

Jan Ćwierz¹, Wojciech Cinal², Arkadiusz Kampczyk³

POMIAR ODCHYLEŃ ŚCIAN ELEWACJI BUDYNKU OD PŁASZCZYZNY PIONOWEJ⁴

Wprowadzenie

Kontrolne pomiary geodezyjne, do których zalicza się pomiar odchylenia od pionowej płaszczyzny ścian elewacyjnych budynku, wykonuje się w celu pozyskania informacji o geometrii obiektu i wyznaczenia odchyłek od ich usytuowania. Istnieje wiele geodezyjnych metod pomiaru odchylenia ścian elewacyjnych od płaszczyzny pionowej, różniących się ekonomią pomiaru i zaawansowaniem technologii pomiarowej. Problem ten szeroko przedstawili Gałda, Kujawski i Przewłocki w literaturze [1] oraz Suchocki, Damińska-Suchocka w [2]. W artykule zaprezentowano wyniki autorskich pomiarów odchylenia ścian budynku od płaszczyzny pionowej z zastosowaniem dwóch metod geodezyjnych:

- kątowych wcięć przestrzennych w przód,
- biegunowej 3D.

Pomiary przeprowadzono z zastosowaniem tachimetru Leica TC407 Power, obejmującego ściany elewacyjne budynku mieszkalnego pięciokondygnacyjnego. Z uwagi na obszerność pozyskanych danych w artykule uwzględniono wyniki badań w odniesieniu do dwóch ścian: zachodniej i wschodniej. Przedstawiono ostateczne wyniki, zawierające graficzną interpretację pionowości płaszczyzn elewacyjnych, obejmujących siatkę modelu GRID (regularny model w postaci siatki kwadratów) oraz mapę izolinii dla danych pozyskanych metodą wcięć przestrzennych i metodą biegunową 3D. W artykule zawarto przegląd stosowanych geodezyjnych metod inwentaryzacji pionowości ścian. Autorzy przedstawiają zalety i wady poszczególnych metod rozważane w zakresie optymalizacji sposobu pomiaru, który jest powiązany z jakością pozyskanych danych, a te z kolei znaj-

¹ Absolwent AGH Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: jc_k@wp.pl

² Absolwent AGH Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: wojtek.cinal@gmail.com

³ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kampczyk@agh.edu.pl

⁴ Artykuł niniejszy został opracowany w ramach badań statutowych nr 11.11.150.005. Wkład procentowy autorów w publikację: Jan Ćwierz 30%, Wojciech Cinal 30%, Arkadiusz Kampczyk 40%.

dużą odzwierciedlenie w analizie i ocenie stanu odchyłeń ścian elewacji budynku od płaszczyzny pionowej. W pracy przedstawiono wnioski, spostrzeżenia oraz propozycje, co powinno się jeszcze uwzględnić i ulepszyć. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych nr AGH 11.11.150.005.

1. Przegląd stosowanych geodezyjnych metod inwentaryzacji pionowości ścian

Istnieje wiele metod pomiaru odchyłeń ścian elewacyjnych od płaszczyzny pionowej, różniących się pomiędzy sobą m.in.: warunkami zakładanych konstrukcji geometrycznych, ekonomią pomiaru, warunkami dostępności punktów pomiarowych, wizurą i zaawansowaniem technologii pomiarowej. Ogólna zasada pomiaru geometrii obiektu budowlanego bez względu na wybraną metodę geodezyjną pozostaje taka sama, gdyż wynikiem jest uzyskanie współrzędnych przestrzennych obranych na budynku punktów, które reprezentują jego geometrię w lokalnym układzie współrzędnych. Pomiaru inwentaryzacyjne stanowią zespół czynności geodezyjnych mających na celu zebranie odpowiednich danych geodezyjnych do określenia: położenia, kształtu i wymiarów zrealizowanych obiektów budowlanych.

Większość metod zakłada założenie równomiernej siatki pomiarowej na budynku, której punkty reprezentują płaszczyzny jego ścian. Obserwowane punkty na budynku, czyli tzw. punkty kontrolowane, mogą być wybierane i markowane na kilka sposobów w zależności od wybranej metody. Podstawowym rodzajem punktów kontrolowanych są charakterystyczne i jednoznacznie identyfikowalne elementy obiektu, takie jak krawędzie i narożniki elewacji, zakończenia gzymsów, pęknięcia itd. Takie obranie punktów nie wymaga dodatkowej stabilizacji, więc sprawdza się w sytuacjach, kiedy nie ma bezpośredniego dostępu do budynku lub nie ma możliwości stabilizacji innych znaków pomiarowych (rys. 9). Jednak wadą takiego rozwiązania jest niska rozpoznawalność punktu, która zależy od stanu technicznego: elewacji, materiału, koloru, oświetlenia, kąta obserwacji oraz doświadczeń praktycznych obserwatora, posiadając dokładność około 1 ± 2 cm [3, 5]. Sposób ten jest szczególnie kłopotliwy przy metodach, w których zachodzi konieczność pomiaru tego samego punktu z dwu lub więcej stanowisk pomiarowych [4, 5]. Istnieje możliwość zastosowania znaczków celowniczych, tj. folii dalmierczych (rys. 1), tarcz celowniczych lub metalowych bolców (w zależności od wybranej metody), a w przypadku stałego monitoringu nawet montowanie pryzmatów. Jednak nie zawsze istnieje możliwość zastosowania takiego rozwiązania ze względu na ograniczony dostęp do obiektu, wysokością lokalizację punktów pomiarowych, nakład czasu i kosztów potrzebnych do ich założenia. Gdy nie ma możliwości obrania charakterystycznych punktów ani zastosowania tarcz celowniczych, możliwe jest zastosowanie opuszczonego ciężna przylegającego do elewacji z zastabilizowanymi punktami lub wskazanie punktu za pomocą płamki lasera, np. podczas jednoczesnego pomiaru tachimetrycznego z dwóch stanowisk [2]. Wady takiego rozwiązania wynikają z właściwości płamki lasera, która wraz ze wzrostem odległości zwiększa swoją powierzchnię, a im większy kąt padania promienia lasera, tym wiązka bardziej się wydłuża. Obydwie cechy utrudniają nacełowanie przy niekorzystnych warunkach kątowych i liniowych, do tego dochodzi

jeszcze niekorzystna faktura i kolor celu, jednoznaczne określenie położenia plamki może stać się wówczas niemożliwe [6].



Rys. 1. Samoprzylepna folia dalmiercza do pomiaru za pomocą tachimetrów o wymiarach 60x60 mm. Widoczny czarny krzyż na srebrnej, odbłaskowej folii ułatwia lokalizację oraz celowanie na jej środek



Rys. 2. Tachimetr Leica TC407 POWER



Rys. 3. Tachimetr Leica TCRA 1102 Plus



Rys. 4. Tachimetr Leica Nova MS50

Istnieją również metody pomiaru odchyleń ścian, które nie wymagają obierania punktów pomiarowych. Zaliczają się do nich metody oparte o automatyczny pomiar kąta i bezreflektorowy automatyczny pomiar odległości, takie jak pomiar tachimetrem skanującym i skaning laserowy, np. Trimble Rapid Positioning System. W zakresie pomiaru dotyczącego odchyleń ścian elewacyjnych od płaszczyzny pionowej dotychczas były najbardziej rozpowszechnione następujące metody pomiarów geodezyjnych:

- stałej prostej,
- pionowania,
- kątowych wcięć przestrzennych w przód,
- kątowych wcięć przestrzennych w przód z 3 stanowisk,

- biegunowa 3D - tachimetry z pomiarem bezlustrowym, np.: Leica TC407 POWER (rys. 2), Topcon OS-103,
- biegunowa 3D - tachimetry skanujące, np.: Leica TCRA 1102 Plus (rys. 3), Leica Nova MS50 (rys. 4), wyposażone w bogatą gamę programów użytkowych.

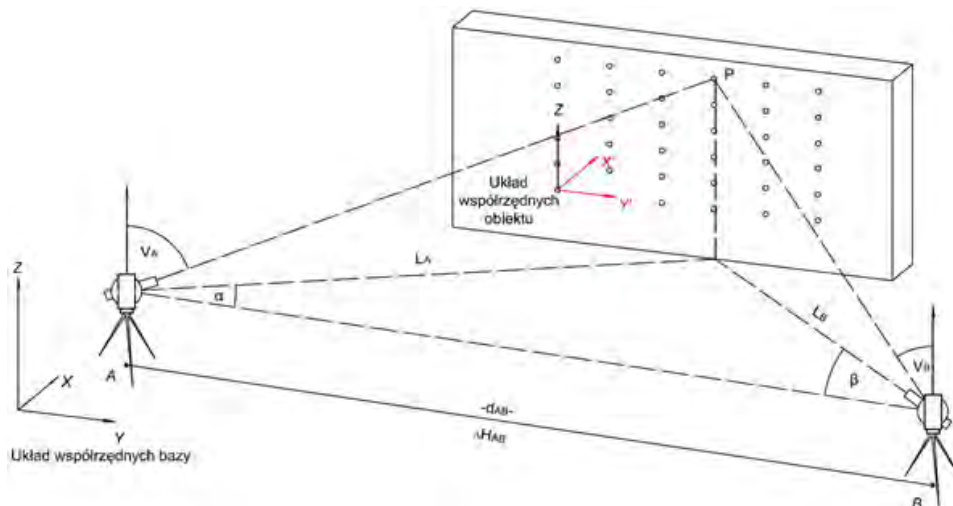
Aktualnie w tym asortymencie prac dużą rolę odgrywa i pozyskuje naziemny skaning laserowy TLS (Terrestrial Laser Scanning).

Rynek geodezyjny nadal powszechnie wykorzystuje klasyczne przyrządy pomiarowe lub wzbogacone o pomiar bezlustrowy. Aczkolwiek i tutaj nie każda firma geodezyjna świadcząca usługi geodezyjne posiada tej klasy tachimetr. Do pomiaru odchyłeń ścian budynku od płaszczyzny pionowej zdecydowano zastosować metodę kątowych wcięć przestrzennych w przód oraz biegunową 3D z użyciem tachimetru Leica TC407 POWER (rys. 2) wraz z minipryzmatem dalmierczym typu Leica GMP101/102. Porównanie dwóch metod wykaże niewątpliwie zalety i wady, które należy rozważać w zakresie optymalizacji sposobu pomiaru. Ważny jest również fakt, że obydwie metody mogą być stosowane sukcesywnie w praktyce geodezyjnej, ponieważ wymagają użycia powszechnie stosowanego w geodezji tachimetru mierzącego kąty poziome, pionowe i odległości do lustra, a w przypadku metody 3D również prowadzić pomiar bezlustrowo. Istnieje możliwość obrania punktów charakterystycznych na elewacji, zatem nie potrzeba użycia drogich i nieporęcznych w transporcie skanerów laserowych. Wykluczono klasyczne metody pomiaru, takie jak: metoda stałej prostej oraz metoda pionowania ze względu na brak możliwości przyłożenia łąty niwelacyjnej w równych odstępach na całej powierzchni ścian. Najważniejszym argumentem jednak jest możliwość pomiaru tego samego obiektu metodami bazującymi na różnych rozwiązaniach, to znaczy na bezlustrowym pomiarze odległości oraz wyznaczeniu odległości z pomiaru bazy i kątów poziomych.

1.1. Metoda kątowych wcięć przestrzennych w przód

Metoda kątowych wcięć przestrzennych w przód stanowi połączenie metody wcięcia kąтового w przód z trygonometrycznym wyznaczeniem wysokości punktu, czego wynikiem są trzy współrzędne przestrzenne X, Y, Z. Najważniejszym etapem pomiaru jest założenie bazy składającej się z dwóch punktów A i B oraz spełniającej kilka kryteriów. Baza powinna znajdować się w przybliżeniu równolegle do mierzonej ściany budynku oraz w odległości około 1,5 wysokości budynku, co zapewni dogodną obserwację najwyższych położonych punktów. Stanowiska A i B należy również obrać przynajmniej kilka metrów poza krawędzią budynku w celu uniknięcia kątów rozwartych, które niekorzystnie wpływają na dokładność pomiaru (rys. 5).

Dokładność wyznaczenia współrzędnych płaskich punktu jest najlepsza w sytuacji, kiedy kąty między bazą a mierzonym punktem z obu stanowisk sumują się do 100° . Następnie należy zdefiniować lokalny układ współrzędnych bazy poprzez pomiar odległości d_{AB} oraz wyznaczenie różnicy wysokości między punktami bazy ΔH_{AB} .



Rys. 5. Zasada pomiaru metodą wcięcia przestrzennego w przód: X, Y, Z - osie układu instrumentu, X', Y', Z' - osie układu obiektu budowlanego, V_A, V_B - kąty zenitalne, α, β - kąty poziome, L_A, L_B - odległość pozioma do punktu, d_{AB} - długość bazy, ΔH_{AB} - różnica wysokości między stanowiskami A i B

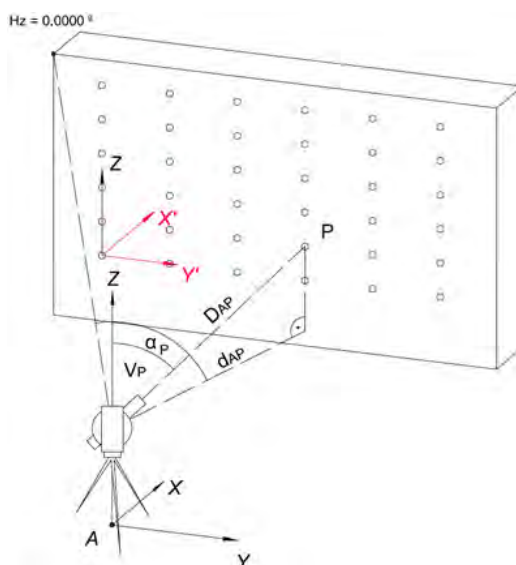
Do wyznaczenia różnicy wysokości można wykorzystać niwelację trygonometryczną lub geometryczną. Na każdym stanowisku należy zmierzyć wysokość instrumentu, nawiązać się na przeciwległe stanowisko, a następnie pomierzyć punkty obserwowane, rejestrując odczyt z kręgu poziomego oraz kąt zenitalny. Pomiar należy przeprowadzić zgodnie z zasadami pomiaru kąta metodą kierunkową [7]. Po zredukowaniu pomierzonych kątów poziomych α i β oraz zenitalnych V_A i V_B należy obliczyć współrzędne X, Y w lokalnym układzie współrzędnych bazy.

1.2. Metoda biegunowa 3D

Połączenie klasycznego pomiaru biegunowego z niwelacją trygonometryczną daje metodę biegunową 3D. Pomiar punktów metodą 3D można przeprowadzić przy użyciu tachimetru z funkcją bezlustrowego pomiaru odległości (rys. 2-4) lub za pomocą zwykłego tachimetru, celując do folii dalmierzonych (rys. 1) umieszczonych na wyznaczonych punktach elewacji. Stanowisko obserwowane jest pośrodku mierzonej ściany w odległości około 1,5 wysokości budynku w celu dogodnej obserwacji najwyższych położonych punktów. W przypadku gdy nie ma takiej możliwości, zalecane jest użycie okularu łamiącego, który umożliwia nacelowanie na punkty bliskie zenitowi (rys. 6). Rozwiązanie to sprawdza się szczególnie przy wysokich budynkach położonych w silnie zabudowanym otoczeniu. Centryczne ustawienie względem obiektu zapewnia najmniejszy kąt odbicia wiązki, a zatem największą dokładność pomiaru odległości. Pomiar na stanowisku polega na rejestracji odczytu z kręgu poziomego, kąta zenitalnego i odległości skośnej do każdego punktu (rys. 7).



Rys. 6. Okular łamany typu GFZ3



Rys. 7. Zasada pomiaru metodą biegunową 3D: X, Y, Z - osie układu instrumentu
 X' , Y' , Z' - osie układu obiektu budowlanego, V_p - kąt zenitalny, α_p - kąt poziomy,
 D_{AP} - odległość skośna do punktu, d_{AP} - odległość pozioma do punktu

2. Charakterystyka obiektu podlegającego pomiarowi

Obiekt pomiaru dotyczył budynku mieszkalnego, pięciokondygnacyjnego w Krakowie, przy ul. Juliana Tokarskiego 6, oddanego do użytku po generalnym remoncie w 2009 roku. Od strony południowej przylega do budynku objętego pomiarem kolejny budynek. Budynek poddany pomiarowi posiada dwa przejścia pod budynkiem na wysokości pierwszej kondygnacji (rys. 9 i 13). Pomiar objął trzy z czterech ścian zewnętrznych budynku (rys. 8).

3. Założenia techniczno-organizacyjne

Przed przystąpieniem do pomiaru wykonano założenia uwarunkowane czynnikami techniczno-organizacyjnymi. Przeprowadzono wywiad terenowy umożliwia-

jący rozpoznanie istniejących w terenie warunków oraz uniknięcia nieprzewidzianych trudności w trakcie pomiaru. Do pomiaru wybrano trzy z czterech ścian budynku. Ze względu na występowanie na ścianie wschodniej i zachodniej dwóch elewacji różniących się kolorem i znajdujących się na różnych głębokościach względem siebie, wybrano jasnoszarą elewację, która zapewniała możliwość obrania większej ilości punktów pomiarowych jednoznacznie identyfikowalnych. Wyjątkiem było 10 punktów na ścianie wschodniej, które w przeciwieństwie do analogicznych punktów ściany zachodniej znajdowały się na innej głębokości (rys. 13). Punkty te pomierzono kontrolnie w celu określenia odchylenia od pionu środkowej części ściany wschodniej. Z uwagi na fakt, że badane elewacje znajdują się na wysokości 4 m, nie zdecydowano się na zamarkowanie punktów dostosowania po skrajnych stronach każdej ściany w celu późniejszej transformacji. Zdecydowano, że za punkty dostosowania posłużą skrajne dolne punkty siatki. W efekcie podjętych założeń wybrano po 50 punktów pomiarowych na obydwu ścianach. Głównym utrudnieniem przy zakładaniu siatki punktów była kilkunastymetrowa struktura elewacji, która wymagała podjęcia kompromisu między gęstością a równomiernym rozłożeniem punktów. Przy wyborze stanowisk pomiarowych kierowano się przede wszystkim założeniami dla każdej z metod. W praktyce jednak rzeźba terenu, zadrzewienie oraz istniejące elementy zabudowy uniemożliwiają spełnienie wszystkich warunków, co przekłada się na zmniejszenie dokładności pomiaru lub brak możliwości pomiaru niektórych punktów z dwóch stanowisk lub dwiema metodami.



Rys. 8. Lokalizacja i oznaczenie ścian budynku podlegających pomiarowi (opracowano na podstawie GEOPORTAL 2)

W przypadku ściany zachodniej stanowiska do pomiaru metodą wcięć przestrzennych w przód wybrano w taki sposób, że powstała baza o długości 41,426 m przebiegała równoległe do budynku w odległości 23 m. Tak bliska odległość między bazą a obiektem była konieczna ze względu na pas drzew oddzielający parking od trawnika. Lewe stanowisko obrano w przybliżeniu na przedłużeniu północnej elewacji mierzonego budynku. Dalsze odsunięcie nie było możliwe ze względu

na przeszkodę w postaci kolejnego budynku mieszkalnego (rys. 8). Korzystną lokalizację posiadało stanowisko do pomiaru metodą 3D dla ściany zachodniej. Stanowisko umiejscowiono na niewielkim pagórku, który wznosił się ponad linię drzew w przybliżeniu centrycznie naprzeciwko mierzonego obiektu w odległości 43 m. Takie położenie zapewniło dogodną obserwację wysoko położonych punktów oraz mały kąt padania wiązki lasera na elewację.

W przypadku ściany wschodniej lokalizacja odpowiednich stanowisk do pomiaru ściany utrudniał rozbudowany parking przed budynkiem oraz drzewa rosnące przed i obok budynku. Stanowisko lewe dla metody wcięć przestrzennych w przód wymagało wysunięcia przed boczną krawędź budynku ze względu na drzewo zasłaniające całą pierwszą kolumnę siatki pomiarowej. Z kolei drugie stanowisko bazy pomiarowej zlokalizowano poza boczną krawędzią budynku w taki sposób, że powstała baza o długości 60,485 m równoległa do elewacji i oddalona od niej o 47 m. Natomiast stanowisko do pomiaru metodą 3D usytuowano w odległości 61 m centrycznie naprzeciwko budynku, co pozwoliło pomierzyć wszystkie zaplanowane punkty pomiarowe na elewacji wschodniej.

W wyniku panujących warunków terenowych dla metody wcięć przestrzennych w przód wyznaczono bazy różniące się odległością od obiektu, długością oraz rozmieszczeniem stanowisk względem krawędzi budynku. Każda z utworzonych konstrukcji pomiarowych charakteryzowała się innym wpływem pomierzonych wartości na błąd współrzędnych mierzonych punktów.

4. Pomiar i opracowanie wyników

Przed rozpoczęciem pomiaru dokonano sprawdzenia błędu kolimacji oraz indeksu w tachimetrze Leica TC407 POWER. Ze względu na umiejscowienie pomiarów w różnym czasie procedurę powtarzano przed każdym kolejnym pomiarem. Dodatkowo przed każdym pomiarem wprowadzano do instrumentu aktualną temperaturę i ciśnienie w celu wyliczenia poprawki atmosferycznej do dalmierza. W przypadku pomiaru metodą 3D dokonywano pomiaru temperatury elewacji pirometrem Testo 830-T2 w celu określenia wpływu temperatury powierzchni obiektu na bezlustrowy pomiar odległości. W przypadku metody wcięć przestrzennych w przód dokonywano pomiaru wysokości od punktu osnowy pomiarowej do punktu przecięcia osi celowej z osią obrotu lunety w celu późniejszego wyznaczenia przewyższenia między stanowiskami metodą niwelacji trygonometrycznej. Pomiar odległości wykonano w trybach IR (InfraRed-podczerwień) oraz RL (ReflectorLess, bez reflektora, czerwony laser) przy uwzględnieniu stałej dodawania dla minipryzmatu GMP101/102 (+17,5 mm) oraz pomiaru bezlustrowego RL (+34,4 mm).

Pomiar punktów na budynku rozpoczynano od wyzerowania kręgu poziomego na przeciwległym punkcie bazy pomiarowej, a następnie dwukrotnej rejestracji kąta poziomego, pionowego i odległości skośnej. Następnie wykonano pomiar punktów elewacji zgodnie z zasadami pomiaru kąta poziomego metodą kierunkową przy jednokrotnym nacelowaniu w dwóch położeniach lunety i jednej serii. Pomiar metodą biegunową 3D przeprowadzono w analogiczny sposób, jednak bez nawiąza-

nia do osnowy pomiarowej. Ze względu na długi czas trwania pomiaru konieczne było regularne przeprowadzanie kontroli stabilności instrumentu realizowane poprzez odczyt wartości z kręgu poziomego na punkcie, na którym wykonywano odczyt zerowy.

W wyniku pomiaru otrzymano zbiór obserwacji w postaci odczytów z kręgu poziomego, pionowego oraz odległości skośnych z pomiaru w dwóch położeniach lunety. W celu wykonania kontroli obliczono różnice kątów i odległości w dwóch położeniach lunety. Różnice między kątami nie przekraczały 60° , a między odległościami 10 mm, co przy obraniu punktów na krawędziach elewacji było zadowalającym wynikiem. Po uśrednieniu obserwacji zredukowano kierunki poziome w sposób zależny od metody pomiaru. Otrzymując kompletne dane, dokonano obliczeń współrzędnych w układzie lokalnym instrumentu dla metody 3D oraz współrzędne w układzie lokalnym bazy dla metody wcięć kątowych w przód.

W wyniku dwuparametrowej transformacji Helmerta punktów z układów lokalnych do układu odpowiednich ścian otrzymano odchylenia mierzonych punktów od płaszczyzny pionowej w postaci wartości współrzędnych X. Dodatni znak współrzędnej X świadczy o odchyleniu punktu w kierunku budynku, natomiast ujemny w stronę zewnętrzną, dlatego postanowiono przemnożyć wszystkie współrzędne X przez wartość -1 w celu czytelniejszego przedstawienia odchyleń w dalszej części opracowania. Współrzędne Y i Z zredukowano do wartości najmniejszej celem uzyskania jednolitych współrzędnych między metodami.

5. Analiza i porównanie metod

Obliczone współrzędne poddano transformacji do układu obiektu z zastosowaniem dwuparametrowej transformacji Helmerta. Dalmierze pozwalające na pomiar odległości bezpośrednio do powierzchni, bez użycia lustra stosowane są powszechnie w tachimetrach oraz skanerach laserowych. Jednak jak potwierdzają badania opublikowane w [4, 8-10], pomiar bezlustrowy poza błędem pomiaru odległości obarczony jest szeregiem innych błędów wynikających z tego, że pomiaru w praktyce nigdy nie przeprowadza się w warunkach laboratoryjnych. Producent podaje dokładność pomiaru odległości w sprecyzowanych warunkach oraz do materiałów rzadko występujących w codziennej pracy [8]. Z przeprowadzonych badań na sztucznych powierzchniach [9, 10] wynika, że dla większości powierzchni, niezależnie od koloru i faktury wraz ze zmniejszającym się kątem padania, dalmierz rejestruje mniejszą odległość. W pracach [8-10] wykazano wiele innych wyników badań, które należy uwzględnić podczas prowadzenia pomiarów bezwierciadlanych. Z badań [8, 9] wynika, że trzeba z dużą ostrożnością podchodzić do wyników pomiarów bezlustrowych oraz być świadomym zasad, których należy przestrzegać w celu otrzymania najdokładniejszego pomiaru. Przy małych odległościach (do 50 m) i małych kątach padania lasera wpływ koloru i faktury powierzchni ma mały wpływ na dokładność pomiaru, jednak przy dużym kącie i gładkiej powierzchni można spodziewać się dużych błędów. Należy też być

świadomym, do jakiego rodzaju prac pomiar bezlustrowy zapewnia odpowiednią dokładność.

TABELA 1

**Błędy najkorzystniej i najmniej korzystnie wyznaczonych punktów
w metodzie wcięć kątowych w przód**

Ściana	Nr punktu	Najgorszego	Pomierzone wartości						Błędy wyznaczenia współrzędnych [mm]			
		Najlepszego	α [°]	β [°]	$\alpha + \beta$ [°]	V_L [°]	V_P [°]	d_{AB} [m]	mX	mY	mP	mZ
Zachodnia (nr 1)	20		27,9141	118,0015	145,9156	87,3564	72,7751	41,426	3	3	4	2
	45		50,2902	55,1441	105,4343	93,3126	92,8036	41,426	2	2	3	2
Wschodnia (nr 2)	21		110,2110	38,6546	148,8656	89,7295	94,0097	60,485	6	3	6	3
	48		64,8580	63,2491	128,1071	96,2558	96,2874	60,485	4	2	5	2

Współrzędne X i Y stanowiska przyjęto jako bezbłędne, ponieważ błąd współrzędnych równoznaczny jest z błędem pomiaru długości bazy, natomiast błąd współrzędnej Z równy jest błędowi wyznaczenia przewyższenia między punktami bazy. Za błąd współrzędnej Z przyjęto błąd pomiaru różnicy wysokości z dwóch stanowisk. Z uwzględnieniem błędów:

$$m_{\alpha} = m_{\beta} = 0,0030^g$$

$$m_{V_A} = m_{V_B} = 0,0030^g$$

$$m_{V_{AB}} = m_{V_{BA}} = 0,0020^g$$

$$m_{d_{AB}} = 0,002 \text{ m}$$

$$m_{h_i} = 0,002 \text{ m}$$

$$m_{h_c} = 0,002 \text{ m}$$

dla pomiarów metodą kątowych wcięć przestrzennych w przód wykonano analizę dokładności, wykorzystując prawa przenoszenia się błędów. Ze względu na niezbyt wysoką dokładność identyfikacji mierzonych punktów zwiększono błąd pomiaru kątów poziomych i zenitalnych do 30^{cc}. Wyniki najkorzystniej i najmniej korzystnie wyznaczonych punktów zawarto w tabeli 1, oznaczając jako ciemne zacielenia punkty najgorsze, zaś jako słabe zacielenia punkty najbardziej korzystne. Analogicznie wykonano analizę dla metody biegunowej 3D przy założeniu błędów pomiarowych:

$$m_{\alpha_P} = 0,0030^g$$

$$m_{V_P} = 0,0030^g$$

$$m_{d_{AP}} = 0,010 \text{ m}$$

W metodzie biegunowej 3D współrzędne pomierzono w lokalnym układzie instrumentu w taki sposób, aby oś X skierowana była w przybliżeniu prostopadle do płaszczyzny budynku, dlatego błąd wyznaczenia współrzędnej X zależy głównie

od błędu pomiaru odległości przy znikomym wpływie błędu pomiaru kątów poziomych i zenitalnych. Błąd wyznaczenia współrzędnej Y również zależy od błędu pomiaru odległości, jednak większy wpływ ma błąd kąta poziomego. Im większa różnica między kątem a azymutem początkowym, tym większy błąd współrzędnej Y. Współrzędne stanowiska (X_A , Y_A , Z_A) przyjęte są jako bezbłędne, ponieważ pomiar wykonywany został w układzie lokalnym instrumentu (rys. 7). Założono wyższy błąd odległości niż podaje specyfikacja instrumentu (3 mm + 2 ppm), ponieważ poza błędem pomiaru odległości na pomiar wpływają również inne czynniki, o których mowa w [8] i [9]. Dokładność pomiaru przyjęto na poziomie $m_d = \pm 0,010$ m. Wyniki najkorzystniej i najmniej korzystnie wyznaczonych punktów zawarto w tabeli 2, oznaczając jako ciemne zacienienia punkty najgorsze, zaś jako słabe zacienienia punkty najbardziej korzystne.

TABELA 2

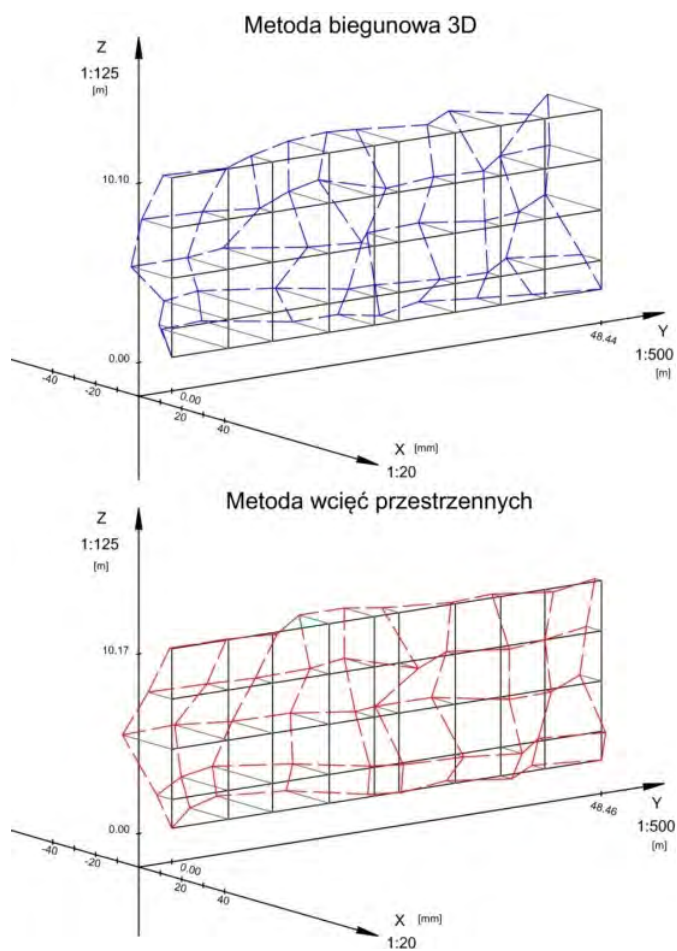
Błędy najkorzystniej i najmniej korzystnie wyznaczonych punktów w metodzie 3D

Ściana	Nr punktu	Najgorszego	Pomierzone wartości				Błędy wyznaczenia współrzędnych [mm]			
		Najlepszego	α [°]	V [°]	D [m]	d [m]	mX	mY	mP	mZ
Zachodnia (nr 1)	20		33,0913	89,5905	52,307	51,609	9	5	10	2
	45		0,0000	98,1579	43,651	43,633	10	0	10	0
Wschodnia (nr 2)	20		25,2754	89,8635	66,930	66,083	9	4	10	2
	45		0,0000	96,3455	61,434	61,332	10	0	10	1

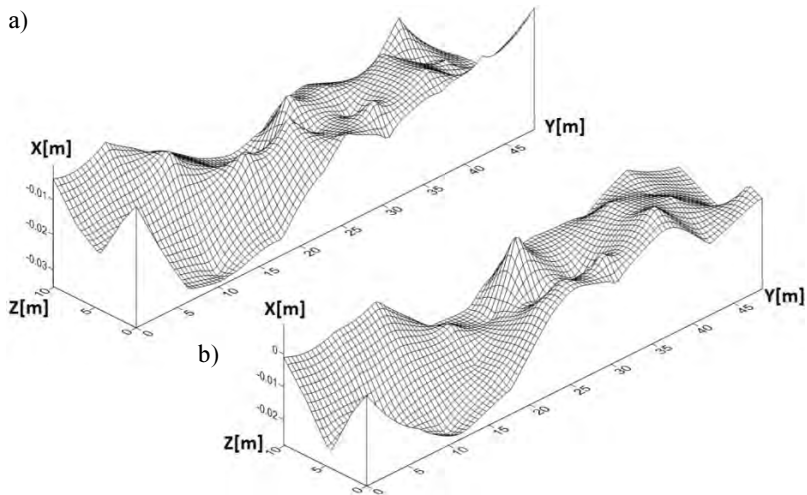
Dokładność metody biegunowej 3D jest znacznie niższa od metody wcięć przestrzennych w przód głównie ze względu na wpływ błędu bezlustrowego pomiaru odległości. Gdyby zwiększyć dokładność pomiaru odległości w metodzie 3D, dokładność wyznaczenia współrzędnych byłaby dokładniejsza od metody wcięć kątowych ze względu na niski wpływ błędu pomiaru kątów na błąd współrzędnych oraz brak błędów wynikających z pomiaru bazy. Przewagą metody wcięć przestrzennych jest bazowanie na obliczonych odległościach z precyzyjnie pomierzonej długości bazy i obserwacji kątowych. Analizę porównawczą odchyień od pionowej płaszczyzny odniesienia ściany zachodniej elewacji nr 1 i wschodniej elewacji nr 2, pomiędzy danymi uzyskanymi z metody biegunowej 3D i kątowych wcięć przestrzennych interpretują rysunki 10 i 14. Odchylenia od płaszczyzny pionowej ściany zachodniej (nr 1) przedstawione w rzucie aksometrycznym w odpowiednio dobranej i jednakowej skali dla obydwu metod pozwoliły na porównanie otrzymanych wyników. Kształt siatki jest zbliżony i różni się głównie przesunięciem względem osi X, co wynika z transformacji współrzędnych do układu obiektu. Na mapie izolinii widać, że odchylenia różnią się między metodami głównie na bocznych krańcach elewacji (rys. 12 i 16). Różnica w odchyleniach między metodami rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej Y, jednak kształt wykresu pozostaje podobny, co jest wynikiem narastającego wpływu błędu punktów dostosowania.



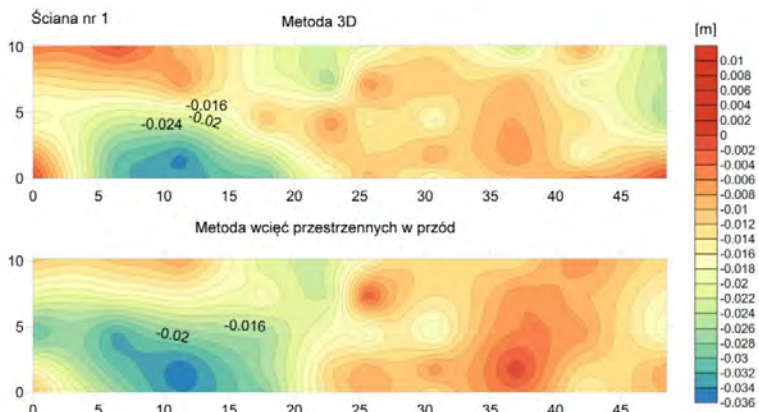
Rys. 9. Siatka punktów pomiarowych obranych na ścianie zachodniej elewacji (nr 1)



Rys. 10. Analiza porównawcza odchyłeń od pionowej płaszczyzny odniesienia ściany zachodniej elewacji nr 1 (pomiędzy danymi uzyskanymi z metody biegunowej 3D i wcięć przestrzennych)



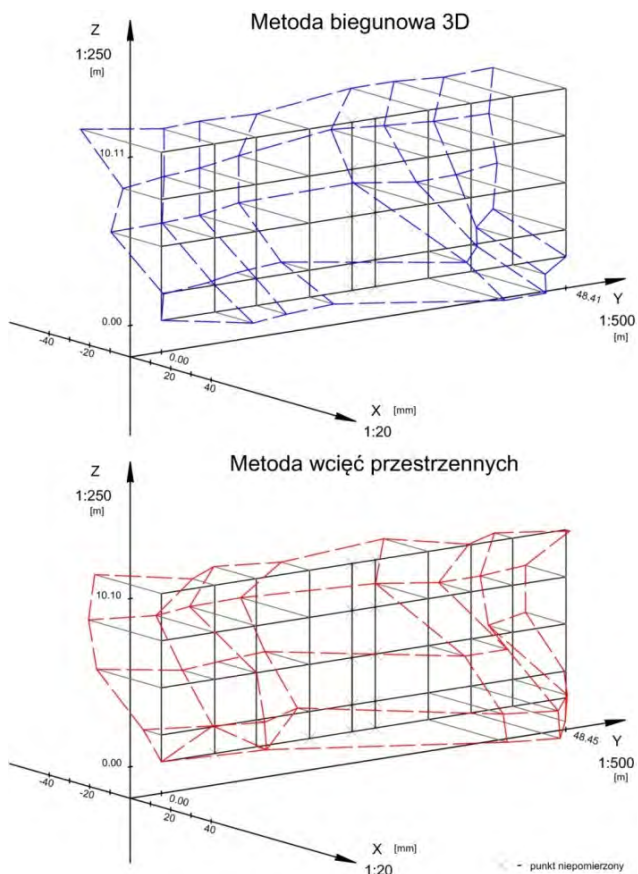
Rys. 11. Model GRID 3D ściany zachodniej (nr 1): a) metoda biegunowa 3D, b) metoda wcięć przestrzennych



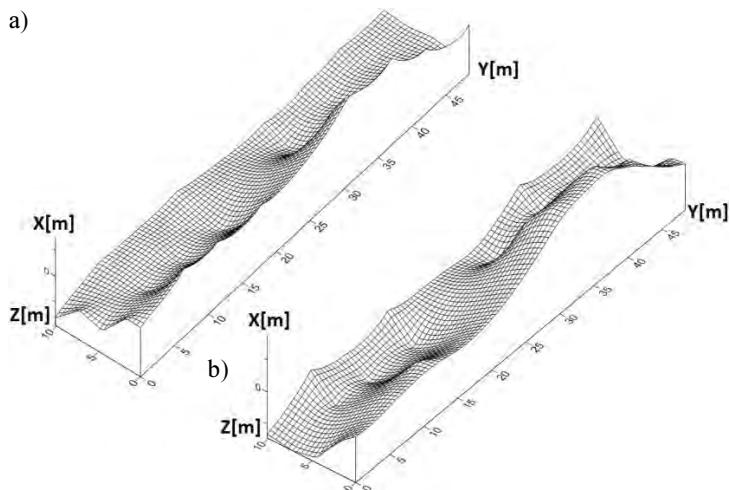
Rys. 12. Mapa izolinii odchyłań od płaszczyzny pionowej ściany zachodniej nr 1 na podstawie modelu GRID



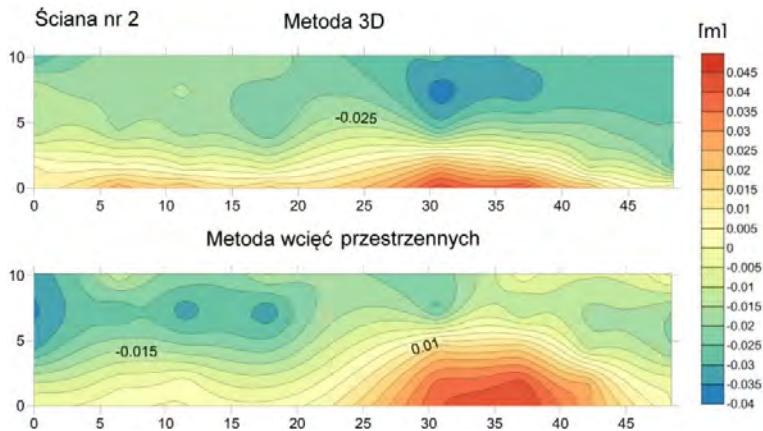
Rys. 13. Siatka punktów pomiarowych obranych na ścianie wschodniej (nr 2)



Rys. 14. Analiza porównawcza odchyień od pionowej płaszczyzny odniesienia ściany wschodniej elewacji nr 2 (pomiędzy danymi uzyskanymi z metody biegunowej 3D i wcięć przestrzennych)



Rys. 15. Model GRID 3D ściany wschodniej (nr 2): a) metoda biegunowa 3D, b) metoda wcięć przestrzennych



Rys. 16. Mapa izolinii odchylek od płaszczyzny pionowej ściany wschodniej nr 2 na podstawie modelu GRID

W praktyce coraz większe znaczenie w zakresie prowadzenia analizy posiada zastosowanie modelu GRID, jako regularnego modelu w postaci siatki kwadratów, uzupełnionego charakterystycznymi punktami i liniami szkieletowymi. Dla obydwu metod, zarówno dla ściany zachodniej (nr 1), jak i wschodniej (nr 2), modele GRID 3D pokazano na rysunkach 11 i 15. Do procesu interpolacji i tworzenia modelu GRID zastosowano aplikację SURFER v10. W widoku 3D modelu GRID obserwuje się niewielkie różnice wynikające głównie z błędów interpolacji, poza tym zauważalna jest ich zgodność.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów odchyleń ścian budynku od płaszczyzny pionowej, analizy i oceny otrzymanych danych można w bardzo szczegółowy sposób porównać ze sobą metodę biegunową 3D oraz metodę przestrzennych wcięć kątowych w przód. Pierwszym i praktycznym kryterium oceny jest ekonomia pomiaru.

W przypadku metody biegunowej 3D pomiar prowadzony jest z jednego stanowiska, w lokalnym układzie instrumentu, co przekłada się na szybkość realizacji pomiaru. Gdyby zastosowano tachimetr skanujący (rys. 3 i 4), dodatkowo ograniczyłby się udział człowieka jedynie do zadania obszaru skanowania. Natomiast w przypadku metody przestrzennych wcięć kątowych w przód, wymagany jest pomiar z dwóch stanowisk, tak też dla pomiarów prowadzonych jednym instrumentem, pomiar trwa ponad dwa razy dłużej niż w przypadku metody biegunowej 3D. Występuje również potrzeba zaangażowania osoby trzymającej lustro na drugim punkcie bazy w trakcie nawiązania. W tym aspekcie metoda biegunowa 3D jest znacznie wygodniejsza, ale w wyniku dużych błędów pomiaru odległości w trybie bezlustrowym jej dokładność wyznaczenia współrzędnych przestrzennych punktów

na obiekcie jest dużo mniejsza niż metoda wcięć przestrzennych w przód. Przy pomiarze bezlustrowym największy wpływ na błąd pomierzonej odległości ma wielkość plamki lasera, dlatego przy zastosowaniu punktów na płaskiej, jednorodnej powierzchni, wzrasta dokładność metody. Reszta czynników, takich jak: temperatura, faktura, kolor ścian elewacyjnych budynku mieszkalnego, ma porównywalny wpływ na pomiar odległości do każdego z punktów, dlatego wyznaczając współrzędne w lokalnym układzie, ich wpływ na wartość odchyłeń redukuje się przy transformacji do układu obiektu. Kąt padania wiązki ma duży wpływ na błąd długości, ale w przypadku niezbyt wydłużonych budynków nie przekracza wartości granicznej, dla której bezlustrowy pomiar staje się niedokładny. Zasadniczy wpływ na dokładność pomiaru bezlustrowego ma natomiast odległość celu od stanowiska, ponieważ ze wzrostem odległości maleje dokładność pomiaru. Zależność tę dobrze ilustrują wyniki pomiarów ściany zewnętrznej i wewnętrznej metodą biegunową 3D, które najbardziej pokrywają się z metodą wcięć przestrzennych przy pomiarze ze stanowiska oddalonego o 23 m dla ściany zachodniej, natomiast największe rozbieżności otrzymano przy pomiarze ze stanowiska oddalonego o 61 m dla ściany wschodniej. Metoda biegunowa 3D nie powinna być stosowana w pomiarach, przy których nie ma możliwości pomiaru ze stanowiska znajdującego się w niewielkiej odległości od obiektu. Przy konieczności obserwowania obiektu z dużej odległości ma zastosowanie metoda przestrzennych wcięć kątowych w przód, ponieważ błąd wyznaczenia zależy od dokładności pomiarów kątowych oraz precyzyjnie pomierzonej długości bazy. Metoda ta jest jednak czasochłonna i często dokładność wyznaczenia współrzędnych nie rekompensuje jej nieekonomiczności [6]. Wymagane jest również zachowanie odpowiedniej geometrii między stanowiskami a obiektem, której niespełnienie przekłada się na zwiększenie błędu wyznaczenia współrzędnych. Kolejną wadą metody wcięć przestrzennych jest konieczność pomiaru punktów z dwóch stanowisk, co przy obserwacji celów pod różnymi kątami może prowadzić do ich błędnej identyfikacji.

Otrzymanie danych przestrzennych w dobrej jakości jest zależne od:

- odpowiedniego doboru geodezyjnej metody pomiarowej względem obiektu pomiarowego, jego charakterystyki geometrycznej i otoczenia,
- odpowiedniego ustalenia celów pomiarów,
- analizy i oceny celów uzyskanych danych pod kątem ich wpływu na ich dostosowanie do potrzeb przyszłych użytkowników, np. branży budowlanej,
- prawidłowe sformułowanie założeń techniczno-organizacyjnych,
- dobór prawidłowych przyrządów pomiarowych wraz z towarzyszącymi akcesoriami pomiarowymi,
- ułożenie i zbudowanie modelu pomiarów, uwzględniającego hierarchię prac,
- opracowanie, analizę i ocenę danych.

W trakcie prowadzonych prac uzyskano dodatkowe wnioski:

- gęstość dobranej siatki pomiarowej ma wpływ na zakres przedstawienia zjawiska odchylenia ścian elewacji budynku od płaszczyzny pionowej, wiarygodność interpolacji,

- warunki pomiarowe i charakterystyka geometryczna elewacji ma znaczący wpływ na dobór regularnie i równomiernie rozmieszczonych punktów,
- błędy o jednakowym wpływie na całej powierzchni ściany determinowane przez czynniki atmosferyczne, materiałowe wywierają większy wpływ na przesunięcie wszystkich odchyłek o stałą wartość niż na przesunięcie pojedynczej odchyłki. Nie zmienia to kształtu całego modelu, lecz tylko jego położenie,
- na kształt całego modelu mają wpływ zaobserwowane przy krawędziach wklęsłych grubsze warstwy elewacji, jak również miejscowe ubytki tynku,
- w przypadku pomiaru na płaską jednoznaczną powierzchnię różnice w wartościach odchyłek między metodami są minimalne. Powoduje to uniknięcie błędów rozproszenia wiązki lasera czy błędnego celowania. W zadaniach gdzie wymagana jest bardzo dobra dokładność pomiarów, dobrym rozwiązaniem jest stosowanie tarcz celowniczych,
- metoda bezlustrowa jest bardziej ekonomiczna, jednak nadaje się w miejscach, gdzie stanowisko można założyć w odpowiedniej odległości od mierzonego obiektu. Problem pomiaru kąta zenitalnego z bliskiej odległości można rozwiązać przyrządami pomocniczymi, takimi jak okular łamiący (rys. 6),
- metoda kątowych wcięć przestrzennych w przód pochłania więcej czasu, jest natomiast dokładniejsza nawet z większej odległości,
- ostatecznie, różnice wynikające z doboru metody nie są zbyt znaczne. Mimo występujących niedogodności pomiarowych obie metody prowadzą do prezentowania zjawiska w podobny sposób, przez co można stwierdzić, że wyniki opracowania są zbliżone do rzeczywistego stanu obiektu badania.

Literatura

- [1] Gałda M., Kujawski E., Przewłocki S., Geodezja i miernictwo budowlane, Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. Eugeniusza Romera, S.A., Warszawa - Wrocław 1994.
- [2] Suchocki C., Damięcka-Suchocka M., Ćwiczenia z geodezji inżynierskiej, Część 1, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2014.
- [3] Wytyczne Techniczne G-3.4 Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury, Wydanie 1, GUGiK, Warszawa 1981.
- [4] Wróbel A., Klimkowska H., Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlustrowych w inwentaryzacji architektonicznej, < http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Klimkowska_Wrobel_2006.pdf> [odczyt 12.11.2015 r.].
- [5] Instrukcja Techniczna G-3 Geodezyjna Obsługa Inwestycji, Wydanie 5, GUGiK, Warszawa 1988.
- [6] Zdanowicz K., Geodezyjny monitoring deformacji powierzchni hiperboidalnych chłodni kominowych, Czasopismo Techniczne. Budownictwo, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, R. 108, z. 1-B, 2011, <https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i5/i3/i1/i1/r5311/ZdanowiczK_GeodezyjnyMonitoring.pdf> [odczyt 27.11.2015 r.].
- [7] Beluch J., Ćwiczenia z geodezji II, Wydawnictwo AGH, Kraków 2008.
- [8] Pecyna K., Bielecka M., Nykiel G., Pomiar bezlustrowy. Ocena przydatności i dokładności pomiarów, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Zakład Geodezji, www.wig.wat.edu.pl/geopixel/index...pomiar-bezlustrowe-ocena/file [odczyt 17.11.2015 r.].

- [9] Lenda G., Badanie zasięgu i dokładności dalmierzy bezzwierciadlanych - Examination of range and accuracy of reflectorless distancers, *Geodezja: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie* 2003, 9, 1, 77-87.
- [10] Lenda G., Marmol U., Dokładność dalmierzy bezzwierciadlanych dla pomiaru obiektów wykonanych z materiałów syntetycznych, *Pomiary, Automatyka, Kontrola* 2010, 56, 11, 1280-1286.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano pomiary odchyłeń ścian elewacyjnych budynku od płaszczyzny pionowej z zastosowaniem dwóch metod geodezyjnych: kątowych wcięć przestrzennych w przód i biegunowej 3D z użyciem tachimetru Leica TC407 POWER. Zawarto: założenia organizacyjno-techniczne towarzyszące tym pomiarom, ostateczne wyniki wraz z graficzną interpretacją obejmującą siatkę modelu GRID oraz mapę izolinii odchyłek od płaszczyzny pionowej ścian. Autorzy przedstawiają zalety i wady poszczególnych metod rozważane w zakresie optymalizacji sposobu pomiaru. W pracy przedstawiono wnioski, spostrzeżenia oraz propozycje, co powinno się jeszcze uwzględnić i ulepszyć. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Słowa kluczowe: metoda biegunowa 3D, metoda kątowych wcięć przestrzennych, pomiar bezlustrowy

Measurements of derivations of facade wells of the building from vertical plane

Abstract

The article presents the measurement deviation of elevation walls of the building from the vertical plane using two methods of surveying: "spatial resection forward (spatial intersection by angles technique)" and "3D polar survey" using the Leica TC407 Power. Contents: assumptions of organizational - technical accompanying these measurements, the final results along with graphical interpretation covering GRID model and maps isolines wall. The authors present the advantages and disadvantages of each method considered in the optimization of the measurement method. The paper presents the findings, observations and proposals, which should have taken into account and improve. This work was done within the statutory research AGH No. 11.11.150.005.

Keywords: 3D polar survey, spatial resection forward, spatial intersection by angles technique, reflectorless measurement