

Michał Strach*

Wykorzystanie tachymetrów bezreflektorowych do inwentaryzacji składowisk materiałów sypkich**

1. Wprowadzenie

Nieodłącznym elementem krajobrazu zakładów przemysłowych są przyzmy, na których składowane są materiały sypkie. Najczęściej są to surowce hutnicze i odpady przemysłowe. Składowiska materiałów sypkich podlegają okresowej inwentaryzacji. Jej celem jest dostarczenie informacji o rodzaju, rozmieszczeniu przestrzennym i objętości składowanych materiałów. Pomiary inwentaryzacyjne mogą być wykonywane dowolną metodą geodezyjną lub techniką fotogrametryczną z założeniem uzyskania wymaganych dokładności podanych w Instrukcji geodezyjnej resortu przemysłu ciężkiego [2]. Pojawienie się tachymetrów bezreflektorowych, wykorzystujących widzialną wiązkę dalmierza laserowego, umożliwiło usprawnienie dotychczasowego sposobu pomiaru składowisk poprzez zmniejszenie nakładów pracy oraz czasu pomiaru. Celem badań doświadczalnych opisanych poniżej było sprawdzenie, w jakim stopniu możliwe jest wykorzystanie tachymetrów wyposażonych w bezreflektorowe dalmierze laserowe do pomiarów składowisk surowców i odpadów przemysłowych.

Obecnie wszyscy producenci tachymetrów elektronicznych mają w swojej ofercie tachymetry bezreflektorowe. Najbardziej zaawansowane konstrukcje dalmierzy pozwalają na pomiar ponadkilometrowych odległości bez użycia reflektorów pryzmatycznych czy folii odbłaskowych. W ofercie firmy Topcon znajduje się model GPT-9000A o największym zasięgu dalmierza bezreflektorowego. Umożliwia on pomiar odległości do 250 m z dokładnością 5 mm w trybie standardowym. Wybór opcji „Long” umożliwia pomiar odległości dochodzących do 2000 m z dokładnością 10 mm + 10 ppm [6]. Należy jednak zaznaczyć, że informacje o największym zasięgu dalmierzy laserowych, jakie można znaleźć w materiałach reklamowych oferowanych przez producentów, odnoszą się do pomiaru w optymalnych warunkach.

* Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca finansowana z badań statutowych nr 11.11.150.312 w 2006 r.

Zwykle tak daleki zasięg pomiaru można uzyskać, celując o zmroku lub świcie na cel biały, suchy i gładki.

Badania zasięgu oraz dokładności dalmierzy tachymetrów firmy Leica: TCRA 1102+ oraz TCR 303 przeprowadził G. Lenda [4]. Wykonał on pomiary dla siedmiu rodzajów materiałów reprezentujących najczęściej spotykane w praktyce geodezyjnej powierzchnie.

Niniejszy artykuł rozszerza wachlarz testowanych tachymetrów firmy Leica o model TCR 407 power (rys. 2a). Charakteryzuje się on dokładnością pomiaru kąta wynoszącą 7", zaś wybrane parametry techniczne dalmierza bezreflektorowego przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka dalmierza bezreflektorowego tachymetru TCR 407 power

Dokładność	3 mm + 2 ppm
Zasięg pomiaru	1,5 m do 170 m
Czas pomiaru: – tryb dokładny – tryb tracking	3 s + 1 s/10 m > 30 m 1 s + 0,3 s/10 m > 30 m
Typ	widoczny laser czerwony
Długość fali nośnej	0,670 μm
Rozmiar plamki lasera na 50 m	ok. 10 × 20 mm

Źródło: [3]

Dodatkowo w testach terenowych opisywanego tachymetru wykorzystano kilkanaście próbek najczęściej składowanych surowców. Weryfikacją wniosków wyciągniętych podczas testów terenowych było przeprowadzenie dwukrotnych pomiarów tachymetrycznych hałdy ziemi, znajdującej się na terenie parku Jordana w Krakowie. Objętość składowiska wyznaczano różnymi metodami obliczeniowymi.

2. Technologia testowania dalmierza tachymetru i analiza wyników

Sposoby testowania instrumentów geodezyjnych są określone w normach ISO ustalonych przez Międzynarodowy Komitet Normalizacyjny. Zbiór norm ISO 17123 *Optyka i instrumenty optyczne – Procedury terenowe do badania instrumentów geodezyjnych i terenowych* składa się z siedmiu części. Są one sukcesywnie wprowadzane do Polskich Norm przez Polski Komitet Normalizacyjny. Część 4 dotyczy testowania dalmierzy elektrooptycznych (PN-ISO 17123-4). Normy regulują procedury testowania instrumentów. Dopuszczają jednak przyjęcie własnego programu obserwacji z założeniem posiadania odpowiedniej wiedzy w zakresie statystyki matema-

tycznej. W zależności od sposobu wykonania pomiarów oraz rodzaju posiadanego sprzętu można rozróżnić testowanie szczegółowe, wykonywane przez instytucje takie jak uczelnie wyższe czy instytuty naukowo-badawcze oraz testowanie użytkowe, wykonywane przez użytkowników instrumentów geodezyjnych [5]. Na potrzeby niniejszego opracowania określono własną procedurę testową.

Testy dalmierza tachymetru TCR 407 power polegały na sprawdzeniu jego możliwości pomiarowych w trybie bezreflektorowym (RL). Starano się określić wpływ rodzaju powierzchni oraz stopnia jej zawilgocenia na zasięg i dokładność pomiaru odległości. W tym celu dobrano reprezentatywną próbkę materiałów spotykanych najczęściej na składowiskach surowców. Dodatkowo wykonano testy do soli, gdyż ten materiał występuje podczas pomiarów inwentaryzacyjnych komór i chodników w kopalniach soli. Natomiast beton, granit i piaskowiec, dla których także wykonano testy, znajdują powszechne zastosowanie w budownictwie. Łącznie wybrano 19 surowców, w których skład wchodziły: surowce skalne (A – porfir, B – granit, C – wapień bolechowicki, D – zlepieniec zygmunowski, E – diabaz, F – wapień plamkowy, G – wapień organometryczny, H – piaskowiec, I – marmur dolomitowy, J – gabra, P – łupek), beton (K), sól kamienna (L), rudy (O – ruda miedzi z piaskowcem, R – ruda żelaza, W – ruda cynku i ołowiu) oraz węgle (S – węgiel brunatny detrytowy, T – węgiel kamienny sapropelowy, U – węgiel kamienny humusowy). Materiały te różniły się między sobą przede wszystkim barwą oraz fakturą. Niektóre z nich przedstawiono na rysunku 1.



F – wapień plamkowy



H – piaskowiec



I – marmur dolomitowy



L – sól kamienna



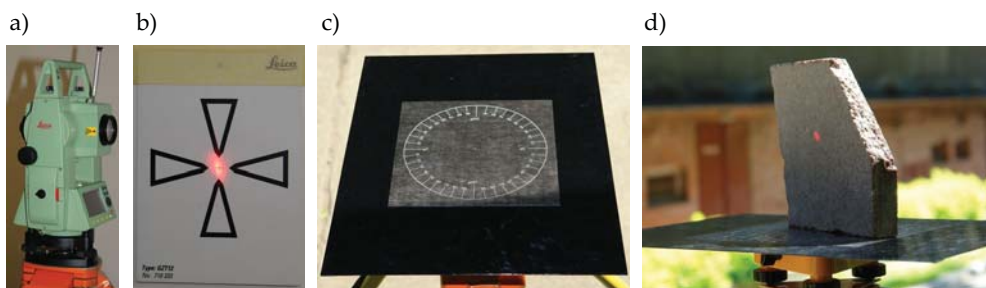
R – ruda żelaza

S – węgiel brunatny
detrytowyT – węgiel kamienny
sapropelowyW – ruda cynku
i ołowiu

Rys. 1. Fotografie niektórych surowców biorących udział w testach

Testowane surowce dobierano w taki sposób, aby ich powierzchnie były płaskie i wystarczająco duże. Dzięki temu kształt kamienia nie miał wpływu na kąt padania i odbicia wiązki lasera.

Przy pomiarze dużych odległości każde odchylenie wiązki lasera czerwonego od osi celowej, może prowadzić do obniżenia dokładności pomiaru. Przyczyną takiej sytuacji jest odbicie wiązki lasera w innym miejscu niż cel wskazany przez krzyż kresek lunety. Ponieważ stwierdzono odchylenie wiązki lasera od osi celowej lunety w granicach 1 cm, przeprowadzono jej rektyfikację z wykorzystaniem tarczy celowej (rys. 2a, b).



Rys. 2. Rektyfikacja dalmierza (RL) tachymetru TCR 407 power (a) i jej widoczny efekt; stolik pomiarowy na statywie (c); surowiec podczas testów terenowych (d)

Przed przystąpieniem do testów wykonany został stolik pomiarowy o wymiarach 33 cm × 40 cm. Składał się on z płyty metalowej z centrycznie przymocowanym na spodniej stronie trzpieniem do osadzenia w spodarce firmy Zeiss. Na zewnątrz płyta została pokryta czarną folią samoprzylepną. Zawierała ona także naniesiony podział o interwale 10 gradów (rys. 2c). Stolik był każdorazowo poziomowany i ustawiany w taki sposób, aby próbki surowców znalazły się na wysokości osi obrotu lunety tachymetru. Testowane materiały były obracane w trakcie pomiarów względem osi celowej instrumentu (rys. 2d) [1].

Dla każdej próbki wykonano serię pomiarów na bazach o długości 20 m, 50 m, 75 m, 100 m oraz 150 m. Testowano możliwość oraz czas pomiaru w trybie bezreflektorowym dla dziesięciu kątów padania wiązki lasera na powierzchnię surowca (od 100 do 10 gradów). Przyjęto, że wartość 100 gradów odpowiada położeniu, w którym wiązka lasera pada na płaszczyznę surowca pod kątem prostym. Pomiar dla każdego kąta padania wykonano sześciokrotnie. Wszystkie testy przeprowadzono w miejscach zacienionych. Sprawdzono również zasięg pomiaru tachymetrem TCR 407 power w wypadku mokrych i suchych powierzchni. Dla każdej długości bazy określono odległość odniesienia niezbędną do porównań w analizach statystycznych. Traktowano ją jako odległość wzorcową, do której porównywano otrzymane

wyniki. Odległości odniesienia pomierzono za pomocą reflektora pryzmatycznego z dokładnością 2 mm+2 ppm. W efekcie, przy pięciu długościach bazy, dziewiętnastu rodzajach próbek o dwóch rodzajach wilgotności powierzchni, dziesięciu kątach skreślenia próbki, sześciokrotnym jej pomiarze przy danym ustawieniu i sześciokrotnym pomiarze odległości wzorcowej, otrzymano ponad dziesięć tysięcy obserwacji. Pełne zestawienie wyników nie było możliwe ze względu na ograniczoną objętość niniejszej pracy. W celu uzyskania większej czytelności opisów analiz nie podano faktycznych długości baz, lecz posłużono się wartościami zaokrąglonymi tj., 20 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m. Odległości odniesienia dla obserwacji prowadzonych do powierzchni suchych (S) i mokrych (M) różniły się między sobą, oscylowały jednak wokół wartości wzorcowych. We wszystkich analizach statystycznych brano pod uwagę przejrzystość wyników, dlatego posługiwano się różnicami odległości wzorcowych względem otrzymanych z próby. Tabela 2 zawiera przykładowe wartości średnie (\bar{S}) i odchylenia standardowe (odch. stand.) z próby dla wybranych baz pomiarowych. Puste komórki w tabeli 2 oznaczają przypadki, w których pomiar odległości do surowca zakończył się niepowodzeniem. Do wykonania poniższych zestawień oraz analiz statystycznych posłużono się programem Statistica.

Na podstawie danych zawartych w tabeli 2 można zauważyć, że odchylenia standardowe w zdecydowanej większości przypadków nie przekraczają 3 mm. Wyniki te potwierdzają dokładność dalmierza (RL) podawaną przez producenta w specyfikacji technicznej. Odchylenia większe od 3 mm, uzyskane w przypadku kilku obserwacji, spowodowane zostały skrajnie ostrym kątem padania wiązki lasera na płaszczyznę surowca oraz błędami wynikającymi z odchylenia płaszczyzny surowca od pionu. Zauważyć można także wzrost średnich różnic w miarę skręcania materiału. Inny jest jedynie jego stopień. Niemal wszystkie różnice nie przekraczają kilkunastu milimetrów. Największą, równą -50 mm, odnotowano dla rudy miedzi z piaskowcem (O). Był to pomiar na bazie 20 m, dla powierzchni mokrej przy krańcowo niekorzystnym kącie pomiaru wynoszącym 10 gradów. Zaobserwowano również, że w przypadku krótkich baz oraz prostopadłych celowych wyniki są na podobnym poziomie, zarówno dla suchych jak i mokrych surowców. Wraz ze wzrostem odległości oraz malejącym kątem pomiędzy wiązką lasera a płaszczyzną celowania, zwiększa się różnica w otrzymanych wynikach pomiędzy suchymi i mokrymi surowcami.

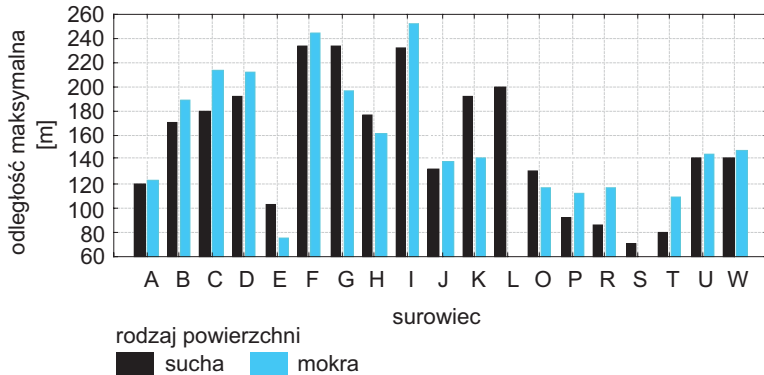
W trakcie badań dalmierza bezreflektorowego sprawdzono także możliwość uzyskania maksymalnego zasięgu. Podczas pomiarów starano się zachować prostopadłość osi celowej do mierzonej powierzchni. Maksymalny zasięg (250 m) osiągnięto dla mokrej powierzchni marmuru dolomitowego (I). Najmniejszą odległość pomierzono do suchego węgla brunatnego (S). Wyniosła ona 70 m. Wykres zasięgów przedstawia maksymalne odległości pomierzone do surowców z rozróżnieniem na suche i mokre próbki (rys. 3).

Tabela 2. Wybrane wyniki testów dalmierza bezreflektorowego na bazach o dł. 20 m, i 75 m (wartości podane w milimetrach)

Baza – 20 m																
Kąt [^o]	wapień plamkowy (F)				ruda żelaza (R)				węgiel brunatny detrytowy (S)				węgiel kamienny sapropelowy (T)			
	S		M		S		M		S		M		S		M	
	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.	śr.	odch. stand.
100	-2	0	0	1	-4	1	-2	1	-3	1	-1	1	-7	1	-3	1
90	-2	1	0	1	-5	0	-1	1	-5	1	1	1	-7	1	-3	1
80	-2	0	0	1	-3	1	-2	1	-5	1	-3	1	-7	1	-4	1
70	-2	0	0	1	-5	1	-1	1	-4	1	-3	1	-8	1	-7	1
60	-3	0	0	2	-5	0	-2	2	-6	0	-1	2	-7	1	-9	1
50	-2	0	0	0	-5	1	-2	2	-3	1	-1	1	-7	0		
40	-2	1	0	1	-8	1	-2	2	-1	1	0	3	-8	1		
30	-4	0	1	1	-9	1	-7	2	-7	1	-1	4	-11	0		
20	-4	0	2	1	-10	1	-14	2	2	3	-11	5	-18	1		
10	-12	3	3	1	-20	0			-22	4			-27	1		
Baza – 75 m																
100	-1	0	-1	0	-12	2	-8	1					-17	1	-9	1
90	-2	1	2	1	-9	2	-13	2							-20	2
80	-2	1	2	1	-11	2										
70	-2	0	4	1	-12	2										
60	-2	1	6	1	-11	2										
50	-2	1	8	1	-12	2										
40	-3	1	9	1												
30	-5	1	10	1												
20	-5	1	13	1												
10	-11	2														

Na podstawie wykonanych badań zaobserwowano, że lepsze wyniki pomiaru można uzyskać w przypadku surowców jasnych, gładkich, mokrych i dobrze odbijających wiązkę lasera. Największą różnicę w zasięgu: tachymetr – powierzchnia sucha i tachymetr – powierzchnia mokra otrzymano w przypadku węgla ka-

miennego (T). Wynosiła ona aż 36%. Surowce, dla których lepsze wyniki otrzymano podczas pomiaru do powierzchni suchej, cechowały się dużą porowatością, a tym samym możliwością absorpcji wody. Przykładem może być tutaj wapień organometryczny (G), piaskowiec (H), beton (K) lub węgiel brunatny (S).

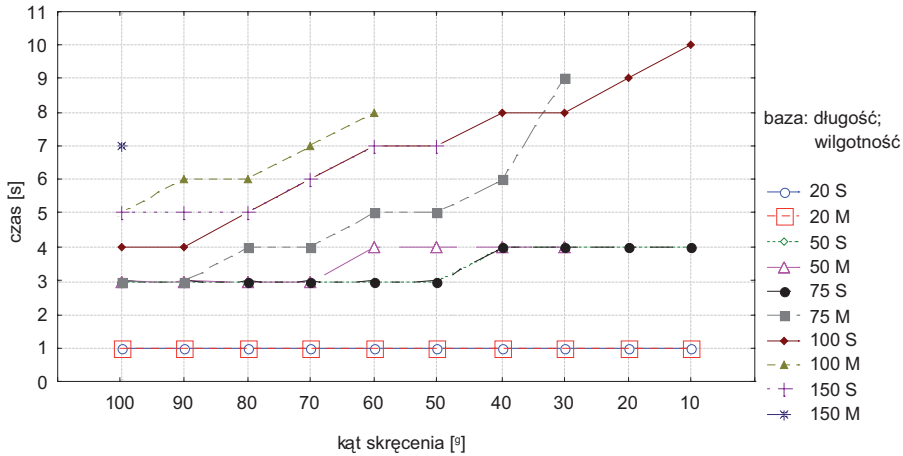


Rys. 3. Wykres zasięgów

Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na możliwość pomiaru był kolor surowców. Generalnie większe zasięgi uzyskano dla próbek jasnych. Wśród nich należy wymienić: wapień bolechowicki (C), wapień płamkowy (F) i marmur dolo-mitowy (I). Zasięg pomiaru utrzymywał się dla nich na poziomie o wiele wyższym niż podawany w specyfikacji technicznej. Sięgał on powyżej 200 metrów. Relatywnie słabsze wyniki uzyskano dla próbek ciemnych, takich jak diabaz (E), węgiel brunatny (S) i węgiel kamienny (T). Zakres pomiarowy odległości do ww. materiałów dochodził do 80 m.

W trakcie pomiarów testowych mierzono także czas niezbędny do pomiaru odległości przez tachymetr. Brano pod uwagę zarówno kąt skreńcenia wiązki, jak i stan wilgotności surowca (suchy – S, mokry – M). Na rysunku 4 przedstawiony został przykładowy wykres tych zależności dla piaskowca (H).

W większości przypadków wnioski wyciągnięte z analizy wykresów dla jednego surowca można stosować w odniesieniu do pozostałych próbek. Na rysunku 4 wykresy wyraźnie ukazują, że tylko dla najkrótszej – dwudziestometrowej bazy, kąt skreńcenia oraz stan wilgotności piaskowca nie mają wpływu na czas realizacji pomiaru. Jednocześnie przy tej długości bazy pomiar trwał najkrócej i wyniósł 1 sekundę. Dla pozostałych baz czas pomiaru był dłuższy. W przypadku 100-metrowej bazy i suchej próbki długości zmierzono przy wszystkich kątach skreńcenia w czasie od 4 s do 10 s. Ten najdłuższy czas odnosi się do pomiaru przy najbardziej niekorzystnym kącie padania wiązki wynoszącym 10 gradów. Czas 10 s osiąga jednocześnie graniczną wartość potrzebną na zrealizowanie pomiaru na odcinku 100 m. Norma podawana przez produ-



Rys. 4. Wykres zależności czasu pomiaru od kąta skręcenia i wilgotności dla piaskowca (H)

centa sprzętu określona jest jako $3 \text{ s} + 1 \text{ s}/10 \text{ m} > 30 \text{ m}$. W wypadku pozostałych próbek tylko w nielicznych przypadkach czas pomiaru przekroczył wartości graniczne podawane w specyfikacji technicznej. Maksymalną wartość (13 s) osiągnięto dla suchego marmuru dolomitowego (I), mierzonego na 100-metrowej bazie przy kącie skręcenia równym 10 gradów. Wykresy ilustrują zależność odwrotnie proporcjonalną pomiędzy czasem pomiaru a kątem padania wiązki lasera. Dla dłuższych baz wyraźna jest też różnica w czasie pomiaru odległości do próbek o różnej wilgotności. W zdecydowanej większości przypadków pomiar odległości do surowców mokrych trwa dłużej.

W podsumowaniu testów terenowych przeprowadzono także analizy odnoszące się do liczby wykonanych pomiarów, które nie były jednakowe dla poszczególnych próbek. Przeważająca liczba pomiarów możliwa była dla suchych surowców. Rekordowym pod względem liczby zarejestrowanych odległości przy wszystkich możliwych konfiguracjach okazał się wapień organometryczny. Dla tego surowca zarejestrowano 558 obserwacji z 600 możliwych, co stanowi 93-procentową skuteczność. Próbką o najmniejszych zdolnościach odbijania czerwonej wiązki lasera bezreflektorowego był węgiel kamienny humusowy, dla którego zarejestrowano zaledwie 23-procentową efektywność.

3. Zastosowanie tachymetru bezreflektorowego do inwentaryzacji składowisk surowców

Możliwości dalmierza bezreflektorowego tachymetru TCR 407 power w pracach inwentaryzacyjnych zweryfikowano na podstawie pomiaru tachymetrycznego hałdy ziemi. Obiektem bezpiecznym, powszechnie dostępnym i położonym

w niedalekim sąsiedztwie Akademii Górniczo-Hutniczej, który reprezentował składowisko surowców, była górka znajdującą się na terenie parku Jordana w Krakowie (rys. 5). Jest to hałda ziemi pełniąca funkcję góry rekreacyjnej. Obiekt ten ma około: 9 m wysokości, 100 m długości, 30 m szerokości oraz 320 m obwodu podstawy.

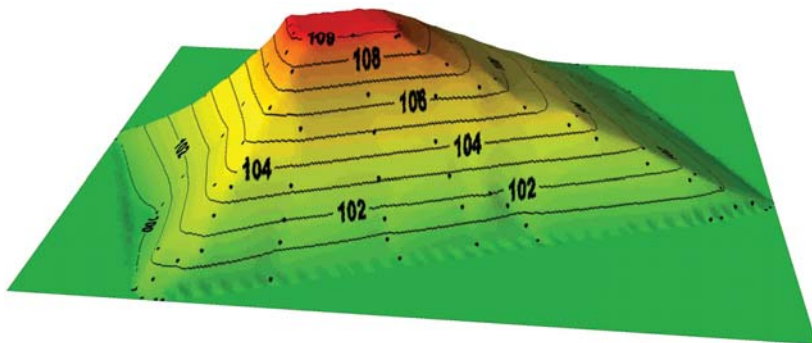


Rys. 5. Widok mierzonego obiektu od strony stoku północnego

Pomiary przeprowadzono dwukrotnie, w dniach 13 i 15 maja 2006 r. Inwentaryzowany obiekt był porośnięty trawą. Dodatkowo na stoku zachodnim rosły drzewa utrudniające pomiar. Znając wartości ciśnienia, temperatury i wilgotności, określono poprawkę atmosferyczną do pomierzonych odległości. Opierając się na doświadczeniu zdobytym podczas testów terenowych dalmierza, starano się osiągnąć najbardziej optymalne warunki pomiaru. Stanowiska pomiarowe dobierano w taki sposób, aby w miarę możliwości uzyskać prostopadłość kąta padania wiązki lasera na powierzchnię obiektu. Długości celowych zarówno w pierwszym, jak i drugim pomiarze nie przekroczyły 82 m.

W ramach przygotowań do pomiaru obiektu założono wokół niego osnowę pomiarową. Był to pięciopunktowy ciąg poligonowy zamknięty, złożony z odcinków o długościach 86–136 m. Dodatkowo założono pięć stanowisk swobodnych. Współrzędne tych stanowisk wyznaczono na podstawie wcięć kątowno-liniowych do punktów założonej osnowy. W następnej kolejności przystąpiono do pomiaru tachymetrycznego hałdy ziemi. Obiekty tego typu, ze względu na swój kształt, mierzy się wzdłuż określonych południków lub równoleżników. Pomiar drugi opisywanej hałdy różnił się od poprzedniego większym zagęszczeniem punktów rozmieszczonych wzdłuż południków pokrywających obiekt. Następnie w ramach prac kameralnych obliczono współrzędne przestrzenne punktów osnowy i inwentaryzowanego obiektu w lokalnym układzie współrzędnych prostokątnych. Uzyskane współrzędne pozwoliły na utworzenie numerycznego modelu terenu i wizualizację obiektu. W tym celu skorzy-

stano z programu Surfer (rys. 6). Na rysunku oprócz samego obiektu umieszczono punkty celowania z pomiaru drugiego oraz warstwicę z cięciem o wartości 1 metra.



Rys. 6. Widok hałdy ziemi od strony południowo-wschodniej (pomiar II z 15.05.2006 r.).

Obliczone współrzędne obiektu posłużyły także do wyznaczenia objętości mas ziemnych zalegających na hałdzie. Wysokość płaszczyzny ograniczającej obiekt od dołu obliczono jako średni poziom terenu na podstawie wysokości dolnych, brzegowych punktów hałdy ziemi. Średni poziom terenu dla pierwszego pomiaru wyniósł 100,032 m, zaś dla drugiego pomiaru odpowiednio 100,042 m. Do obliczenia objętości obiektu wykorzystano cztery programy komputerowe. W programie MicroStation objętość wyznaczono na podstawie mapy warstwicowej hałdy metodą izol linii nazywanej również metodą przekrojów poziomych. Program Winkalk dysponuje algorytmem podziału obszaru na siatkę trójkątów. Natomiast w programach C-Geo i Surfer wykorzystano metodę siatki prostokątów.

Wyznaczone w poszczególnych programach objętości zestawiono w tabeli 3. Zawiera ona wyniki z obydwu pomiarów, a także ich różnice wyrażone w metrach sześciennych i procentach objętości. Przy obliczeniach tych ostatnich brano mniejszą wartość objętości uzyskaną z pomiaru pierwszego i drugiego. Wyniki wskazują, że najmniejsze różnice w objętości pomiędzy pomiarami otrzymano wykonując obliczenia metodą izol linii. Wynoszą one zaledwie 0,7%. Największe różnice dotyczą metody siatki prostokątów w programie Surfer. Różnica ta wynosi 1,9%.

Porównań dokonano także w zakresie algorytmów obliczeniowych dostępnych w oprogramowaniu. Największa różnica w obliczonych objętościach w wypadku pomiaru pierwszego zachodzi pomiędzy metodą izol linii (MicroStation) i siatki prostokątów (C-Geo). Wyniosła ona 322,83 m³, co stanowi 1,6% objętości. Podobnie w odniesieniu do pomiaru drugiego – największa rozbieżność występuje pomiędzy wspomnianymi już programami i wynosi 513,9 m³, co stanowi 2,6% objętości.

Tabela 3. Wykaz objętości i ich różnic z obydwu pomiarów

Oprogramowanie	Pomiar I 13.05.2006 r. [m ³]	Pomiar II 15.05.2006 r. [m ³]	Różnica w pomiarach I i II	
			[m ³]	[%]
MicroStation (izolinie)	19540,54	19684,46	143,92	0,7
Winkalk	19706,04	19982,42	276,38	1,4
C-Geo	19863,37	20198,33	334,96	1,7
Surfer	19549,93	19927,72	377,79	1,9

We wszystkich omawianych przypadkach, bez względu na stosowany algorytm obliczeń, różnice objętości nie przekroczyły 3%. Także rozbieżności w objętościach pomiędzy pomiarami nie przekroczyły 2%. Dokładność określenia objętości, podana w Instrukcji geodezyjnej resortu przemysłu ciężkiego [2], nie powinna być mniejsza niż: $\pm 2\%$ do $\pm 3\%$ dla surowców oraz $\pm 5\%$ dla odpadów przemysłowych. Na podstawie porównań uzyskanych wyników z normami można sformułować wniosek, że możliwe jest określenie objętości z dokładnością wymaganą dla tego typu obiektu.

4. Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu było sprawdzenie przydatności tachymetru bezreflektorowego TCR 407 power do pomiaru składowisk materiałów sypkich. Terenowe testy instrumentu prowadzone dla 19 próbek surowców dostarczyły obszernego materiału, wykorzystanego podczas analiz statystycznych. Odchylenia standardowe obliczone dla pomiarów do próbek przy określonym ich ustawieniu utrzymywały się na poziomie 3 mm + 2 ppm, zgodnie ze specyfikacją techniczną tachymetru. Różnice pomiędzy pomiarem wzorcowym odległości do pryzmatu a pomiarem odległości do surowca dochodziły do kilkunastu milimetrów jedynie w przypadku dużego skrzywienia materiału względem wiązki lasera.

Uzyskano o wiele większy zasięg pomiaru od podawanego w specyfikacji technicznej. Dla gładkiej i jasnej powierzchni marmuru wyniósł on 250 m. Zasięg znacząco się zmniejszył przy pomiarze odległości do ciemnych, matowych i chropowatych powierzchni. W wypadku węgla brunatnego zmalał do 70 m.

Wilgotność materiału wpłynęła na czas i zasięg pomiaru. Dla większości surowców większy zasięg pomiaru uzyskano podczas celowania pod kątem prostym na powierzchnię wilgotną. Najkrócej trwały pomiary odległości do surowców o jasnych, gładkich oraz suchych powierzchniach. Czas pomiaru wydłużał się wraz ze wzrostem odległości i kąta skrzywienia materiału.

Praktyczną weryfikacją wniosków uzyskanych na podstawie analiz statystycznych był pomiar składowiska ziemi w parku Jordana w Krakowie. Przeprowadzono dwa pomiary składowiska. Dla każdego z nich obliczono objętość mas ziemnych, wykorzystując cztery programy komputerowe. Zastosowano programy: MicroStation, w którym obliczenia wykonano metodą izolinii, Winkalk dysponujący algorytmem siatki trójkątów oraz C-Geo i Surfer z metodą siatki prostokątów. Otrzymane różnice w określeniu objętości wskazują, że wybór metody obliczenia objętości nie ma większego wpływu na uzyskane wyniki. Rozbieżności między wartościami były mniejsze niż wymagana dokładność określenia objętości. Obliczenia objętości można z powodzeniem wykonywać za pomocą wyżej wymienionych programów komputerowych.

Przeprowadzone testy potwierdziły przydatność tachymetru bezreflektorowego TCR 407 power do inwentaryzacji składowisk materiałów sypkich. Pomiar urządzeniem o takich możliwościach jest o wiele szybszy i bezpieczniejszy. Stało się to możliwe dzięki wyeliminowaniu konieczności sygnalizowania punktów na składowisku za pomocą reflektora pryzmatycznego.

Literatura

- [1] Adamczak E., Witoszek M.: *Wykorzystanie tachymetru bezreflektorowego TCR 407 power do pomiaru składowisk surowców*. AGH, Kraków 2006 (praca dyplomowa pod kier. M. Stracha).
- [2] Instrukcja Geodezyjna resortu przemysłu ciężkiego, załącznik nr 8: *Wytyczne wykonania geodezyjnych pomiarów zakładów przemysłowych*. Ministerstwo Przemysłu ciężkiego, Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „Wema”, Warszawa 1976.
- [3] *Instrukcja obsługi TC(R)403/405/407/410C, 733913-2.0.0pl*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Szwajcaria 2003.
- [4] Lenda G.: *Badanie zasięgu i dokładności dalmierzy bezzwierciadlanych*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 9, z. 1, 2003.
- [5] Wojciechowski J.: *Międzynarodowe standardy testowania instrumentów geodezyjnych*. Materiały Sesji Naukowej z okazji 85-lecia Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, Warszawa 9–10 czerwca 2006, 223–228.
- [6] Topcon Positioning Systems, Inc. Dostępne na: <http://www.topconpositioning.com/>; grudzień 2006.