

NOWOCZESNE METODY POMIARÓW MAS ZIEMNYCH

MODERN METHODS OF EARTH MASS VOLUME DETERMINATION

Martyna Poręba

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: objętość, pryzma, hałda, skaning laserowy, chmura punktów, RTK GPS

STRESZCZENIE: Realizacja pomiarów na terenie górniczym, gdzie inwentaryzacji podlegają hałdy, odkrywki lub inne produkty uboczne tej działalności pociąga za sobą konieczność stosowania wydajnych metod pozwalających na szybką rejestrację kształtu badanego obiektu.

W niniejszej pracy przedstawiono trzy z wielu możliwych metod pomiarów kubaturowych tj. tachymetrię, RTK GPS oraz naziemny skaning laserowy. Uwagę skupiono przede wszystkim na dwóch ostatnich, które stanowią swoiste *nowum*. Ich charakterystyki dokonano w oparciu o pomiary przeprowadzone na terenie hałdy żużli hutniczych gromadzonych w podkrakowskim Pleszowie. Dla każdej z metod zarysowano zakres czynności pomiarowych, wykorzystany sprzęt mierniczy, a także programy komputerowe, które mogą posłużyć do opracowania danych. Kolejno starano się przeanalizować czasochłonność za równo prac terenowych jak i kameralnych, a następnie wskazać sensowność i celowość zastosowania każdej z technologii, ich największe zalety i wady.

Przeprowadzone badania udowodniły, że przy pomiarze objętości zwałowisk mas ziemnych priorytetową czynnością jest odpowiednie rozmieszczenie pikiet w punktach charakterystycznych, a nie ilość tych punktów. Uzyskane objętości nie różniły się między sobą w znaczący sposób, co możliwe było do osiągnięcia głównie dzięki nieskomplikowanej morfologii inwentaryzowanej pryzmy.

Potwierdziło to jednocześnie, iż każda z zastosowanych metod w zupełności spełnia wszelkie wymagania stawiane przez zagadnienie pomiarów kubaturowych. Zauważono, iż największe możliwości daje technologia GPS i naziemny skaning laserowy przy czym potencjał tej ostatniej wydaje się tu być wykorzystany tylko w ułamku.

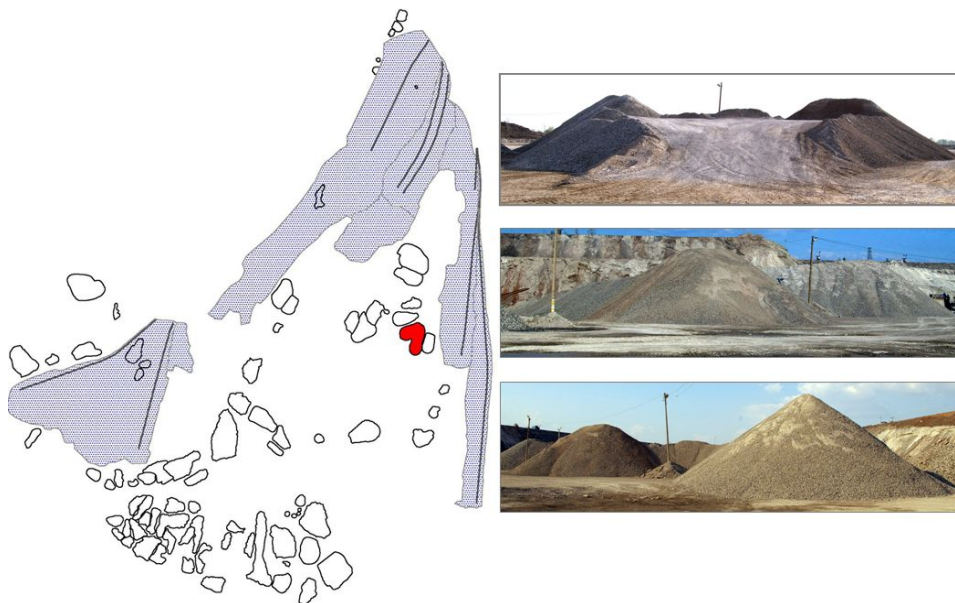
1. WSTĘP

Okresowe pomiary inwentaryzacyjne na terenach kopalni kruszyw wydobywanych metodą odkrywkową mają na celu przede wszystkim określenie objętości obiektów o nieregularnej budowie i złożonej morfologii (np. składowisk, hałd, zwałowisk). Ze względu na swoją częstotliwość i wielkość obszaru, który obejmują generują one potrzebę stosowania wydajnych technik pomiarowych. Z pomocą przychodzą tutaj coraz nowsze technologie wykorzystujące zautomatyzowane urządzenia pomiarowe o wysokiej precyzji (tachymetry elektroniczne, tachymetry skanujące, odbiorniki GPS czy skanery laserowe) wspierane wyspecjalizowanym oprogramowaniem komputerowym.

Postanowiono zatem przyjrzeć się bliżej trzem obecnie najpopularniejszym metodom pomiarów kubaturowych i przeprowadzić własne badania, które pozwoliłyby wykazać największe plusy i minusy każdej z nich w tego typu pracach geodezyjnych. Pomiarzy zostały wykonane za pomocą: tachymetru *Leica TC 407*, odbiornika *GPS Trimble R8* oraz skanera *Z+F Imager 5006*. Ze względu na ograniczenia typu: czas, rodzaj skanera (skaner fazowy) oraz fakt, iż technika pomiaru poszczególnych stoków materiału nie różni się w zasadniczy sposób między sobą, uwagę skupiono na jednej wybranej przyźmie. Następnie na podstawie zebranych danych wyznaczono objętości i przeprowadzono analizę wyników dla każdej z wymienionych metod.

2. OBIEKT POMIARÓW

Badana przyźma usytuowana była na „Nowej Hałdzie” w podkrakowskim Pleszowie stanowiącej teren ok. 160 ha, na którym to gromadzone są żużle powstające jako produkt uboczny w procesach hutniczych. Żużle te, po oczyszczeniu ze złomu, rozsiewane są na frakcje ziarnowe, a następnie składowane w postaci dość nieregularnych przyżm o sporych wymiarach. To one stanowią przedmiot comiesięcznej inwentaryzacji zmierzającej do określenia ich aktualnej ilości. Jak już zaznaczono we wstępie spośród wszystkich przyżm wybrano jedną – reprezentatywną pod względem rozmiaru, kształtu i morfologii, stwarzającą tym samym dobre warunki do pomiaru trzema wspomnianymi metodami.



Rys. 1. Rozmieszczenie przyżm na składowisku w Pleszowie na dzień pomiaru (kolor czerwony - testowa przyźma, szary - zasoby żużla do przetworzenia)

3. SPECYFIKA WYBRANYCH METOD POMIARU ORAZ ZARYS PRAC TERENOWYCH

Bardzo zróżnicowana topografia obszaru hałd poprodukcyjnych i składowisk materiałów sypkich wymusza na geodecie stosowanie wysoce wydajnej metody pomiarowej, dzięki której kształt badanego obiektu zostanie bardzo szybko i zarazem dokładnie zarejestrowany.

Pomiar tachymetryczny nie jest sam w sobie żadną „nowością” i zakorzenił się już na dobre jako uniwersalne narzędzie w różnego typu pomiarach geodezyjnych - jednak w tej pracy został przywoływany głównie ze względu na swoją popularność oraz jako dobra baza do porównań. Kształt przyzmy i jej otoczenie (inne stoki), w przypadku tej techniki pomiarowej, zdeterminowały założenie lokalnej osnowy w postaci trzech stanowisk. W pomiarach główny nacisk położono na minimalizację kosztów i maksymalizację wydajności. Znalazło to odzwierciedlenie w ilości pomierzonych pikiet, stawianych w interwałach odległości uzależnionych od potrzeb danego fragmentu przyzmy (0.9÷11.5 m)

3.1. Metoda RTK GPS

Metodyka wykonania pomiaru techniką RTK GPS była identyczna jak tachymetrii (dotyczyła tylko punktów charakterystycznych). Wykorzystano w nim zestaw dwóch odbiorników GPS marki *Trimble R8* (jeden jako stacja referencyjna REF, drugi – stacja ruchoma ROVER). Odległość od stacji referencyjnej do mierzonej przyzmy wynosiła ok. 500 m, przy czym odbiornik *R8* jako REF pozwala realizować pomiary w promieniu 3÷5km. Warto nadmienić, iż ruchomy odbiornik *Trimble R8* należy do bardzo wygodnych w użyciu. Dzięki wbudowanej technologii *Bluetooth®* komunikacja pomiędzy odbiornikiem a kontrolerem przebiega bez użycia jakichkolwiek kabli, co odróżnia go pozytywnie w porównaniu do odbiorników GPS starszej generacji.

Sam pomiar możliwy jest do wykonania zasadniczo dwoma metodami:

- *Stop & Go*: pomiar kinematyczny (3 s) z przerwami (przejście na kolejny punkt),
- *Continuous Topo*: pomiar kinematyczny z rejestracją pozycji anteny przemieszczanej w sposób ciągły.

Dla ostatniej określa się dodatkowo parametry dotyczące rejestracji pikiet zadając odpowiedni interwał: odległości, czasu, lub odległości i czasu jednocześnie. W przytoczonym przykładzie zdecydowano się na pomiar ciągły z kodowaniem pikiet i interwałem odległości 1 m. Pozwoliło to na bardzo sprawne i dokładne odzwierciedlenie kształtu przyzmy, a w miejscach o bardziej skomplikowanej budowie wymuszono na instrumencie wykonanie dodatkowej rejestracji. Aby zapewnić odpowiednią dokładność pozyskiwanych danych ustawiono specjalną „maskę” określającej maksymalne błędy wyznaczenia pozycji w poziomie i pionie na 5 cm.

W trakcie pomiarów nie odnotowano żadnych problemów z łącznością radiową pomiędzy odbiornikami, nawet pomimo bliskiego sąsiedztwa korpusu toru kolejowego, którego wysokość względem podnóża przyzmy wynosiła około 25 m. Nie zauważono także problemów z łącznością satelitarną. Odbiornik wykorzystywał średnio 6÷12 satelitów, przy czym stale 1÷3 satelitów oferowało sygnał GPS L2C (C/A na L2), który wyraźnie wpływa na skrócenie czasu, w którym odbiornik osiąga inicjalizację (Poręba et al., 2008).

Technologia RTK GPS, jako jedyna spośród względnych metod satelitarnych, spełnia wymagania stawiane przez zagadnienie inwentaryzacji hałd i składowisk. Oprócz zauważalnych na pierwszy rzut oka zalet posiada również pewne niedogodności. Przede wszystkim pomiar zawsze obarczony jest pewnym błędem.

Standardowo pozycja sytuacyjna odbiornika ROVER wyznaczana jest z dokładnością $1\div 3$ cm, natomiast wysokościowa $2\div 5$ cm, co dla pomiarów kubaturowych jest w zupełności wystarczające (Uznański, 2006). Do innych istotnych ograniczeń metody zaliczyć można ponadto: wpływ silnego promieniowania elektromagnetycznego (np. z linii wysokiego napięcia), niezdolność pracy systemu w przypadku braku sygnału z minimum 5 satelitów dla obu odbiorników jednocześnie oraz ograniczony zasięg radiowy. Jako, iż praca na niewielkich obszarach (w promieniu kilkuset metrów od stanowiska instrumentu) jest normą tak więc wydaje się, że ostatnią z wspomnianych niedogodności można zbagatelizować – szczególnie w sytuacji posiadania dodatkowego odbiornika i osobistego wyboru miejsca usytuowania stacji REF. Najbardziej odczuwalną wadą technologii jest brak możliwości wykonania pomiarów w miejscach o znacznie przesłoniętym horyzoncie. Bezpośrednia bliskość wysokich przeszkód w sąsiedztwie mierzonego obiektu może okazać się bowiem barierą nie do pokonania (Wyczałek, 1998). Z kolei w przypadku niekorzystnej geometrii satelitów (niewielkie odległości między satelitami, rozmieszczenie wzdłuż linii prostej lub na okręgu) jedynym racjonalnym rozwiązaniem jest wstrzymanie pomiarów do czasu uzyskania satysfakcjonującej dokładności. Decydując się zatem na metodę RTK GPS należy liczyć się z tym, że w pewnych warunkach i miejscach realizacja pomiaru może okazać się tymczasowo lub nawet kompletnie niemożliwa.

3.2. Naziemny Skaning 3D

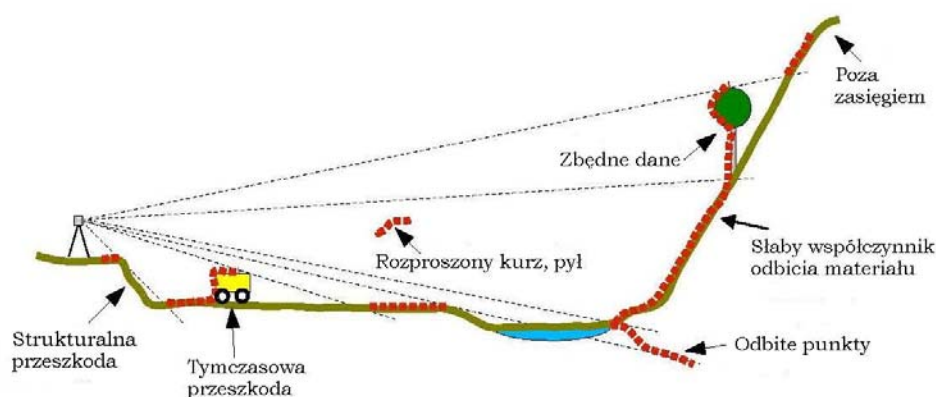
Wykorzystanie skanera laserowego do pomiarów kubaturowych wiąże się z całkowitą zmianą w stosunku do założeń topografii klasycznej – nie uwydatnia się już bowiem punktów charakterystycznych przyzmy, ale mierzy się ją w całej okazałości. Technologię tę wyróżnia przede wszystkim szybkość zbierania danych, milimetrowa dokładność bezwzględna oraz odporność na błędy operatora. Wydaje się być niezastąpiona w momencie pomiaru obiektów o obszernej powierzchni, cechujących się skomplikowaną geometrią, dużą ilością szczegółów czy trudnodostępnych (Turkiewicz, 2008). Wynikiem pomiarów laserowych jest zawsze gęsta i zwarta „chmura punktów”, która bardzo dokładnie i szczegółowo odzwierciedla rzeczywistość.

Każdy punkt opisany jest standardowo współrzędnymi X Y Z, ponadto skaner rejestruje czwartą wartość - intensywność odbicia powracającego sygnału. Pomierzone punkty odniesione są do układu współrzędnych instrumentu, którego początek znajduje się w centrum skanera, przy czym można je przetransformować do dowolnego układu lokalnego bez potrzeby znajomości współrzędnych centrum skanera czy jego wysokości. Co więcej skaner nie musi być spoziomowany, co znacznie przyspiesza prace terenowe.

Powstała, w trakcie naziemnego skanowania, chmura punktów nie jest jednak pozbawiona błędów (Rys. 2). Mogą się one objawiać w postaci:

- „martwych pól” czyli braku informacji pomiarowych dla zasłoniętych, niedostępnych, bardzo oddalonych obiektów, ale również przy niewielkich odległościach, gdy plamka lasera trafia na materiał absorbujący promienie (np. przodki węglowe),

- „fałszywych punktów” (szumów) czyli nadliczbowych danych niosących błędną informację na temat powierzchni, którą odwzorowują (np. sygnały odbite od powierzchni odblaskowych, zbiorników wodnych),
- punktów, które nie odzwierciedlają faktycznego położenia, a powstałych na skutek np. niekorzystnych warunków pogodowych jak obfity deszcz, śnieg, mgła, duża wilgotność (Myers et al., 2006).



Rys. 2. Obszary stanowiące problem w uzyskaniu dobrego skanu na obszarach kopalni odkrywkowych

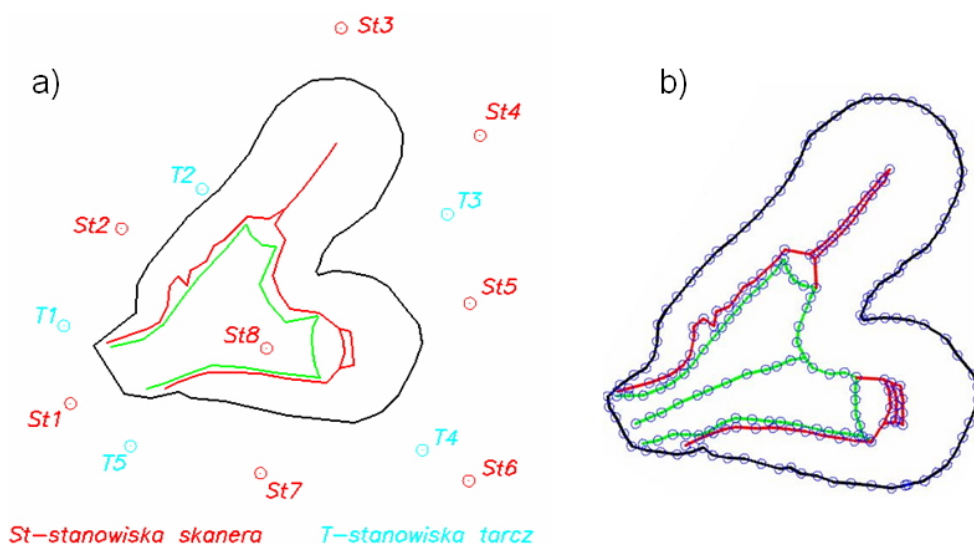
Unikanie połyskliwych obiektów czy pyłów i zanieczyszczeń w atmosferze nie zawsze jest możliwe jednak mimo to, „fałszywe punkty” w chmurze są łatwe do zidentyfikowania i usunięcia. Wszystkie te problemy nie stanowią bariery „nie do pokonania” – wręcz przeciwnie, dla doświadczonego geodety nie powinny one stanowić poważnego utrudnienia. Bardzo łatwo można je bowiem wyeliminować poprzez umiejętne rozlokowanie stanowisk skanera lub też odpowiednie opracowanie kameralne i filtrację uzyskanych skanów za pomocą dedykowanego oprogramowania. Gotowa chmura punktów będąca finalnym produktem inwentaryzacji niesie ogromną ilość poprawnych informacji i to od użytkownika zależy, które warto wykorzystać, a które powinny być zaniechane. Pod tym względem skaning zostawia daleko w tyle pozostałe, opisywane w tym artykule technologie pomiarowe.

O ile błędy w zarejestrowanej chmurze punktów można łatwo zniwelować, to warto tu jeszcze wspomnieć o innych wadach technologii skaningu, które mogą okazać się dużo bardziej uporczywe, a są to:

- brak możliwości pomiaru poniżej 0°C w ogromnej większości skanerów aktualnie dostępnych na rynku geodezyjnym,
- częstokroć krótki czas pracy na fabrycznych bateriach powodujący konieczność posiadania kilku ogniw lub też zaopatrzenia się w ciężki i nieporęczny akumulator,
- krótki zasięg szybkich skanerów fazowych,
- wolny czas pracy skanerów impulsowych – dalekiego zasięgu,
- stosunkowo duży ciężar jak i rozmiar samego urządzenia (choć nie jest to regułą).

Podczas pracy ze skanerem laserowym warto ponadto pamiętać, iż wiązka pomiarowa, jaką emituje urządzenie ma charakter rozbieżny. Średnica plamki lasera rośnie wraz ze wzrostem odległości od obiektu. To z kolei ma znaczący wpływ na dokładnością pomiaru

Do skanowania wybranej przyzmy użyto wspomnianego już skanera *Z+F Imager 5006*, który charakteryzuje się imponującą wręcz prędkością skanowania wynoszącą nawet 500 000 pkt/s oraz „polem widzenia” 360° w poziomie oraz 310° w pionie. Należy on do grupy instrumentów fazowych, co przekłada się na jego niewielki zasięg i bardzo wysoką dokładność pomiaru (1 mm / 50 m). Fakt ten znalazł swoje bezpośrednie odbicie w sposobie rozplanowania w terenie stanowisk samego instrumentu oraz tarcz kalibracyjnych. Tarcze celownicze rozlokowano w taki sposób, aby z każdego stanowiska skaner zarejestrował przynajmniej dwie. Ostatecznie założono 8 stanowisk skanera (7 dookoła przyzmy i jedno na jej powierzchni) oraz 5 tarcz kalibracyjnych, co w tym przypadku było absolutnym minimum.



Rys. 3. a) Rozmieszczenie stanowisk skanera oraz tarcz kalibracyjnych;
b) Szkic pomiaru przyzmy metodą RTK GPS

Zasygnalizowane fotopunkty okazały się nader pomocne w późniejszej orientacji chmur punktów uzyskanych z różnych stanowisk i połączeniu ich w jeden skan. Dla części skanów orientację wykonano bazując na wspomnianych tarczach celowniczych, pozostałe metodą *Cloud to Cloud* (chmurą do chmury). To ostatnie rozwiązanie wiązało się z kalibracją chmur przy użyciu naturalnych szczegółów terenowych, co ze względu na specyfikę skanowanego obiektu okazało się czasochłonne i trudne w realizacji (mało urozmaicona w szczegóły przyzma złożona z drobnych ostrokrawędzistych i podobnych do siebie kamyczków od wielości ziaren piasku do około 31 mm).

Pomiar na każdym ze stanowisk trwał 6 min 44 sekundy przy zadanej rozdzielczości skanowania „*super high*”, co dla tego skanera oznacza rejestrację 400 mln punktów. Tak ogromna ilość punktów nie była tu jednak konieczna. Wręcz przeciwnie – utrudniła nieco

późniejsze opracowanie wyników pomiarów z racji na bardzo dużą ilość danych do przetworzenia. W tym przypadku jak najbardziej wskazana byłaby zdecydowanie mniejsza rozdzielczość skanowania, która skróciłaby również czas pomiarów. Oczywiście wraz ze wzrostem odległości skanera od rejestrowanych obiektów maleje dokładność pomiarów. Zmniejszenie rozdzielczości skanów musiałoby więc zostać przeprowadzone w sposób przemyślany, aby nie spowodować nadmiernej utraty ważnych informacji. Szczególne znaczenie ma to przy korzystaniu z pomocy tarcz kalibracyjnych, które powinny być skanowane ze stosunkowo dużą rozdzielczością. W przeciwnym wypadku nawet niewiele oddalone od skanera tarcze mogą okazać się bezużyteczne.

Analiza kameralna potwierdziła przypuszczenia, że w niektórych miejscach nie udało się równomiernie pokryć przyzmy punktami (szczególnie na zboczach o jednostajnym nachyleniu). Pojawił się problem wspomnianych wcześniej martwych pól, co było bezpośrednią konsekwencją utrudnionego dostępu oraz występowania fizycznych przeszkód i tym samym konieczności skanowania pod dość ekstremalnymi kątami (Poreba et al., 2008).

Tabela 1. Zestawienie liczby zarejestrowanych pikiet w poszczególnych metodach pomiarowych

Metoda pomiaru:	Tachymetria	Pomiary RTK GPS	Skaning Naziemny
Ilość pomierzonych punktów	113	217	prawie 77 000 000 *

* liczba punktów po usunięciu zbędnych informacji i wyodrębnieniu całej przyzmy

4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Stosowanie technik RTK GPS oraz tachymetrii do celów określania objętości mas ziemnych jest powszechne. Do dyspozycji mierniczego jest wiele możliwych do wykorzystania programów komputerowych - zarówno uniwersalnych aplikacji geodezyjnych, jaki i tych dedykowanych specjalnie do danego urządzenia i metody pomiarowej. Wszystkie czynności obliczeniowe dla obu metod wykonano bazując na pakiecie oprogramowania autorstwa *Trimble* (tj. *Trimble Data Transfer* i *Trimble Terramodel*). Program *Terramodel* jest bardzo dobrym rozwiązaniem dla szerokiej gamy prac geodezyjnych. Jego główną zaletą jest tworzenie numerycznego modelu terenu (NMT) z uwzględnieniem linii nieciągłości, a także możliwość automatyzacji procesu łączenia pikiet o tym samym kodowaniu, pomierzonych kolejno po sobie. W przypadku skaningu wyznaczenie objętości na podstawie tak ogromnej ilości danych wymaga nie lada mocy obliczeniowej komputerowej oraz odpowiedniego oprogramowania. Etap *postprocessingu* – podstawowego opracowania kameralnego danych (połączenie chmur punktów w jednolity skan oraz oczyszczenie z nadliczbowych informacji) wykonano w oparciu o program *Z+F LaserControl*, z kolei samą objętość uzyskano na dwa sposoby:

- na podstawie zredukowanej do 3 251 678 pikiet chmury punktów (*Surfer 8*)
- wykorzystując całość danych (*Leica Cyclone 6.0*)

Tabela 2. Zestawienie uzyskanych wartości objętości

Program	Technologia pomiaru	OBJĘTOŚĆ [m ³]
<i>Trimble TERRAMODEL</i>	TACHYMETRIA	5977.29
<i>Trimble TERRAMODEL</i>	RTK GPS	5913.70
<i>Leica Cyclone 6.0</i>	SKANING NAZIEMNY	6068.83
<i>Surfer 8</i>		5982.35

4.1. OCENA JAKOŚCI PRODUKTÓW POMIARU

Objętość obliczona na podstawie chmury punktów uznana została za wielkość wzorcową, gdyż jest w najmniejszym stopniu obciążona błędami osobowymi – nie wymagała doboru punktów charakterystycznych przyzmy. Jedynymi błędami mającymi wpływ na wielkość ostatecznie otrzymanej w ten sposób objętości była: dokładność pomiaru skanera, dokładność kalibracji chmury punktów oraz rodzaj zastosowanych algorytmów do obliczania objętości. Ten ostatni miał zapewne największy wpływ na wartość końcowego wyniku, który w dużej mierze zależał od sposobu określania powierzchni odniesienia względem, której liczona była objętość (Poręba et al., 2008). Objętość ta została zatem uznana za bazę do której porównano wyniki obliczeń dla pozostałych dwóch metod, a otrzymane różnice zestawiono w poniższej tabeli:

Tabela 3. Procentowych różnice objętości w stosunku do wartości wzorcowej otrzymanej z *Leica Cyclone 6.0*

METODA POMIARU	Różnica [m ³]	Procentowa różnica [%]
TACHYMETRIA	91,54	1,5
GPS	155,13	2,6
SKANING LASEROWY*	86,48	1,4

* przefiltrowana chmura punktów (do 3 251 678 pkt.)

Opierając się na Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 19 czerwca 2002r. w sprawie dokumentacji mierniczo – geologicznej, które mówi:

„4.3.8. Błąd względny pomiaru objętości zwałów i składowisk nie powinien przekraczać dla objętości:

- 1) od 0 do 20 tys. m³ - 6% objętości,
- 2) od 20 do 50 tys. m³ - 5% objętości,
- 3) od 50 do 200 tys. m³ - 4% objętości,
- 4) od 200 do 500 tys. m³ - 3% objętości,
- 5) ponad 500 tys. m³ - 2% objętości.” (Dz.U., 28 czerwca 2002)

Można stwierdzić, że otrzymane różnice nie są duże, co więcej – są jak najbardziej dopuszczalne. Tym samym każda z objętości jest poprawna i satysfakcjonująca.

4.2. ANALIZA CZASOCHŁONNOŚCI

Warto tu dodatkowo porównać zastosowane metody pod kątem ich czasochłonności. Przedstawia to statystyka czasu (przybliżonego) jaki poświęcono zarówno na prace polowe jak i obliczenia (tabela 4).

Tabela 4. Statystyka całkowitej czasochłonności poszczególnych metod pomiarowych

Czynność/Pomiar	Tachymetria [min]	RTK GPS [min]	Skanning Laserowy [min]	
Prace terenowe	115	25	80	
Prace kameralne	30	20	400*	200**
Sumaryczny czas	145	45	480	280

* przefiltrowanie i doczyszczanie chmury punktów (*Microstation SE* + nakładka *TerraScan*) oraz obliczenie objętości (*Surfer 8*)

** opracowanie w programie *Leica Cyclone 6.0*

Analizując powyższą tabelę zauważyć można, iż dla celów pomiarów kubaturowych pojedynczej pryzmy najszybszą pod każdym względem metodą jest technika RTK GPS.

Rozpatrując wyniki dla skaningu laserowego należy tu nadmienić, iż w tym konkretnym przypadku zastosowany rodzaj skanera rzutował na ostateczne wyniki analiz czasochłonności. Warto podkreślić, że jest to instrument dedykowany typowo zastosowaniom inżynierskim, cechujący się niewielkim zasięgiem (1÷79 m) i bardzo wysoką precyzją skanowania – zdecydowanie zbyt wysoką jak na potrzeby pomiarów kubaturowych. Fakt ten przełożył się bezpośrednio na ilość niezbędnych stanowisk skanera i tym samym wydłużenie czasu pomiaru.

Poprawę wyniku czasowego można osiągnąć przy użyciu sprzętu komputerowego o odpowiednio dużej mocy obliczeniowej, pozwalającej na efektywne opracowanie tak ogromnej ilości danych. Z kolei zmniejszenie rozdzielczości skanowania pozwoli na skrócenie czasu pracy skanera, a także wpłynie na zredukowanie wielkości finalnego pliku z danymi, a co za tym idzie – czasu prac kameralnych.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Reasumując można stwierdzić, że przy pomiarze zwałowisk mas ziemnych najważniejszą kwestią jest nie ilość, ale jakość zarejestrowanych pikiet. Odpowiedni dobór punktów charakterystycznych obiektu, który nierzadko może nastęrczyć wielu trudności, pozwala przy minimalizacji danych uzyskać jak najlepszy efekt finalny. W takiej sytuacji niezbędna jest wiedza na temat generowania NMT oraz stosowanie linii nieciągłości umożliwiających prawidłowe odtworzenie powierzchni na podstawie zgromadzonych

danych. Jest to szczególnie ważne przy pomiarze stoków o nieregularnej i złożonej morfologii.

W przytoczonym w tej pracy przykładzie, uzyskane ze wszystkich metod objętości nie różniły się między sobą więcej niż 3%. Taki rezultat zawdzięczać można głównie nieznacznemu skomplikowaniu badanej przyzmy. Zarejestrowane przez skaner miliony punktów stoku tak naprawdę niewiele wniosły do dalszych obliczeń. Za tym z jak dużą ilością informacji przyszło się zmierzyć przemawia fakt, iż nawet po zredukowaniu ilościowym chmury punktów (pozostawiono 1/25 całości) na wygenerowanym modelu przyzmy nadal doskonale widoczna była faktura zdeponowanego materiału oraz ślady kół ładowarek.

Oceniając przydatność metody tachymetrycznej w pomiarach kubaturowych na obszarach hałd i składowisk materiałów sypkich można zauważyć jej wiele zalet. Do głównych można tu zaliczyć prostotę pomiarów jak i późniejszych opracowań kameralnych, niską cenę sprzętu pomiarowego. W przypadku niewielkiej ilości przyzm o niezbyt skomplikowanym kształcie oraz rozmieszczonych względem siebie w korzystnej konfiguracji możliwa jest minimalizacja ilości stanowisk pomiarowych, co znacznie skraca czas prac inwentaryzacyjnych. Jednak w skrajnie różnych warunkach, gdzie liczba mierzonych obiektów jest duża, a ich rozmieszczenie względem siebie niekorzystne, tachymetria staje się metodą czasochłonną, mało wydajną, generującą zrazem spore koszty pomiaru. Z pomocą mogą tu przyjść najnowocześniejsze tachymetry zrobotyzowane wyposażone w tzw. serwomotory pozwalające na śledzenie lustra przemieszczającego się wraz z mierniczym, są to jednak urządzenia znacznie droższe niż standardowe instrumenty geodezyjne (Poręba et al., 2008). Nie zmieni to jednak faktu, iż wygoda oraz czas niezbędny do wykonania pomiaru są niewspółmierne do możliwości oferowanych przez pomiary zestawem RTK GPS.

Technika RTK GPS jest w tego typu pomiarach tańszą alternatywą skaningu, co więcej można zauważyć, że pod niektórymi względami góruje nad nim pod względem:

- mobilności,
- braku konieczności kalibracji pozyskanych danych do jednego układu współrzędnych,
- łatwości i szybkości obróbki danych,
- możliwości pomiaru nawet w złych warunkach pogodowych oraz przy ujemnych temperaturach.

Mimo niezbyt korzystnego wyniku czasowego osiągniętego przez skaner laserowy jego zastosowanie do pomiarów mas ziemnych wydaje się być bardzo dobrym rozwiązaniem. Zdecydowanie lepsze wyniki dałoby wykorzystanie skanera panoramicznego dedykowanego typowo pomiarom topograficznym. Jako instrument impulsowy charakteryzuje się on możliwością pomiaru obiektów znacznie oddalonych, ale z niższą dokładnością (nawet 25 mm / 50 m) oraz prędkością skanowania (kilka tysięcy punktów na sekundę) w stosunku do wersji fazowej. Rozwiązanie takie pozwala jednak na znaczące zredukowanie ilości stanowisk instrumentu i zarejestrowanie całego obszaru składowiska w krótszym czasie w porównaniu do metod klasycznych. Ponadto za skanowaniem przemawia niezaprzeczalny fakt - jest to jedyna metoda minimalizująca niebezpieczeństwo wynikające bezpośrednio z konieczności „wspinania” się przez mierniczego po stromych zboczach przyzm zdeponowanego materiału. Zastosowanie

skanera laserowego jest z pewnością godne polecenia przede wszystkim dla dużych obszarów pomiarowych - nie dla kilku pojedynczych przyzm.

6. LITERATURA

Myers A., Ratcliffe S., 2006. *Laser Scanning In the Open Pit Mining Environment a comparison with Photogrammetry*, www.isite3d.com.

Odlanicki – Poczbutt M., Wędzony J.T., 1981. *Geodezja Ogólna i Górnicza, Wydanie drugie uzupełnione*, Skrypty uczelniane AGH, Kraków.

Poreba M., Rolek T., 2008. *Pomiary kubaturowe kruszyw na składowisku haldy w Pleszowie*, Praca dyplomowa, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Kraków.

Turkiewicz J., styczeń 2008. *Laserowy skaning naziemny*, Magazyn Geoinformacyjny „Geodeta” nr 1(52).

Uznański A., 2006. *Metody wyznaczania pozycji techniką RTK GPS*, Geodezja tom 12 zeszyt 2.

Wyczałek I., wrzesień 1998. *Tryb RTK pomiarów satelitarnych*, Magazyn Geoinformacyjny „Geodeta” nr 9(40).

MODERN METHODS OF EARTH MASS VOLUME DETERMINATION

KEY WORDS: volume, stockpile, slag heap, laser scanning, points cloud, RTK GPS

SUMMARY: Surveys conducted in a mining area, where elements to be subjected to surveying include mine waste dumps, strip pits, or other by-products of mining activities involve the necessity of application of efficient methods, which enable quick detection of shapes of surveyed structures.

This paper presents three of the many possible methods of geodetic volume measurements: tachymetry, RTK GPS, and finally the terrestrial laser scanning technology. Main attention was focused on the last two methods, which are a sort of a novelty. Their characterization was based on measurements executed in a slag recycling facility in Pleszów near Kraków. For each of those methods, the scope of field works, measurement equipment involved, as well as computer software that can be applied to produce data were determined. Successively, efforts were made to analyse time consumption of both field and study works, and then to specify purposefulness and usefulness of each technology, and finally their biggest advantages and disadvantages.

The executed surveys proved that in the determination of earth heap volumes it is the correct arrangement of measured points, which should have the highest priority. The actual number of points seems to be less important. The obtained volumes did not significantly differ from each other, which was possible to achieve mainly thanks to the simple morphology of the examined stockpile.

This further confirmed that each of those methods met completely all requirements of industrial heap volume determination. It was noted that RTK GPS and laser scanning technologies offered the greatest potentials, and in addition, that the potential of the latter seems to be used here only in a fraction.

Mgr inż. Martyna Poreba
e-mail: martyna.poreba@gmail.com
tel. +12 6173993