

## UWAGI O WYKORZYSTANIU TACHIMETRÓW BEZLUSTROWYCH W INWENTARYZACJI ARCHITEKTONICZNEJ

### SOME REMARKS CONCERNING THE USE OF REFLECTORLESS TOTAL STATIONS FOR ARCHITECTURAL RECORDING

Hanna Klimkowska, Andrzej Wróbel

Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej,  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**SŁOWA KLUCZOWE:** inwentaryzacja architektoniczna, dokładność pomiaru, tachimetr, bezlustrawy pomiar odległości

**STRESZCZENIE:** W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój instrumentów wykorzystujących pomiar odległości bez konieczności stosowania luster. Przeprowadzono badania, które wykazały, że dokładność pomiaru odległości do płaskich i równych ścian wynosi około  $\pm 3$  mm. Z dotychczasowych doświadczeń stosowania takich tachimetrów w pomiarach inwentaryzacyjnych wynika, że pojawiają się problemy z dokładnością pomiaru narożników obiektu. Pomiar odległości odbywa się, bowiem za pomocą wiązki lasera, która daje na obiekcie plamkę o średnicy kilka do kilkudziesięciu mm w zależności od odległości. Odległość jest mierzona nie do punktu, a do pewnej powierzchni. Powoduje to błędy w pomiarze odległości do narożników. Z przeprowadzonych przez autorów badań wynika, że pomiar odległości do narożnika wklęsłego charakteryzuje się błędem systematycznym zmniejszającym wartość odległości o kilka mm (efekt zaokrąglenia narożnika). Pomiar narożników wypukłych jest obciążony podobnym błędem na plus, ale pod warunkiem, że cała wiązka lasera odbija się od bliskiego otoczenia narożnika. Jeżeli celujemy na narożnik tak, iż część wiązki trafia obok narożnika i odbija się od dalszych obiektów, błędy pomiaru odległości mogą wynosić od kilkunastu do kilkudziesięciu mm, a czasami nawet więcej.

#### 1. WPROWADZENIE

Dalmierze do pomiaru odległości bezpośrednio do powierzchni obiektu, bez użycia lustra czy też folii odbłaskowej, stosowane są od dłuższego czasu, ale ostatnio nastąpił ich szybki rozwój. Stosowane są zarówno w skanerach laserowych jak i niektórych typach tachimetrów. Dokładność pomiaru odległości bez użycia lustra umożliwia wykorzystanie tych przyrządów do inwentaryzacji architektonicznej. Wydaje się, że są one przydatne zarówno do bezpośredniego pomiaru danych do sporządzenia dokumentacji (Mierzwa *et al.*, 2003, Pazurkiewicz, 2005) jak i osnowy dla większości opracowań fotogrametrycznych (Boroń *et al.*, 2004). Doświadczenia zebrane przy wykorzystaniu tachimetrów z bezlustrowym pomiarem odległości wskazują, iż należy z pewną ostrożnością podchodzić do wyników pomiaru odległości. Przeprowadzono doświadczenia

mające wskazać niebezpieczeństwa związane z bezkrytycznym stosowaniem dalmierzy bezlustrowych.

## 2. CHARAKTERYSTYKA PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Tachimetry z bezlustrowym pomiarem odległości produkuje dziś wiele firm np. Leica, Topcon, Trimble. Według informacji producentów zapewniają one w dobrych warunkach pomiar odległości bez użycia lustra z dokładnością około 3÷5 mm przy zasięgu (w chwili obecnej) do około 1200 m.

Dokładność pomiaru kilku instrumentów firmy Leica sprawdzał Grzegorz Lenda (Lenda, 2005), ale wykorzystał w tym celu sztuczne powierzchnie imitujące naturalne. Z przeprowadzonych przez niego badań można wyciągnąć wniosek, że dla większości powierzchni, niezależnie od koloru i faktury wraz ze zmniejszającym się kątem padania dalmierz rejestruje mniejszą odległość. Dla kąta padania promienia większego niż pewien kąt graniczny ( $30^{\circ}$ ÷ $40^{\circ}$ ) uzyskiwana dokładność wynosiła 3÷5 mm. Stwierdził on również, że zasięg pomiaru zależy od faktury powierzchni (im bardziej gładkie tym większy), ich koloru (ciemne kolory, oraz niebieski i zielony zmniejszają zasięg) oraz od kąta padania promieni (im mniejszy – tym zasięg mniejszy). Podczas pomiarów zauważył on jeszcze kilka prawidłowości (Lenda, 2005):

- masy powietrza o różnej temperaturze mogą powodować, iż wyniki pomiarów odległości do tego samego celu będą różne, dlatego też należy unikać pomiaru z pomieszczeń na zewnątrz i odwrotnie;
- nie należy mierzyć przez powierzchnie przezroczyste, które załamują promień i zmieniają jego bieg, co może powodować pomiar nie oczekiwanego przez nas obiektu;
- zawilgocenie powierzchni, którą się mierzy, powoduje skrócenie zasięgu instrumentu.

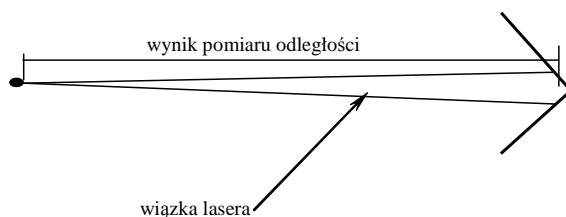
Postanowiono przeprowadzić dalsze badania (Klimkowska, 2006), aby określić rzeczywistą dokładność pomiaru odległości do powierzchni naturalnych, a także sprawdzić zachowanie się dalmierza w niektórych specyficznych dla pomiarów inwentaryzacyjnych warunkach. Szczególnie istotne było określenie dokładności pomiaru takich elementów jak narożniki i załamania ściany. Związane to jest z faktem, iż pomiar odległości odbywa się za pomocą wiązki lasera, która daje na obiekcie plamkę o średnicy zależnej od odległości. W tym celu wykorzystano jako pole testowe ścianę z dużą ilością okien. Pomiar wykonywano wewnątrz budynku, a jakość wykonania tynków dawała możliwość identyfikacji narożnika z dokładnością 1÷2 mm. Rzeczywiste położenie narożnika określano na podstawie pomiaru wcięciem kątowym wprzód i z nim porównywano wynik uzyskany na podstawie pomiaru biegunowego. Oprócz narożników z klasycznego tynku wykorzystano też elementy drewniane i lastrykowe.

## 3. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

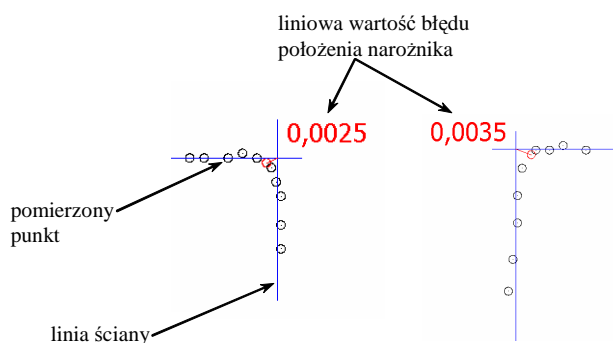
Jak już wspomniano najbardziej istotną sprawą analizowaną w przeprowadzonym eksperymencie było określenie zasad i dokładności pomiaru narożników obiektu. Pomiar odległości dalmierzem laserowym prowadzony jest za pomocą wiązki promieni. Przekrój

padającej na obiekt wiązki ma średnicę proporcjonalną do mierzonej odległości i wynoszącą od kilku do kilkudziesięciu mm. Uśrednianie mierzonej odległości powoduje pewną generalizację powierzchni pokrytej plamką lasera. Generalizacja ta ma oczywisty wpływ na dokładność pomiaru do elementów niepłaskich.

Narożniki możemy podzielić na wklęsłe i wypukłe. Wiadomo, że z powodu generalizacji mierzonej powierzchni na narożnikach wklęsłych wystąpi efekt ich zaokrąglenia (rys. 1).



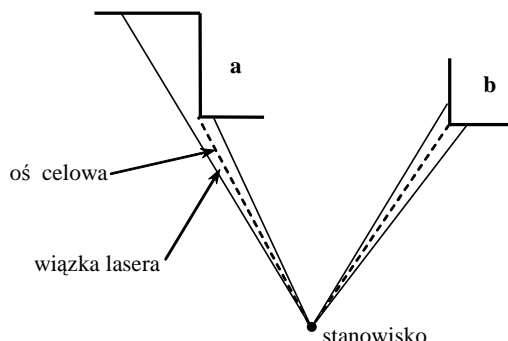
Rys. 1. Efekt zaokrąglenia narożnika wklęsłego przy pomiarze odległości



Rys. 2. Przykłady rozmieszczenia punktów pomiarowych dla narożników wklęsłych

W przeprowadzonych badaniach dla każdego narożnika oprócz samej krawędzi przecięcia ścian mierzono dodatkowo kilka punktów po jej lewej i prawej stronie. Umożliwiły one aproksymację położenia płaszczyzn ścian. Przykładowy obraz pomierzonych punktów dla dwóch narożników wklęsłych przedstawiono na rysunku 2. Przeprowadzona analiza pomiaru kilkunastu narożników wklęsłych wykazała, że wpływ generalizacji mierzonej powierzchni jest niewielki i powoduje skrócenie odległości o wartość od 2 do 6 mm.

Dla narożników wypukłych sprawa się nieco komplikuje. Wiązka lasera może się, bowiem cała odbić od narożnika lub tylko część wiązki może trafić w narożnik, a reszta odbije się od elementów położonych w dalszej odległości. Zależy to od wzajemnego położenia stanowiska pomiarowego i punktu, na który celujemy. Sytuacje te przedstawiono na rysunku nr 3.

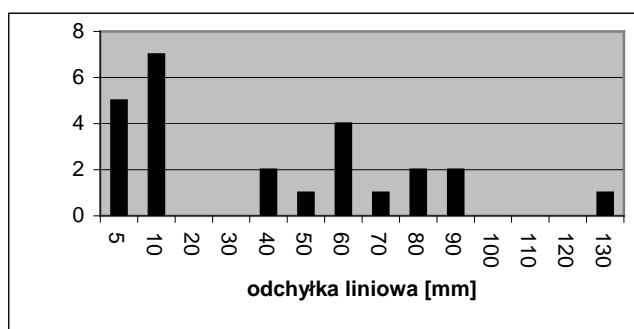


Rys. 3. Różne sposoby celowania na narożnik wypukły

Jeżeli cała wiązka lasera odbije się od bliskiego otoczenia narożnika (rys. 3b) nastąpi uśrednienie odległości z całej powierzchni plamki. Spowoduje to powiększenie wartości mierzonej odległości. W przeprowadzonym eksperymencie otrzymano średnią wartość odchyłki liniowej spowodowanej tym błędem 2 mm a największa wynosiła niecałe 6 mm.

Gdy część wiązki lasera omija narożnik (rys. 3a) to błąd pomiaru odległości przeważnie wyraźnie wzrasta. Sprawdzono dokładność pomiaru dla dwudziestu pięciu punktów. Na rysunku 4 przedstawiono histogram rozkładu odchyłek. Jak widać dwanaście odległości czyli prawie połowa pomierzona była z błędem mniejszym niż 10 mm, w tym pięć z błędem mniejszym od 5 mm. Wiele odległości pomierzono jednak z błędem znacznie większym, stąd średnia wartość odchyłki wynosiła 36 mm, a wartość maksymalna aż 126 mm. Wszędzie tam gdzie wartość błędu była większa od kilku mm pomierzona odległość była dłuższa niż obliczona z wcięcia w przód.

Próbowano odkryć, od jakich czynników zależy wartość błędu, jednak stwierdzono tylko częściową zależność od kąta padania promienia lasera na ścianę. Im większy kąt padania tym często wartość odchyłki była większa. Dla ponad połowy odległości zależność ta nie była jednak spełniona.



Rys. 4. Histogram rozkładu odchyłki liniowej dla punktów, dla których wiązka lasera częściowo omijała cel

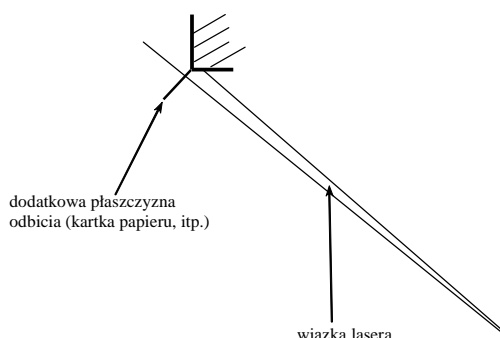
Opisane wyżej pomiary przeprowadzono dla narożników ściany z klasycznego tynku. Postanowiono sprawdzić też jak to wygląda dla innych materiałów. Pomierzono, więc kilka narożników ściany drewnianej oraz ściany pokrytej lastriko. Dla ściany drewnianej wyniki były podobne jak dla ściany pokrytej tynkiem. Dla ściany pokrytej lastriko w przypadku, gdy część wiązki omijała cel stwierdzono błędy dochodzące do wartości ponad 1.5 m. Prawdopodobnie wysoka gładkość lastriko powodowała, iż przy małym kącie padania odbicie wiązki w kierunku instrumentu było nikłe, a dominowało odbicie części wiązki mijającej narożnik od ściany która znajdowała się około 1.5 m dalej.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zasięg pomiaru odległości bez konieczności stosowania lustra wynosi w najnowszych instrumentach, co najmniej kilkaset metrów. Ponieważ w inwentaryzacji architektonicznej z reguły spotykamy się z koniecznością pomiaru odległości rzędu kilkudziesięciu metrów to ograniczenia związane z fakturą i kolorem mierzonych powierzchni nie są w większości wypadków istotne.

Również pod względem dokładności pomiaru odległości sprzęt ten w zasadzie jest zupełnie wystarczający. Zgodnie z wytycznymi technicznymi dotyczącymi inwentaryzacji architektonicznej (Wytyczne G-3.4, 1981) dla obiektów w dobrym stanie dokładność pomiaru inwentaryzacyjnego powinna wynosić  $1 \div 2$  cm. Dokładność pomiaru odległości sprawdzona na symulowanych jak i rzeczywistych powierzchniach spotykanych w budownictwie mieści się w granicach  $3 \div 5$  mm, co jest w zupełności wystarczające. Należy zachować szczególną ostrożność podczas pomiaru narożników ścian. Koniecznym jest, aby wiązka lasera w całym swym przekroju odbijała się od bliskiego otoczenia mierzonego punktu. Jeżeli część wiązki omija cel i odbija się w innej odległości można spodziewać się dużych błędów. Stwierdzono częste występowanie błędów rzędu kilkudziesięciu milimetrów, a czasami nawet kilkudziesięciu centymetrów. Przy bardzo gładkich materiałach (lastriko, marmur) przy małych kątach padania promienia lasera mogą wystąpić bardzo duże błędy. W naszych badaniach uzyskano nawet pomiar odległości różniący się od rzeczywistej wartości w granicach 1.5 m. Dokładność pomiaru narożników w niektórych przypadkach można podnieść przykładając do nich coś płaskiego (na przykład kawałek kartki papierowej) tak, aby część wiązki lasera omijająca cel odbiła się od kartki (rys. 5). Jeżeli jest to niemożliwe można zmierzyć odległość nie celując dokładnie na narożnik, ale tuż obok tak, aby wiązka całym przekrojem trafiła na ścianę.

Tachimetry z bezlustrowym pomiarem odległości można również wykorzystać do pomiaru osnowy fotogrametrycznej. Dokładność określenia położenia fotopunktów musi być wyższa niż dokładność samego pomiaru inwentaryzacyjnego, ale błąd w granicach kilku milimetrów jest w zupełności dopuszczalny. Najlepiej, jeżeli fotopunkty będą sygnalizowane przez mocowane do powierzchni ścian znaczkami. Najlepiej byłoby gdyby rozmiar znaczka był wyraźnie większy od wielkości plamki lasera. Często w miejscach niedostępnych nie nakleja się znaczków, lecz wybiera szczegóły sytuacyjne jako fotopunkty. Pomiar takich fotopunktów wygodniej jest wykonać za pomocą tachimetru z bezlustrowym pomiarem odległości, niż za pomocą tradycyjnie stosowanej metody wcięć przestrzennych w przód.



Rys. 5. Umożliwienie odbicia całej wiązki lasera od najbliższego otoczenia narożnika

Przy pomiarze metodą wcięć często jest dużym problemem fakt, że szczegóły widzimy z różnych stanowisk pod zupełnie innym kątem. Może to spowodować trudności w rozpoznaniu tego samego miejsca i co za tym idzie obniżyć dokładność pomiaru. Wykorzystanie pomiaru biegunowego, zwłaszcza przy usytuowaniu stanowiska instrumentu w pobliżu bazy fotogrametrycznej, pozwoli podnieść dokładność identyfikacji tego samego szczegółu na stereogramie (fotogramie) i przez lunetę tachimetru.

Podsumowując można stwierdzić, że pomiar odległości bez użycia lustra jest bardzo przydatny w inwentaryzacji architektonicznej, zarówno przy pomiarze geometrii obiektu jak i przy pomiarze osnowy fotogrametrycznej. Należy jednak zwracać uwagę przy celowaniu na niepłaskie elementy (np. narożniki ścian lub fotopunkty naturalne), aby uzyskać wystarczającą dokładność pomiaru odległości.

## 5. LITERATURA

Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2004. Kompleksowa, cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna wzgórza zamkowego w Rabsztynie koło Olkusza. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 14, s. 97-109.

Klimkowska H. 2006. Wykorzystanie tachimetrów z bezlustrowym pomiarem odległości do inwentaryzacji architektonicznej. Praca dyplomowa AGH Kraków 2006.

Lenda G., 2005. Zastosowanie funkcji sklepanych w zautomatyzowanym procesie geodezyjnej kontroli kształtu powierzchni obiektów budowlanych. *Rozprawa doktorska*, AGH Kraków 2005

Mierzwa W., Rzonca A., 2003. Skanowanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13B, s. 427-434.

Pazurkiewicz A., 2005. Skanowanie laserowe skanerem trimble gs200 w dokumentowaniu złożonych obiektów zabytkowych na przykładzie kaplicy mariackiej na Wawelu. Praca dyplomowa, AGH Kraków 2005.

Wytyczne techniczne G-3.4 Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury. GUGiK 1981.

Artykuł został opracowany w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.459.

## **SOME REMARKS CONCERNING THE USE OF REFLECTORLESS TOTAL STATIONS FOR ARCHITECTURAL RECORDING**

**KEY WORDS:** object documentation, accuracy of distance measurement, total station, reflectorless distance measurement

### **Summary**

In recent years, there has been rapid progress of instruments which are able to measure distance without using reflectors. This method of measurement has been adopted in laser scanners and in some total stations. The range of distance measurement, as well as its accuracy, make it useful for architectural measuring purposes. According to the producers' information, the accuracy of distance measurement with reflectorless total stations varies between 3 and 5 mm, with the range of measurement up to 1 200 m. The accuracy of object documentation required by Polish technical standards (G-3.4) is 1÷3 cm (for well-preserved objects) – thus, the usage of reflectorless total stations fulfills the accuracy requirements.

Experiments using reflectorless total stations in architectural documentation measurements show some problems with pointing onto the wall-corner points. The distance measurement take place with a laser bundle, which illuminates a spot on the object's surface. The size of the spot is a dozen or so for 50m distance from object, and it increases along with the distance from the object. This means that the resulting measuring distance is the average of the spot surface distances. When the measuring point is the corner of a wall, such an average distance does not match the proper corner point distance. There are two cases of corners (convex or concave corner) and the results of measurements are different for both of them. In case of concave corners, the average distance of the spot is smaller than the real corner distance. The test measurements shows, that this difference is not greater than a few millimeters. Such a difference can be disregarded. The worse case is with convex corners – part of the spot can touch further objects, so the result can differ more, from over a dozen up to several dozen millimeters (max. 130 mm). In such cases, a good solution could be achieved with a proper method of pointing – the whole spot should touch the wall, close to the corner.

The result of test measurements (with the execution of pointing requirements) gives the standard deviation of the measured distance ca  $\pm 3$  mm. Such accuracy proves that reflectorless total stations can be used not only for direct documentation measurements, but also for determination of photogrammetric control points (signalized or not).

Mgr inż. Hanna Klimkowska  
e-mail: difenbaker@o2.pl

Dr inż. Andrzej Wróbel  
e-mail: awrobel@agh.edu.pl  
tel. +12 6173826