oznaczono kształt powierzchni określony w tym przekroju pomiarem bezpośrednim. Linia przerywaną pokazano przekrój powierzchni uzyskany z pomiaru fotogrametrycznego przy założeniu, iż znane są odchyłki ΔR w punktach A i J . Linia ciągła jest wykresem powierzchni określonej metodą fotogrametryczną przy znajomości ΔR w punktach B i J .

Widać, jak istotną sprawą dla metody fotogrametrycznej jest ustalenie identyczności punktu obserwowanego na modelu z punktem, w którym określono bezpośrednim pomiarem odchyłkę od promienia.

Należy podkreślić, iż duża różnica między odkształceniem w punkcie A , wyznaczonym dwoma metodami, nie wynika z większego niż na innych punktach błędu pomiaru. Różnica ta wynika stąd, że pomiarowi podlegały inne punkty leżące w rejonie dużych, lokalnych zniekształceń.

Rozumowanie zobrazowane na przykładzie tworzącej 4 (rys. 7) przeprowadzono dla wszystkich 10 tworzących uzyskując informację, iż w 8 przypadkach punkty A nie były identyczne.

Odształcenia bezwzględne całego elementu obliczono więc w oparciu o punkty drugiego i ostatniego przekroju (do prawej krawędzi uchwytu nie były przyspawane).

Przeciętna wielkość wartości bezwzględnych różnic odchyłek od promienia określonych dwoma metodami, z wyłączeniem punktów dostosowania (B i J), gdzie różnice te, z założenia, są równe zeru oraz punktów A jako nie identycznych, wynosi

$$|\delta| = 0,6 \text{ mm.}$$

Największa różnica wynosi 1,9 mm.

Uzyskana przeciętna różnica wyników pomiarów powinna być traktowana jako składowa błędów obu metod. Przyjmując, iż ma się do czynienia z metodami równodokładnymi, średni błąd metody fotogrametrycznej można określić jako $0,6 : \sqrt{2} = 0,4 \text{ mm}$. W ten sposób uzyskano kolejne potwierdzenie określonej już wcześniej na innych drogach dokładności opracowania fotogrametrycznego.

Można więc stwierdzić, że przedstawiony w niniejszym opracowaniu sposób określania kształtu konstrukcji walcowych sprostał stawianym wymaganiom.

4. Uwagi końcowe

Jak wykazano, przedstawiony sposób pomiaru zadowala pod względem dokładności. Pozostają sprawy ekonomiki pracy oraz inne uwagi natury technicznej.

Wykonane opracowanie nie daje jasnego obrazu pracochłonności proponowanej metody. Jest to pierwsze opracowanie tego typu i wobec konieczności wykonywania wielu czynności dodatkowych, trudnych do oddzielenia w ogólnym bilansie czasu, pracochłonność może być określona zaledwie w przybliżeniu.

Uważa się, że przy niedużym rozmiarze wykonywanych prac, czasochłonność obu metod jest zbliżona lecz główny ciężar prac przeniesiony zostaje do prac kameralnych.

Pomiar 1 elementu trwa:

- Prace polowe — 1 godzina.
- Oczekiwanie na negatywy — 1 doba.
- Prace kameralne — 6 godzin.

Należy tu wspomnieć, że wyniki prac polowych pomiaru bezpośredniego, którym odpowiadają wyniki opisanych prac fotogrametrycznych, nie są produktem ostatecznym. Dane te są przedmiotem dalszych operacji rachunkowych dających między innymi wskazania co do korektury osi walca oraz przewidywany po niej rozkład odkształceń powierzchni. Zagadnienie tych rachunków jest całkowicie opracowane i nie leży w kręgu zainteresowań niniejszego opracowania. Gdyby jednak połączyć w jedną całość cykl rachunków fotogrametrycznych ze wspomnianymi obliczeniami, sprawy norm czasowych wyglądałyby zupełnie inaczej. Wówczas, wobec automatycznej rejestracji danych wyjściowych, ekonomiczna przewaga metody fotogrametrycznej byłaby oczywista.

Recenzowali: *dr inż. Irmina Laudyn*
 doc. inż. Wacław Sztompke

Rękopis złożono w Redakcji w marcu 1970 r.

ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ
АНДЖЕЙ НОВОСЕЛЬСКИ

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ФОРМЫ КОНСТРУКЦИИ ЯВЛЯЮЩЕЙСЯ МАТЕРИАЛИЗОВАННОЙ
ОСАНКОЙ ЦИЛИНДРА ИЛИ ПЛОСКОСТИ

Резюме

В работе содержится описание способа определения деформации поверхности конструкции в виде цилиндра или произвольно ориентированной плоскости.

Так как конструкции этого рода являются пространственными, геометрическими телами, необходимо было применить стереофотограмметрический метод. Поскольку обыкновенные стереофотограмметрические измерения не обеспечивали необходимой точности, авторами был предложен интересный способ обработки измерений. Этот способ основывается на сравнении линий равных продольных паралаксов, на снимках полученных в результате нормального случая стереофотограмметрической съемки, с истинной формой этих линий на исследуемом теле, которые по принципу должны быть прямыми линиями (образующие).

Благодаря применению этого способа получено среднюю квадратическую ошибку определения деформации поверхности цилиндра порядка $\pm 0,4$ мм.

WOJCIECH BYCHAWSKI
ANDRZEJ NOWOSIELSKI

APPLICATION OF GROUND-PHOTOGRAMMETRY FOR DEFINING THE SHAPE OF CONSTRUCTIONS BEING THE MATERIALIZED FORM OF A CYLINDER OR A PLANE

Summary

The paper contains the description of the way of determining the deformations of the surface of a construction having the form of a circular cylinder or a arbitrarily oriented plane.

As such constructions are three-dimensional formations, the methods of stereo-photogrammetry were to be applied. The rigorous requirements as regards the accuracy, made the standard stereo-photogrammetric technology unapplicable and a specific solution had to be proposed.

The proposed solution consists in the comparison of the lines of equal horizontal parallaxes related to normal photographs with the analogous lines of the examined construction, assumed to be straight (generating) lines.

Thanks to the application of that method for defining the deformations of the surface of a cylinder, the mean error obtained for that determination did not exceed the range of $\pm 0,4$ mm.