

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII MASOWEGO GROMADZENIA DANYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

THE USE OF MASS DATA COLLECTION TECHNOLOGY IN OPENCAST MINING

Marek Solowczuk - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Artykuł przedstawia przykłady i koncepcje wykorzystania danych w górnictwie odkrywkowym gromadzonych przy pomocy wybranych technologii masowej rejestracji danych: skaningu laserowego, metody stereofotogrametrii cyfrowej. Prezentowane przykłady dotyczą m.in. aspektów geologicznych, hydrogeologicznych, geotechnicznych i górniczych. Zaprezentowane zostaną m.in. przykłady dokumentowania budowy geologicznej i warunków geologiczno-inżynierskich.

Słowa kluczowe: geologia, górnictwo odkrywkowe, gromadzenie danych, skaning laserowy, fotogrametria cyfrowa, UAV

The paper presents examples and concepts of using data in open-pit mining using selected mass-data recording technologies: laser scanning, digital stereophotogrammetry. Presented examples include: geological, hydrogeological, geotechnical and mining aspects. There will be presented, among others: examples of documentation of geological structure, geological-engineering conditions.

Keywords: geology, opencast mining, data collection, laser scanning, digital photogrammetry, UAV

Wstęp

Czasami podejmując się, skrótowego chociażby, opisu wybranego tematu próbujemy dotrzeć do jego początków. Ślady mniej lub bardziej wnikliwego śledztwa nierzadko kierują nas w coraz odleglejsze czasy, doprowadzając nawet aż do wieków antycznych.

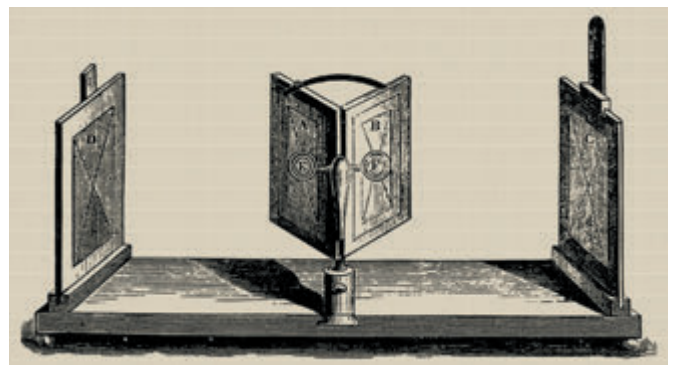


Rys. 1. Fragment górnopaleolitycznego rysunku z jaskini Chauvet
Fig. 1. Fragment of upper paleolithic drawing from the Chauvet cave

Jednak w przypadku zagadnienia o którym mowa w tytule, wydawać by się mogło, że tego akurat artykułu nie da się rozpocząć zwrotem „Już starożytni...”. No, bo gdzie masowemu gromadzeniu danych sięgać do szlachetnych korzeni antycznych? I rzeczywiście, nie w starożytności to się zaczęło...

Zaryzykowałbym jednak tezę, że udokumentowane początki gromadzenia informacji o otaczającym nas świecie sięgają zdecydowanie odleglejszych czasów. No, bo czymże są sceny, a nawet całe galerie obrazów w jaskiniach Altamiry, Lascaux czy Chauvet, jeżeli nie jedną z pierwszych tak oczywistych prób utrwalenia obrazu otaczającego naszych przodków świata?

Fakt to tym bardziej godzien odnotowania, że ówczesne obrazy świata, liczące sobie – bagatela – ok. 25-30 tys. lat wyróżniają się dwiema dziś bardzo pożądanymi cechami, które winny charakteryzować gromadzone dane: trwałością i niezwykłą



Rys. 2. Pierwszy stereoskop, skonstruowany przez Sir Charlesa Wheatstone'a
Fig. 2. The first stereoscope, constructed by Sir Charles Wheatstone

trafnością syntezy informacji. Co do trwałości zgromadzonej informacji nie trzeba chyba nikogo przekonywać¹. Odnośnie syntetyczności przekazu: to, co dla części szczęśliwców, którym udało się zobaczyć oryginały naskalnego przekazu być może wydawać się prymitywne, w istocie jest bardzo celną syntezą wiedzy o części ówczesnego świata.

Owe kreski i barwne pola, które pozostawił po sobie paleolityczny dokumentator trafiają w sedno rzeczy, zjawiska, które przedstawiają – nie mamy przecież wątpliwości, że oto przed nami scena polowania, galopu żubrów. Jeżeli dodamy do tego informację, że pradokumentator, czy może już raczej artysta, wykorzystał naturalną rzeźbę skalną, jej wybrzuszenia i załamania, jawi nam się ze zgromadzonych danych obraz cokolwiek przestrzenny...

Oczywiście, powyższy wywód nie ma nic wspólnego z gromadzeniem danych przydatnych dla górnictwa. Chciałbym jednak zwrócić uwagę Czytelnika na fakt, że dążenie do poznawania świata, próby zapisu obrazu rzeczywistości sięga zdecydowanie dalej niż najstarsze nawet ślady kultury antycznej...

Z odległego paleolitu (aczkolwiek chyba zdecydowanie nam bliższego niż na ogół się sądzi) wróćmy jednak do czasów zdecydowanie nam bliższych.

Oto, bowiem w latach 30-tych XIX w. Sir Charles Wheatstone konstruuje pierwszy stereoskop, czyli urządzenie do oglądu stereoskopowego².

Fakt skonstruowania stereoskopu jest o tyle istotny, że ok. 100 lat później, w latach 20-tych XX w. szereg krajów (m.in. USA, Kanada, Australia) uruchamia zakrojone na szeroką skalę programy rządowe, których głównym zadaniem jest opracowanie map geologicznych. Mapy te tworzone są głównie w oparciu o zdjęcia lotnicze z wykorzystaniem metod fotogrametrycznych właśnie.

W latach 60-tych XX w. wynaleziony zostaje laser. Jego adaptacja (połączenie lasera z teleskopem) umożliwi opracowanie nowych technologii pomiarowych (skaniny laserowej). Technologia ta wykorzystana została w latach 70-tych XX w. do zgromadzenia danych terenowych, które posłużyły Amerykańskiej Służbie Geologicznej do stworzenia pierwszego numerycznego modelu terenu.

Lata 90-te XX w. przynoszą odrodzenie stereofotogrametrii, tym razem już w wydaniu cyfrowym.

Dośkonalenie zarówno technologii skaniny laserowej jak i stereofotogrametrii cyfrowej powoduje, że metody te nabierają coraz większego znaczenia w górnictwie odkrywkowym.

Pojawienie się w drugiej dekadzie XXI w. nowego nośnika sprzętu w postaci bezzałogowych statków powietrznych (ang. Unmanned Aerial Vehicle) spowodowało zdecydowany wzrost zainteresowania masowym gromadzeniem danych wykorzystującym metody fotogrametryczne (a mówiąc ściślej przede

wszystkim metodę stereofotogrametryczną³).

Skaniny laserowe czy metody fotogrametryczne?

Tytuł niniejszego akapitu zwraca uwagę na istotną kwestię dotyczącą ewentualnego wyboru jednej z dwóch dominujących obecnie technologii masowego gromadzenia danych.

Zasadnicza różnica między tymi metodami polega na tym, że w przypadku metody skaniny laserowej położenie rejestrowanego punktu jest daną pierwotną, czyli wyznaczaną poprzez pomiar odległości z punktu o określonych współrzędnych przestrzennych do badanych punktów i wyznaczeniu ich położenia w przyjętym układzie współrzędnych przestrzennych.

W przypadku metody fotogrametrycznej współrzędne punktów są informacją wtórną będącą pochodną procesu aerotriangulacji zdjęć.

Elementem wspólnym obu technologii, zresztą bardzo istotnym z punktu widzenia dokumentowania sytuacji w zakładzie górnictwem, jest pokrywanie stworzonego w ten czy inny sposób modelu trójwymiarowego powierzchni wyrobiska treścią zdjęć fotograficznych. Ta właśnie cecha, czyli obraz przestrzenny wyrobiska wzbogacony fotograficzną wiernością szczegółów jest jedną z najistotniejszych cech obu ww. technologii masowego gromadzenia danych⁴.

Przykłady

Poniżej przedstawione zostały wybrane przykłady wykorzystania metod masowego gromadzenia danych w górnictwie odkrywkowym. Przykłady te skupiają się głównie na dwóch wątkach: wykonywaniu obliczeń ruchu mas (które stanowią *de facto* jeden z elementów gospodarki złożem) oraz na wątku dokumentowania budowy geologicznej.

Obsługa ruchu mas gromadzonych w zasobnikach

Przykład przedstawiony poniżej stanowi jedno z zadań najczęściej realizowanych przez służbę mierniczą: obmiar urobku, który składowany jest w zasobnikach, celem bieżącej aktualizacji zasobów. Widok zasobnika przedstawiony został na rysunku 3.

Obecnie najczęściej stosowanym narzędziem przy realizacji tego zadania jest zestaw GPS + Total Station. Niestety metoda ta, jak zresztą każda, ma swoje ograniczenia. Przede wszystkim problemem jest efektywność bieżącej aktualizacji stanu oraz konieczność fizycznej obecności człowieka na mierzonym obiekcie. To z kolei, z uwagi na trwający cykl technologiczny, powoduje czasami konieczność zatrzymania ruchu maszyn (czyli dostawy urobku) na czas pomiaru.

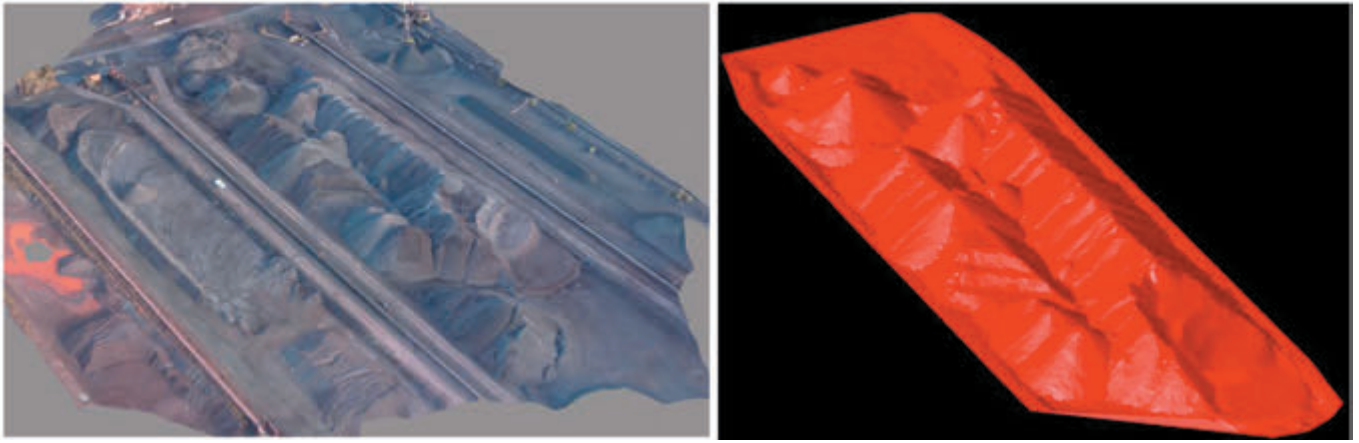
Rzeczą bardzo istotną jest efektywność rejestrowania i opracowywania materiału terenowego. W przykładzie, który zobrazowany jest na rysunku 3 czas gromadzenia danych w te-

¹ Niestety masowy napływ zwiedzających spowodował zmiany w mikroklimacie jaskiń i konieczność zamknięcia ww. jaskiń.

² Notabene prawdopodobnie czerpiąc obficie z prac XVI-wiecznego fizyka włoskiego Giambattisty della Porta...

³ Znaczący wzrost popularności metod fotogrametrycznych wykorzystujących UAV jako platformę nośną i ich (raczej chwilowa) przewaga nad metodą skaniny laserowej wynika dziś głównie z dwóch zasadniczych przyczyn: ograniczonego udźwigu bezzałogowych statków powietrznych oraz zdecydowanie niższej ceny kamer rejestrujących obraz w paśmie widzialnym dla oka ludzkiego w stosunku do cen skanerów laserowych. Dostępne są już jednak komercyjnie pierwsze zestawy złożone m.in. z platformy nośnej (UAV) i skanera laserowego.

⁴ Oczywiście zakres gromadzonych danych można rozszerzyć poprzez wykorzystanie obrazowania multispektralnego czy - idąc jeszcze dalej - hiperspektralnego. Jednak z uwagi na ograniczoną objętość niniejszego artykułu z jednej strony, z drugiej zaś na utrzymanie celu niniejszego artykułu, którym jest przede wszystkim zasygnalizowanie potencjału jaki niosą metody masowego gromadzenia danych, autor ograniczył się do przedstawienia jedynie wybranych technologii.



Rys. 3. Widok zasobnika z urobkiem oraz model geometryczny powierzchni zdeponowanego urobku
Fig. 3. A view of the tray with the output and the geometrical model of the surface of the deposited output

renie przy pomocy ww. zestawu GPS + Total Station wynosił ok. 8 godzin. W przypadku wykorzystania bezzałogowego statku powietrznego (UAV) czas pozyskiwania danych wynosił ok. 30 minut.

Istotna różnica dotyczy również opracowania danych. Uzyskanie modelu przestrzennego zasobów w zasobniku uległo skróceniu o ok. połowę (z 4-ch do 2-ch godzin).

Kolejnym aspektem wartym podkreślenia jest również dokładność uzyskanego modelu geometrycznego zasobów. Po ok. miesiącu testowania rozwiązania polegającego na równoległym prowadzeniu pomiarów przy pomocy zestawu GPS + Total Station i fotogrametrii cyfrowej okazało się, że różnice między objętościami zasobów liczonymi obiema metodami są nie większe niż 1% [2].

Taka precyzja pomiaru została osiągnięta przy zdjęciach wykonywanych z wysokości 100 m. Pozwoliło to uzyskać rozdzielczość fotografii na poziomie 2-5 cm na pixel. Dodatkowo do kalibracji modelu wykorzystano punkty kontrolne, co ostatecznie pozwoliło na uzyskanie dokładności modelu rzędu kilku centymetrów dla wszystkich trzech współrzędnych (X,Y,Z) [1].

Tworzenie modelu przestrzennego wyrobiska

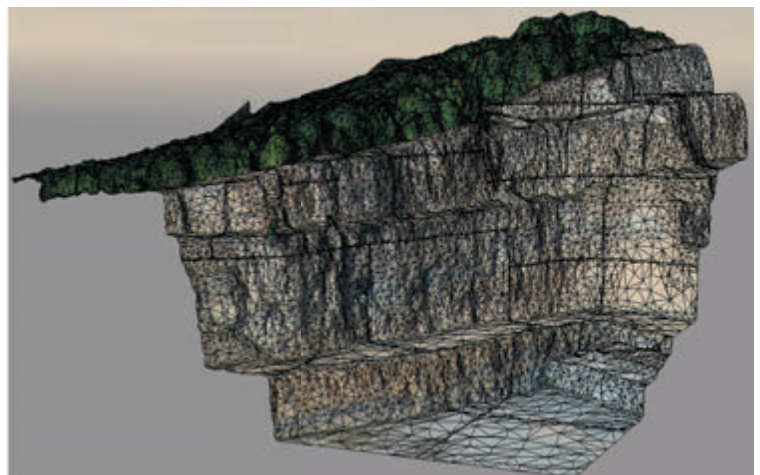
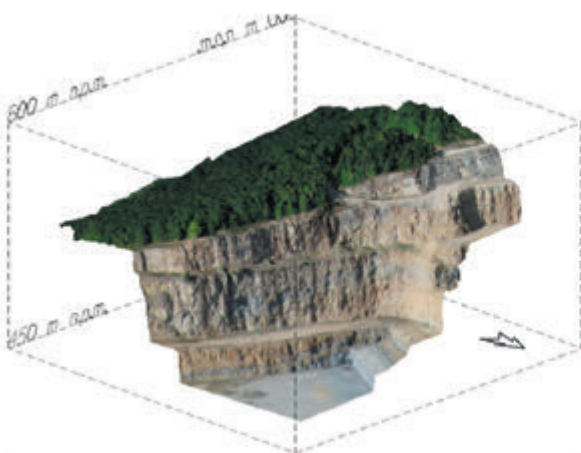
W przypadku branży górniczej rzeczą bardzo istotną dla dalszego sprawnego prowadzenia prac kameralnych

jest sprawne tworzenie modelu przestrzennego wyrobiska. Na rysunku 4 przedstawiony został przykład fragmentu modelu wyrobiska wykonanego z wykorzystaniem metody fotogrametrii cyfrowej. Fotografie wykonane zostały przy pomocy aparatu zainstalowanego na bezzałogowym statku powietrznym. Model powierzchni wyrobiska można jednocześnie traktować, jako materiał dokumentacyjny, zawierający informacje zarówno dotyczące budowy geologicznej jak i warunków hydrologicznych, hydrogeologicznych oraz sytuacji geologiczno-inżynierskiej.

Dokumentowanie budowy geologicznej

Możliwość rejestrowania sytuacji geologicznej w terenie, z fotograficzną wiernością, stanowić może znaczące wsparcie w realizacji jednego z podstawowych obowiązków służby geologicznej, jakim jest bieżące dokumentowanie budowy geologicznej. Na rysunku 5 przedstawiony został szkic procesu dokumentowania budowy geologicznej oraz aktualizacji elementów modelu strukturalnego złoże. Proces aktualizacji elementu modelu złoże, którym jest model stropu powierzchni pokładu, można wyobrazić sobie w sposób następujący:

- wykonanie modelu wyrobiska lub tego fragmentu, w którym prowadzona była eksploatacja,

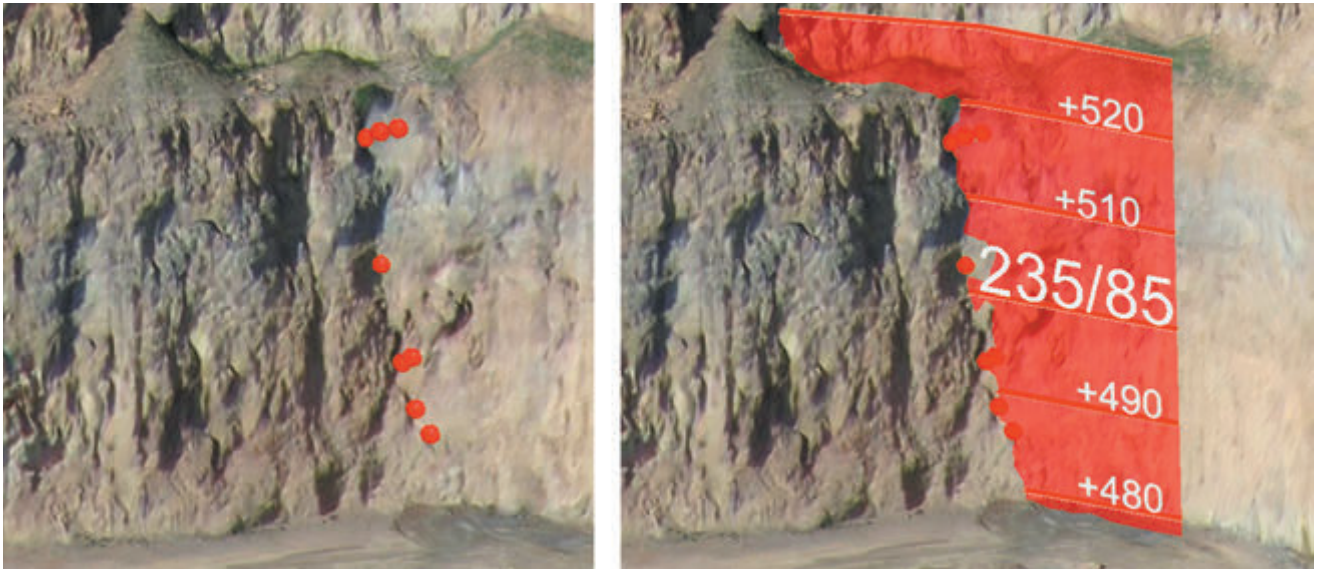


Rys. 4. Fragment modelu wyrobiska stworzony na podstawie zdjęć zarejestrowanych przy pomocy aparatu fotograficznego zamontowanego na bezzałogowym statku powietrznym

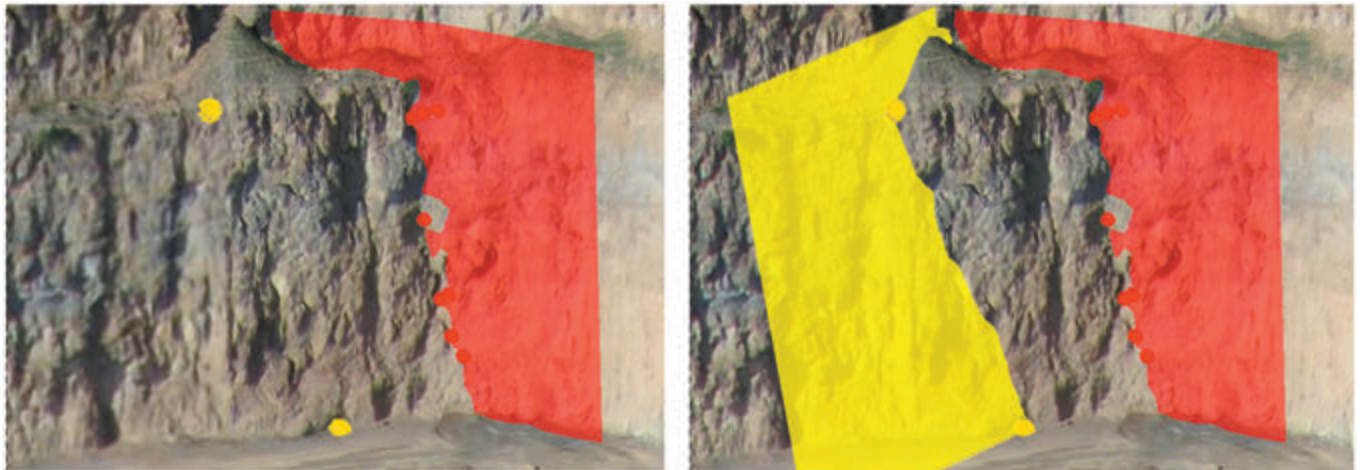
Fig. 4. A part of the open-pit mine model created on the basis of photographs recorded with a camera mounted on a unmanned aircraft



Rys. 5. Proces dokumentowania budowy geologicznej i aktualizacji modelu złoża z wykorzystaniem metody fotogrametrii cyfrowej
 Fig. 5. Geological structure documentation process and upgrading of the bed model using digital photogrammetry



Rys. 6. Przykład wykorzystania modelu przestrzennego wyrobiska do identyfikacji i budowy modelu przestrzennego uskoku. Model przestrzenny uskoku uzupełniony został o podstawowe atrybuty charakteryzujące uskoku: azymut biegu i kąt upadu powierzchni uskoku
 Fig. 6. An example of using an open cast mine spatial model to identify and construct a fault three-dimensional model. The spatial model of the fault was supplemented by the basic attributes characterized by the fault: the azimuth of the run and the dip angle of the fault surface



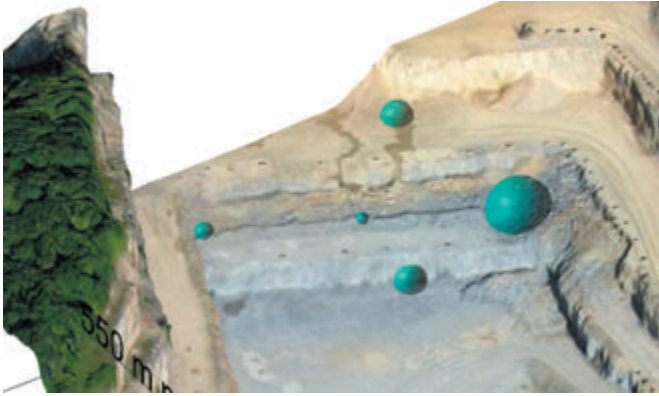
Rys. 7. Widok fragmentu modelu powierzchni wyrobiska ze zidentyfikowanymi dwoma systemami nieciągłości. Identyfikacja ww. struktury jest niezwykle istotna dla bezpieczeństwa eksploatacji złoża i winna być uwzględniona w planowanych robotach górniczych
 Fig. 7. View of the fragment of excavation surface model with identified two discontinuity systems. Identification of the above. The structure is extremely important for the safety of the deposit and should be included in the planned mining operations

- identyfikacja elementów budowy geologicznej istotnej z punktu widzenia obsługi geologicznej zakładu górniczego, wprowadzenie punktów stwierdzeń stropu pokładu do modelu stropu,
- aktualizacja elementów modelu strukturalnego złoża.

Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich

Rysunek 6 przedstawia przykład wykorzystania informacji zawartych w modelu wyrobiska do zidentyfikowania i wykona-

nia modelu przestrzennego uskoku. Sytuacja przedstawiona na skarpie zbocza zinterpretowana została, jako ślad intersekcyjny nieciągłości tektonicznej. Następnie wprowadzone zostały punkty stwierdzeń posiadające trzy współrzędne. W oparciu o wprowadzone punkty stwierdzeń wykonany został model przestrzenny uskoku (zawierający m.in. informacje o azymucie biegu, upadu i kącie upadu). Model ten może być dalej ekstrapolowany w dalsze partie złoża.



Rys. 8. Fragment modelu powierzchni wyrobiska ze zidentyfikowanymi miejscami wycieku i wypływu wód. Średnica kuli określa wielkość wypływu wody z danego miejsca

Fig. 8. A fragment of the excavation surface model with identified places of water leakage and discharge. The mean of the sphere determines the amount of water flow from a given site

Kontynuacja analizy warunków geologiczno-inżynierskich spowodowała identyfikację kolejnej powierzchni nieciągłości. Analiza przestrzenna obu nieciągłości pozwala na identyfikację potencjalnego klina wyłamu - sytuacji stanowiącej potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa eksploatacji.

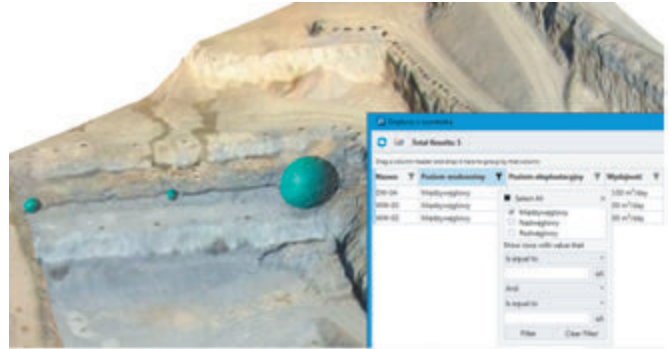
Dokumentowanie warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych

Kolejnym przykładem wykorzystania technologii masowego gromadzenia danych w górnictwie odkrywkowym jest wykorzystanie modelu powierzchni wyrobiska do dokumentowania i analizy sytuacji hydrologicznej i hydrogeologicznej.

Na rysunku 8 przedstawiony został fragment modelu wyrobiska dokumentujący m.in. wycieki i wypływy ze skarp.

Uzupełniając zestaw zgromadzonych danych (tu lokalizację punktów wypływu wód) o dodatkowe dane dotyczące np. wielkości wypływu, poziomu wodonośnego, czy właściwości fizykochemicznych wody można rozszerzyć zakres analizy danych.

Rysunek 9 prezentuje przykład analizy, której wynikiem jest identyfikacja wypływów wody o zadanej wielkości pochodzących z wybranego poziomu wodonośnego.



Rys. 9. Przykład analizy warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych w wyrobisku: punkty stwierdzeń wypływu wód w wyrobisku spełniające kryteria. Obraz uzupełniony został o informację opisową zawierającą wartości atrybutów miejsc wypływu wód

Fig. 9. An example of analysis of hydrological and hydrogeological data: the points of water discharge meeting the criteria. The image was supplemented with descriptive information containing the values of the attributes of the water outflow points

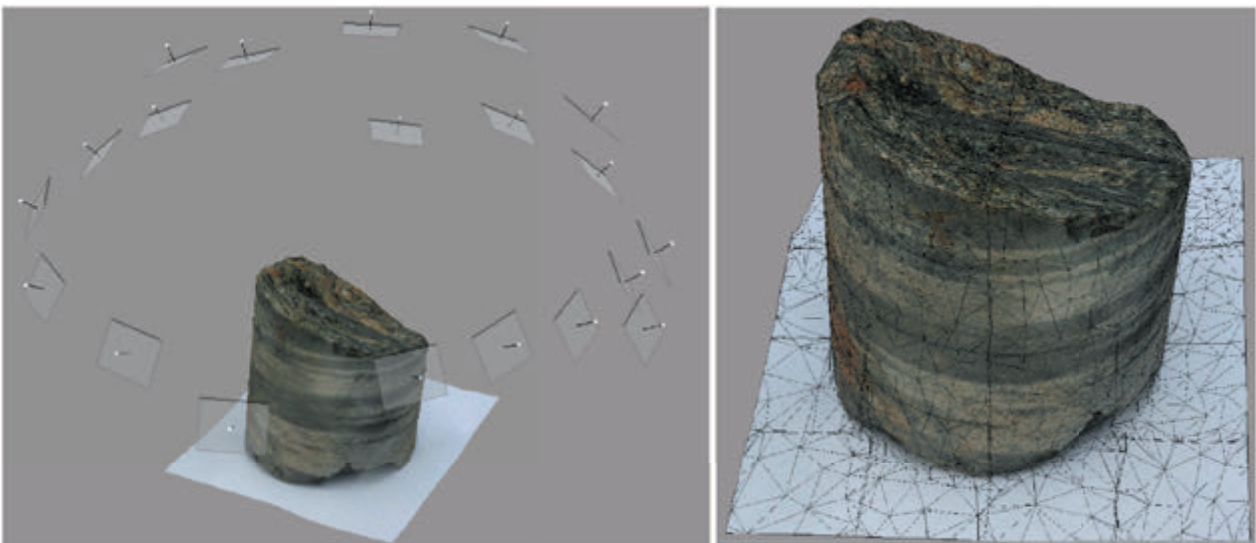
Inne przykłady: dokumentowanie rdzeni wiertniczych

Na koniec przykład prezentujący nieco inny aspekt wykorzystania fotogrametrii cyfrowej w dokumentowaniu danych geologicznych. Na rysunku 10 przedstawiony został fragment rdzenia z otworu wiertniczego, a właściwie jego trójwymiarowy obraz fotograficzny.

Trójwymiarowa dokumentacja fotograficzna rdzeni wiertniczych stanowić może cenne uzupełnienie informacji pochodzących z otworu wiertniczego zawartych na karcie otworu czy też w postaci tradycyjnych zdjęć fotograficznych. Odpowiednie skalibrowanie rdzenia podczas tworzenia dokumentacji fotograficznej (zorientowanie go w przestrzeni) oraz odpowiednie wyskalowanie modelu rdzenia pozwala nie tylko na szczegółowe oddanie cech makroskopowych, ale i ich orientację przestrzenną. Taka informacja może być wykorzystana chociażby zarówno do uszczegóławiania jak i weryfikacji budowy geologicznej.

Podsumowanie

Zastosowanie technologii masowego gromadzenia danych w górnictwie odkrywkowym z pewnością nie jest i nie będzie



Rys. 10. Model przestrzenny fragmentu rdzenia wiertniczego. Po prawej stronie widoczny model powierzchni rdzenia w postaci siatki trójkątów

Fig. 10. Spatial model of a drill core fragment. On the right side visible pattern of the core surface in the form of a grid of triangles

panaceum na wszelkie problemy, z jakimi borykają się służby zakładów górniczych. Jednak w wielu przypadkach stanowić może alternatywę czy istotne uzupełnienie obecnie stosowanych metod i narzędzi obsługi mierniczo-geologicznej.

Możliwość tworzenia modeli przestrzennych w oparciu o dane pozyskane zarówno metodą skaningu laserowego jak i uzyskane przy pomocy metody stereofotogrametrii cyfrowej, stanowi zdaniem autora kolejny krok w kierunku usprawnienia pracy m.in. służby mierniczej, geologicznej.

Pokrycie modelu wyrobiska przestrzennym obrazem

fotograficznym zdecydowanie poprawia efektywność prac terenowych. Pozwala to z kolei na skupienie się na tej części pracy geologa, która jest zadaniem najtrudniejszym, ale zarazem najistotniejszym i najciekawszym: na analizie i interpretacji sytuacji w złożu i prognozowaniu warunków geologiczno-złożowych. W konsekwencji zaś na prowadzenie dalszej eksploatacji w sposób umożliwiający zachowanie równowagi między ryzykiem, które zawsze towarzyszy działalności górniczej (zagrożenia dla ludzi, wpływ eksploatacji na środowisko), a opłacalnością ekonomiczną.

Literatura

- [1] Lipiński M. *Tworzenie modeli ze zwykłych zdjęć*, Bentley Geomagazyn, 2015 r. (dodatek miesięcznika Geodeta, nr 05.2015)
- [2] Bentley Systems Inc. An enhanced workflow for stockpiles volume measurement. Case Study: stockpiles
- [3] Sołowczuk Marek. *Budowa przestrzennych modeli wyrobisk górniczych z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej*. IX Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. Bełchatów, 11-13 kwietnia 2016
- [4] Accute 3D. Smart 3D Capture – Guide for photo acquisition (www.accute3d.com)
- [5] Bentley Systems Inc. Advancing reality modeling with ContextCapture. Product Data sheet
- [6] Bentley Systems Inc. ContextCapture – User Manual, 2015



Tajemnica światła

Fot. Renata S-K