INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/1/2016, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 323–334
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.2.1.023

POMIAR OBJĘTOŚCI ZŁÓŻ KOPALNI ODKRYWKOWEJ NA PODSTAWIE LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

Izabela Piech, Bogusława Kwoczyńska, Dominik Słowik
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

VOLUME MEASUREMENT OF DEPOSITS IN OPEN-PIT MINING ON THE BASIS OF AIRBORNE LASER SCANNING

Streszczenie

Lotniczy skaning laserowy to nowoczesna i dynamicznie rozwijająca się technologia. Jest to metoda szybkiego pozyskiwania danych cyfrowych na temat powierzchni terenu oraz jego pokrycia. Chmura punktów rejestrowana przez skaner lotniczy posiada na tyle dużą dokładność, aby można było ją wykorzystać do wielu rodzajów opracowań np.: pomiarów objętości mas ziemnych czy wydobytego materiału skalnego w kopalniach odkrywkowych. Celem opracowania był pomiar objętości wydobytych złóż kopalni odkrywkowej w Krapkowicach. Do pracy z chmurą punktów oprócz popularnego oprogramowania AutoCAD wykorzystano programy – GOM Inpesct V8 oraz MeshLab. Chmurę punktów oczyszczono ze zbędnych elementów a następnie w procesie poligonizacji został na jej podstawie wykonany model 3D terenu w postaci mesha. Objętość złóż zmierzono na podstawie bryły przestrzennej wpasowanej pomiędzy model terenu, a płaszczyznę przyjętą, jako powierzchnię terenu kopalni przed rozpoczęciem wydobycia. Efekt końcowy prac spełnił początkowe założenia i potwierdził przydatność lotniczego skaningu laserowego w tego typu pracach. Z pewnością w przyszłości technologia ta będzie udoskonalana i zastąpi niektóre tradycyjne metody pomiarowe

Słowa kluczowe: chmura punktów, model 3D, kopalnia.

Abstract

Airborne laser scanning is modern and dynamically growing technology. It is perfect method for fast acquisition of digital data about terrain surface and its covering. Point cloud registered by airborne scanner has high enough accuracy to use it for many tasks for example: volume measurements of ground masses or excavated rock material in open-pit mining. The objective of work was to measure volume of excavated deposits in open-pit mining in Krapkowice. Along to popular AutoCAD software, freeware programs – GOM Inspect V8 and MeshLab were used for work with point cloud. The cloud was cleaned from unnecessary elements and polygonised to obtain 3D mesh model of terrain. The volume was measured based on solid fitted between terrain model and plane which was adopted as surface of mine before excavation started. Final effect met initial assumptions and confirmed that airborne laser scanning is very useful in this type of work. ALS technology will certainly be developed in the future and replace some of the traditional methods of measurement.

Keywords: *Point cloud, 3D model, mine*

WPROWADZENIE

Kopalnie odkrywkowe mają bardzo negatywny wpływ na środowisko naturalne: degradacja terenu, zanieczyszczenia, zagrożenia gatunków zwierząt i roślin. Aby ograniczać ten negatywny wpływ kopalnie muszą przestrzegać odpowiednich norm prawnych, do których należą m. in. : Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. Prawo ochrony Środowiska, Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze, Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 kwietnia 2013 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu odkrywkowego zakładu górniczego oraz szereg innych rozporządzeń i ustaw normujących prowadzenia wydobycia.

Górnictwo odkrywkowe wpływa negatywnie nie tylko na przyrodę, ale także na elementy społeczno-gospodarcze. Oddziałuje na infrastrukturę techniczną, obiekty przemysłowe, gospodarkę rolną, wodną jak i obiekty rekreacyjne. Po zaprzestaniu eksploatacji surowca, firmy prowadzące wydobycie zobowiązane są do przeprowadzenia rekultywacji przekształconych terenów. Ma ona prowadzić do całkowitego lub częściowego odtworzenia warunków środowiskowych, jednak proces ten jest długotrwały i bardzo kosztowny. Mimo negatywnego wpływu kopalni odkrywkowych na środowisko wyeliminowanie ich nie jest możliwe, ponieważ często służą one zaspokajaniu potrzeb egzystencjalnych człowieka (np. kopalnie węgla brunatnego). W takim wypadku obszary górni-

cze są objęte rygorystycznymi przepisami prawnymi pozwalającymi ograniczać szkodliwy wpływ na środowisko. Do takich można zaliczyć proces rekultywacji jaki musi wykonać firma prowadząca wydobycie (Lapčík &Lapčíková 2006).

METODYKA BADAŃ

Materiałem bazowym do wykonania niniejszego artykułu była chmura punktów pozyskana metodą lotniczego skaningu laserowego przez TERRA MAP spółka zo.o. Chmura została wcześniej zorientowana i wstępnie oczyszczona. Głównym celem opracowania był pomiar objętości złóż kopalni odkrywkowej w Krapkowicach. Poszczególne etapy pracy wykonano w dużej mierze przy pomocy darmowego oprogramowania, co jest jednocześnie sprawdzeniem ich przydatności w tego typu pracach.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

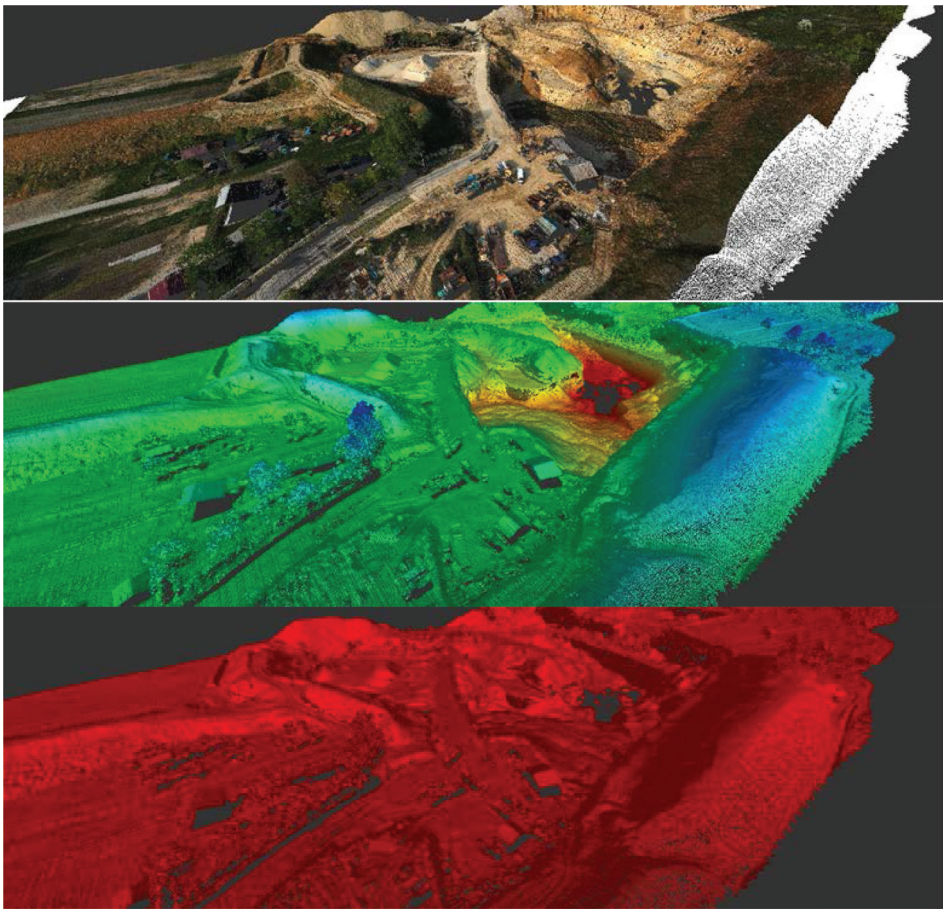
Krapkowice miasto w województwie opolskim, siedziba gminy miejsko-wiejskiej Krapkowice oraz powiatu krapkowickiego. Historycznie Krapkowice leżą na Górnym Śląsku.

Miasto położone po obu stronach rzeki Odry, na skrzyżowaniu szlaków komunikacyjnych z Opola do Kędzierzyna-Koźla i Raciborza oraz z Nysy i Prudnika do Strzelec Opolskich, przy autostradzie A4. W Krapkowicach wpływa do Odry Osobłoga, wypływająca z Jeseników w Czechach. Historycznie Krapkowice położone są na Górnym Śląsku. Miasto znajdowało się na trasie szlaku bursztynowego. Znaczna część starej części Krapkowic i Otmętu leży na wapieniach triasu (formacja gogolińska), które były wydobywane w kilku kamieniołomach zachowanych częściowo do dziś, choć już nieczynnych, podobnie jak zespół starych pieców wapienniczych. Przez miasto przepływa Odra, stąd są tu także osady rzeczne kenozoiku, a sama rzeka tworzy tzw. przełom krapkowicki (https://pl.wikipedia.org/_giki/Krapkowice).

PRACA NA CHMURZE PUNKTÓW

Prace nad chmurą punktów wykonano przy użyciu kilku programów. Pierwszym z nich był ReCap. Program użyto do przycięcia chmury punktów i przefiltrowaniu jej w celu usunięcia zbędnych punktów, zwanych szumami punktów i eksportu pliku do formatu, który był obsługiwany przez kolejne oprogramowanie. Jest to jedna z wad darmowych programów – obsługują często niezbyt dużą ilość formatów, co zmusza do konwertowania. W pierwszej kolejności należało zaimportować chmurę punktów w formacie *.las do nowo założonego

projektu. Chmura punktów została zeskanowana razem z wartościami RGB każdego punktu. W zależności od potrzeb można jednak wizualizować ją w różny sposób – zamiast kolorów RGB dostępne są opcje wizualizacji natężenia czy poziomu (Rysunek 1).



Rysunek 1. Wizualizacja chmury punktów (RGB, poziom, natężenie) (autor: Dominik Słowik)
Figure1. Visualization of point cloud (RGB, level, intensity) (author: Dominik Słowik)

Do dalszej pracy wybrano jednak wyświetlanie w trybie RGB, ponieważ jest ono najlepsze pod względem identyfikacji obiektów w chmurze. Kolejnym etapem pracy było obcięcie chmury z niepotrzebnych fragmentów obejmujących przede wszystkim punkty białe (bez atrybutów RGB) oraz obszar wykraczający zbyt daleko poza wyrobiska kopalni. Pozwoliło to na ograniczenie liczby punk-

tów. Docelowo na badanym obszarze miał być wykonany pomiar objętości wydobytych złóż, a więc potrzebny był model terenu bez jego pokrycia. W tym celu należało usunąć zbędne elementy występujące na terenie w postaci drzew, maszyn górniczych, budynków i pojazdów (Rysunek 2). Wybrana wcześniej opcja wizualizacji RGB ułatwiła ich poszukiwania i identyfikację. Jeżeli obiekty te nie zostałyby usunięte z obszaru opracowania wystąpiłby duży problem w procesie poligonizacji (tworzenia modelu terenu na podstawie wygenerowanej siatki trójkątów). Po identyfikacji i usunięciu wszystkich niepotrzebnych elementów otrzymano chmurę punktów reprezentującą powierzchnię terenu. Tak przygotowaną chmurę wyeksportowano do formatu *.pts.

Rysunek 2. Zbędne elementy chmury punktów (autor: Dominik Słowik)
Figure 2. Superfluous elements of a point cloud (author: Dominik Słowik)

IMPORT CHMURY PUNKTÓW

Prace z oprogramowaniem GOM zaczęto od założenia nowego projektu i zaimportowania przygotowanej wcześniej chmury punktów. Ponieważ obsługuje on wąski zakres formatów danych, nie można bezpośrednio wczytać chmury punktów wyeksportowanej z programu ReCap należało plik z chmurą punktów w formacie *.pts zamienić na format *.ASC. Operacja ta w żaden sposób nie zaburza struktury pliku i nie powoduje problemów z edycją chmury.

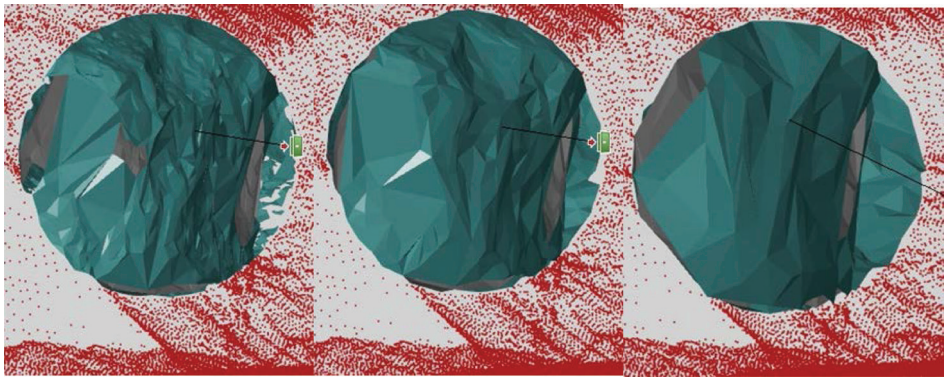
POLIGONIZACJA CHMURY PUNKTÓW

Głównym celem wszystkich wykonywanych dotąd działań było jak najlepsze przygotowanie chmury punków do procesu poligonizacji. W procesie tym, program na podstawie wzajemnego położenia punktów utworzy powierzchnię znaną, jako mesh, złożoną z tysięcy małych wielokątów tworzących powierzchnię, która stanowi przestrzenną reprezentację rzeźby terenu w badanej kopalni. Poligonizację wykonywano automatycznie na zbiorze punktów wybranych przez użytkownika. W tym opracowaniu zostały użyte wszystkie punkty chmury.

Po wybraniu punktów można było przejść do wygenerowania mesha wprowadzając trzy parametry liczbowe:

- Minimalną odległość między użytymi punktami
- Maksymalna wartość tzw. szumu
- Maksymalną długość krawędzi wielokątów

Na szczegółowość tworzonej powierzchni największy wpływ ma opcja odpowiadająca za minimalną odległość pomiędzy użytymi punktami. Im większa wartość tego parametru tym większa generalizacja danych, a co za tym idzie mniejsza dokładność odwzorowania terenu (https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standardsprojects/ accuracy/part2) (Rysunek 3).



Rysunek 3. Wpływ zmiany parametrów liczbowych na dokładność poligonizacji chmury punktów (autor: Dominik Słowik)
Figure 3. The influence of changes in numerical parameters on the accuracy of the polygonisation of a point cloud (author: Dominik Słowik)

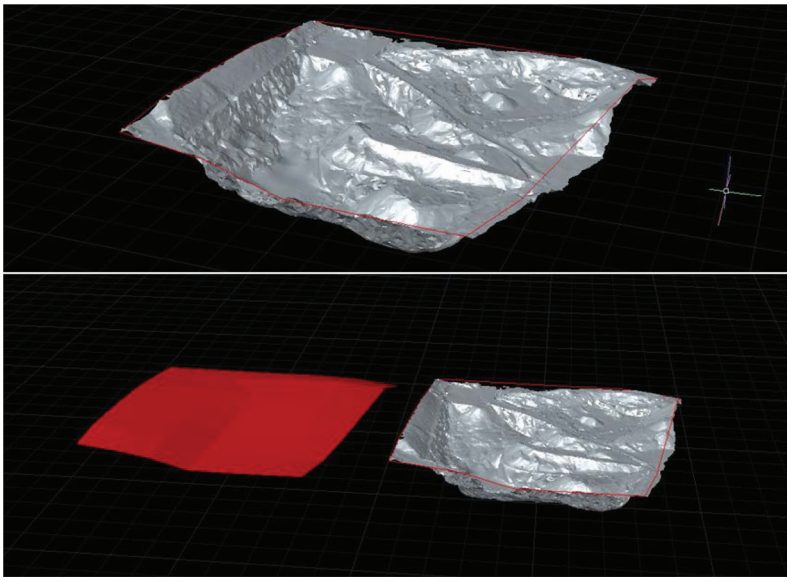
Rysunek 3 przedstawia powierzchnię mesha wygenerowaną dla parametru „Minimalna odległość między użytymi punktami" o wartościach wynoszących odpowiednio: 0,1m; 0,5m oraz 1m. Dla potrzeb dalszego opracowania, jako wystarczająca pod względem dokładnościowym została wybrana wartość wynosząca 1m. Utworzony mesh składał się z prawie 125 000 trójkątów i ponad 63 000 wierzchołków.

NAPRAWA BŁĘDÓW I UBYTKÓW MESHA

Wygenerowany automatycznie mesh posiadał w swojej strukturze pewne błędy, które trzeba było naprawić. Błędy te mogły wyniknąć z braku punktów w niektórych miejscach chmury, a także niedoskonałości w jej oczyszczaniu. Najpierw wykonano automatyczną naprawę za pomocą narzędzia „eliminate mesh errors", które usunęło niewielkie błędy np. poprzecinane powierzchnie, ale

nie rozwiązało problemu pustych przestrzeni. Konieczne, więc było usunięcie ich w inny sposób. Wykorzystano narzędzie o nazwie „Close Holes" posiadające opcję interaktywnego lub automatycznego wypełniania braków w meshu. Opcja interaktywna polega na samodzielnym wyszukiwaniu pustych powierzchni i wypełnianiu ich częściowo lub w całości. Jest to tak naprawdę sposób półautomatyczny – do użytkownika należy tylko wyszukiwanie błędów, natomiast samo wypełnianie następuje automatycznie. Opcja automatyczna powoduje, iż program sam wyszukuje i wypełnia braki mesha na całym jego obszarze. Efekt końcowy jest taki sam jak w przypadku opcji interaktywnej. Istnieje jedynie ryzyko, iż program nie wychwyci wszystkich błędów i potrzebna będzie ręczna kontrola. Praca z programem MeshLab, miała na celu głównie konwersję wcześniej przygotowanego mesha do formatu *.dxf. W czasie pracy okazało się jednak, że program posiada szereg filtrów, które dodatkowo poprawiają i optymalizują przestrzeń mesha. Po zaimportowaniu figury i zaznaczeniu wszystkich wierzchołków i trójkątów można było użyć narzędzi optymalizacyjnych. Do poprawy topologii mesha użyto filtrów, które:

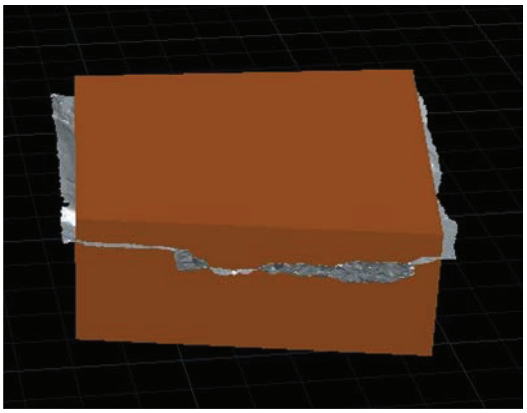
- Usunęły zduplikowane wierzchołki i powierzchnie;
- Usunęły powierzchnie „wiszące w powietrzu", czyli takie, które nie były połączone w żaden sposób z meshem;
- Usunęły poprzecinane wzajemnie krawędzie i powierzchnie;
- Usunęły elementy o powierzchni zerowej



Rysunek. 4 Przybliżona rzeźba terenu (obszar kopalni przed wydobyciem) (autor: Dominik Słowik)

Figure 4. Approximate terrain surface (author: Dominik Słowik)

Tak przygotowany mesh został zapisany do formatu *.dxf, dzięki czemu można było go wykorzystać do końcowego i docelowego etapu całego opracowania, czyli pomiaru objętości w programie AutoCAD. Przygotowana wcześniej płaszczyzna będąca cyfrowym odwzorowaniem powierzchni terenu kopalni odkrywkowej w Krapkowicach posłużyła do pomiaru objętości wydobytych złóż. Koncepcja tego pomiaru była prosta – wpasowanie w teren wyrobisk ziemnych bryły i ograniczenie jej od dołu przygotowaną płaszczyzną, a od góry płaszczyzną reprezentująca przybliżone ukształtowanie terenu przed rozpoczęciem wydobycia. Pojawił się tu drobny problem, a mianowicie nie dysponowano danymi ten temat dawnej rzeźby terenu. Dlatego też dla celów opracowania, po to, aby pokazać samą koncepcję pracy została przyjęta płaszczyzna czysto teoretyczna. Została ona stworzona na podstawie krawędzi poprowadzonych po najwyższych punktach terenu na graniach wykorzystywanej płaszczyzny i oznaczona kolorem czerwonym dla lepszej wizualizacji całego procesu (Rysunek 4).



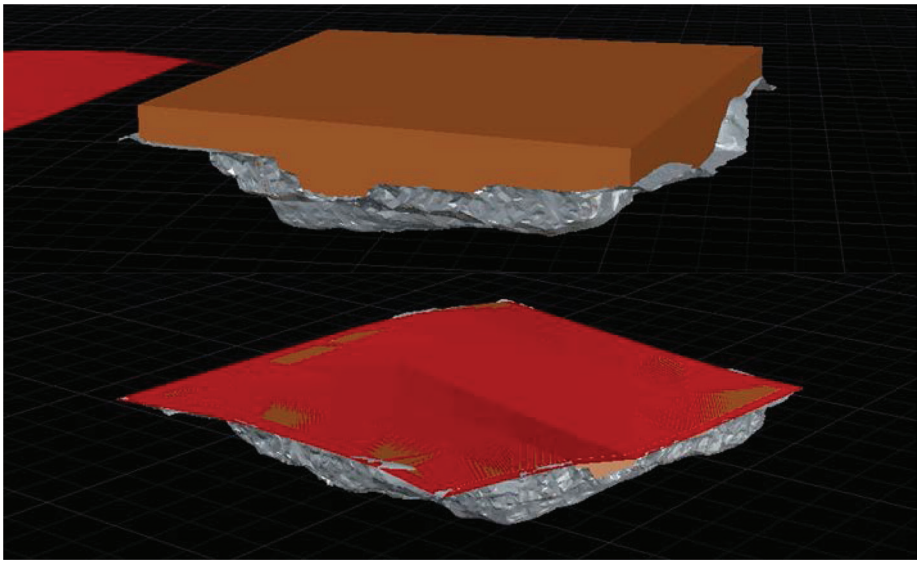
Rysunek 5. Wpasowanie bryły w powierzchnię terenu (autor: Dominik Słowik)
Figure 5. Fitting of a solid in the land plane (author: Dominik Słowik)

Kolejnym krokiem było wpasowanie bryły w obszar pomiaru. Bryła miała postać graniastosłupa o podstawie zbliżonej kształtami do rzutu obszaru opracowania na płaszczyznę. Należało jednak zadbać, aby bryła nie wychodziła swoimi granicami poza płaszczyznę terenu (Rysunek. 5), gdyż powodowało to błędy w działaniu programu.

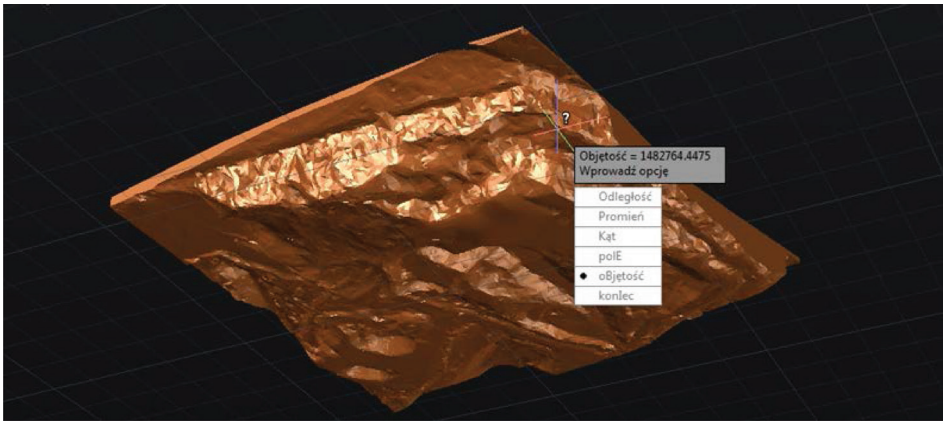
Aby uzyskać bryłę, która wypełniałaby obszar wyrobisk, graniastosłup został przecięty na dwie części. Niepotrzebne elementy bryły usunięto.

Ostatnią czynnością było określenie objętości wyciętej bryły. Wartość liczbową uzyskano za pomocą narzędzia obliczającego w zależności od wybranej opcji: wymiary, powierzchnię lub objętość wskazanych obiektów (Rysunek 6).

Objętość wydobytych złóż na badanym fragmencie obszaru kopalni odkrywkowej w Krapkowicach wyniosła 1 482 764 m^3 (Rysunek 7).



Rysunek 6. Ograniczanie bryły za pomocą płaszczyzn (autor: Dominik Słowik)
Figure 6. Limiting the solid using planes (author: Dominik Słowik)



Rysunek 7. Objętość bryły (autor: Dominik Słowik)
Figure 7. The volume of the solid (author: Dominik Słowik)

Wizualizacja złóż kopalni od strony powierzchni ziemi przedstawiają Rysunek 8 oraz Rysunek 9.

Rysunek 8. Wizualizacja złóż kopalni – widok 1 (autor: Dominik Słowik)
Figure8. Visualizationof the mine deposits-view1 (author: Dominik Słowik)

Rysunek 9. Wizualizacja złóż kopalni – widok 2 (autor: Dominik Słowik)
Figure 9. Visualization of the mine deposits – view2 (author: Dominik Słowik)

WNIOSKI

Celem opracowania było obliczenie objętości wydobytych złóż kopalni odkrywkowej znajdującej się w miejscowości Krapkowice na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego. Dążąc do osiągnięcia zamierzonego celu wykonano wiele czynności przygotowujących dane wejściowe. Ostatecznie pomimo napotkanych trudności udało się obliczyć objętość wydobytego materiału skalnego. Dokładność określenia objętości w sposób przedstawiony w pracy związana jest z kilkoma czynnikami. Pierwszy z nich to dokładność zarejestrowanej chmury punktów, która stanowiła podstawę wszystkich działań. Wynosi ona około 20 cm, co jest dobrym wynikiem. Drugi to dokładność tworzonego mesha stanowiącego model terenu. Ze względu na ograniczenia sprzętowe trzeba stosować generalizację szczegółów oraz zmniejszenia obszaru opracowania zapisywanego w jednym pliku. W pracy wypróbowano także przydatność darmowego oprogramowani dostępnego w internecie m.in. do poligonizacji chmury punktów i pracy z meshem. Oprogramowanie takie jak użyty GOM Inspect V8 czy MeshLab posiadają swoje minusy: w przypadku pierwszego z nich jest to wąski zakres obsługiwanych formatów danych, w przypadku drugiego skomplikowana obsługa chmury punktów. Pomimo tych wad zasługują one jednak na wysoką ocenę ze względu na dobrą optymalizację i szybkość działania. Można je z powodzeniem wykorzystywać w wielu rodzajach prac.

Lotniczy skaning laserowy to dość młoda, ale dynamicznie rozwijająca się metoda pomiarów. Już teraz jest on bardzo dobrym sposobem na uzyskiwanie danych cyfrowych, o terenie, które można wykorzystać np. przy obliczaniu mas ziemnych.

LITERATURA

Lapčík, V., Lapčíková, M. (2006). *Ocena wpływu górnictwa odkrywkowego na środowisko* Environmental Impact Assessment of Surface Mining, Geomatyki [online], tom IV, zeszyt 4.

https://pl.wikipedia.org/wiki/Krapkowice

Federal Geographic Data Committee Secretariat, *Geospatial Positioning AccuracyStandards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy* [online], 1998 r., Dostępne w Internecie: https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standardsprojects/ accuracy/part2

Dr inż. Bogusława Kwoczyńska, Dr inż. Izabela Piech
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 253a, 30-198 Kraków
Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii,
tel:(12) 662-45-05
rmkwoczy@cyf-kr.edu.pl
rmpiech@cyf-kr.edu.pl

Inż. Dominik Słowik

Wpłynęło: 10.03.2016
Akceptowano do druku: 21.04.2016