

Ocena możliwości wykorzystania skaningu laserowego do budowy modeli numerycznych

JANUS JAKUB

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania wyników skaningu laserowego do budowy modeli geometrycznych na podstawie których przeprowadzane są symulacje numeryczne. Podczas badań symulacyjnych bardzo dużą wagę należy zwrócić na poprawne odwzorowanie modelu rzeczywistego dla którego przeprowadzane są badania. Niejednokrotnie złożona geometria jak np. wyrobiska górniczego stwarza bardzo wiele problemów w jej dokładnym odwzorowaniu w związku z czym konieczne jest zastosowanie nowych technik pomiarowych. Jedną z takich technik jest wykorzystanie skaningu laserowego. Stwierdzono, że uzyskana w procesie skanowania chmura punktów, zorientowanych w przestrzeni, pozwala na bardzo dokładne i szybkie wygenerowanie trójwymiarowego modelu skanowanego obiektu.

Słowa kluczowe: skanowanie laserowe, numeryczna mechanika płynów, geometria modelu numerycznego

1. Wprowadzenie

Wiedza o przepływach powietrza kopalnianego w wyrobiskach ma znaczenie dla bezpieczeństwa i efektywności prac górniczych. W tej dziedzinie jest wiele problemów, które nie zostały rozwiązane w zadowalający sposób, lub mogą być lepiej rozwiązane. Coraz częściej w tej dziedzinie osiąga się postęp dzięki symulacjom wykorzystującym metody numerycznej mechaniki płynów. Liczne porównania symulacji i danych pomiarowych wskazują na to, że dla danej klasy zagadnień należy dobrać optymalną metodykę modelowania (ang. *best practice*). Dla wielu problemów istnieją zestawy zaleceń (ang. *best practice guidelines*) odnośnie całego procesu modelowania – budowy geometrii modelu, budowy siatek obliczeniowych, doboru modeli turbulencji. Jednak do tej pory nie stworzono uniwersalnej metody i trwa proces formułowania odpowiednich zaleceń do przeprowadzania symulacji numerycznych w środowisku kopalnianym, która gwarantują dobre rezultaty w porównaniu do danych pomiarowych.

W procesie symulacji numerycznych można wydzielić trzy zasadnicze etapy pracy:

- pre-processing – przygotowanie do obliczeń
- processing – rozwiązanie zagadnienia
- post-processing – przetwarzanie wyników obliczeń

Etap przygotowania do obliczeń zawiera czynności umożliwiające komputerowe rozwiązanie zagadnienia. Należy zaprojektować geometrię obszaru obliczeniowego, następnie wygenerować siatkę numeryczną pokrywającą obszar obliczeniowy, określić rodzaj warunków brzegowych dla obszaru oraz zadać parametry fizyczne przepływu. Dla zagadnień przepływowych w środowisku kopalnianym jedną z przeszkód w stworzeniu odpowiednich wytycznych do przeprowadzania symulacji numerycznych jest stworzenie modelu geometrycznego, który w sposób wiarygodny będzie odwzorowaniem geometrii wyrobiska górniczego. W związku z tym, w chwili obecnej geometria modelu wyrobiska górniczego nie jest odwzorowaniem obiektu lecz jego dość zgrubną reprezentacją. Budując model dokonuje się uproszczeń opisu obiektu. Uproszczenia takie niejednokrotnie są konieczne dla uzyskania jasnego obrazu badanego zjawiska

oraz do skrócenia czasu obliczeń numerycznych. Jednak wymagana jest wiedza dotycząca wpływu takich uproszczeń na zmianę dokładności uzyskiwanych wyników obliczeń. Jednym z warunków koniecznych do zdobycia tej wiedzy jest pozyskanie dokładnych informacji o geometrii wyrobiska górniczego. Klasyczne metody pomiaru wymagają bardzo dużego nakładu czasu i pracy wielu osób, niejednokrotnie w warunkach zagrażających ich zdrowiu i życiu.

Aby pozyskać wystarczającą ilość danych o obiekcie konieczne jest poszukiwanie nowych metod pomiarowych, które umożliwią szybkie pozyskanie wystarczająco dokładnych informacji potrzebnych do odwzorowania obiektów również tych, które są skomplikowane pod względem kształtu, i których pomiar za pomocą klasycznych metod byłby bardzo trudny, niekiedy wręcz niemożliwy.

2. Symulacje numeryczne na skomplikowanych geometrycznie modelach numerycznych

Geometria wyrobiska górniczego stwarza wiele problemów w procesie tworzenia modeli numerycznych. Dysponując standardowymi technikami pomiaru (metr, dalmierz laserowy) bardzo ciężko jest odwzorować takie elementy jak:

- skrzyżowania wyrobisk,
- wypiętrzenia spagu,
- zaciśnięcie wyrobiska,
- odkształcenia obudowy łukowej,
- nierównomierne rozmieszczenie obudowy łukowej,
- występowanie w wyrobisku urządzeń górniczych tj. przenośnik taśmowy, kombajn, lutniociąg, zapory pyłowe, przewody hydrauliczne, rurociągi.

Jednym z przykładów próby odwzorowania geometrii wyrobiska górniczego o komplikowanej budowie jest chodnik upadowy IV-S, wylot ze ściany 303-S PN w kopalni KWK Murcki-Staszic (rys. 1). W odcinku chodnika od strony napływu znajdowały się liczne źródła zaburzeń przepływu, takie jak podwójne odrzwia tamy bezpieczeństwa, palisada stojaków, kaszty oraz pryzma urobku.



Fragment wyrobiska między kasztami i ociosem



Część przekroju wyrobiska bez przeszkód



Zdjęcie podczas układania worków



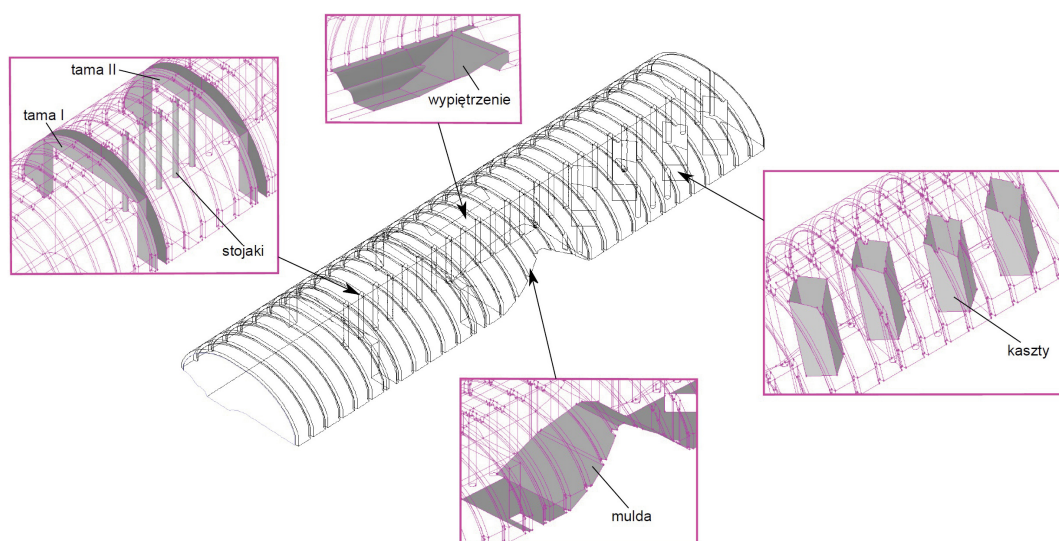
Stan po ułożeniu przeszkody

Rys. 1. Zdjęcia chodnika upadowego IV-S, Wylot ze ściany 303-S PN, KWK Murcki-Staszic

Na podstawie dokumentacji fotograficznej oraz pomiarów przy użyciu metra przystąpiono do etapu pre-processingu mającego na celu stworzenie modelu geometrycznego badanego odcinka wyrobiska. Obszar obliczeniowy (rys. 2) miał łączną długość 24 m i obejmował:

- odcinek w obudowie łukowej od wlotu do pierwszych odrzwi, w którym nie uwzględniono obecności stojaków,
- parę odrzwi tam bezpieczeństwa o rozstawie i wymiarach zgodnych z danymi kopalni,
- obecność stojaków.

Odcinek od drugich odrzwi do wylotu, zawierający przekrój pomiarowy i miejsce budowy przeszkody z worków. W odcinku tym łuki początkowo były podparte stojakami a po lewej stronie (patrząc w stronę napływu powietrza) znajdowała się przyzma urobku pozostałego po przebiegce spągu. Dalej oprócz stojaków stosowano kaszty do podparcia łuków obudowy. W modelu uwzględniono wymiary i nieregularności ich ułożenia.



Rys. 2. Model numeryczny chodnika upadowego IV-S, Wylot ze ściany 303-S PN, KWK Murcki-Staszic

Poza lokalnymi zwężeniami związanymi z obecnością odrzwi i wypiętrzeń spągu przyjęto stały przekrój zgodny z przekrojem pomiarowym. Geometria modelu zawiera dużą ilość szczegółowo przedstawionych obiektów. Uznano, że w odcinku przed pierwszymi odrzwiami nie ma konieczności uwzględniania obecności stojaków, gdyż ich wpływ jest mały w porównaniu z innymi przeszkodami w przepływie położonymi bliżej przekroju pomiarowego.

Otrzymane wyniki obliczeń, [3], wskazywały różnice wskazań symulacji numerycznej w odniesieniu do wartości pomiarowych prędkości przepływu powietrza a w szczególności dla punktów pomiarowych znajdujących się w okolicach kasztów. Przyczyną tych różnic jest bardzo zróżnicowana geometria wyrobiska i znajdujących się w tym odcinku elementów, których dokładniejsze odwzorowanie jest praktycznie niemożliwe.

Doświadczenie wynikające z przeprowadzania symulacji numerycznych dla środowiska kopalnianego pozwala stwierdzić następujące wnioski:

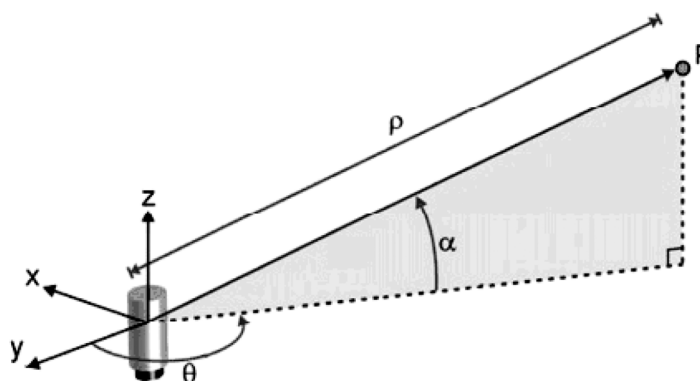
- symulacje numeryczne dla skomplikowanych geometrii wyrobisk nie dają wystarczająco dobrych wyników obliczeń w odniesieniu do wyników pomiarów,
- wykorzystywane techniki pomiarów geometrii wyrobiska (metr, dalmierz laserowy) nie pozwalają na dobre odzwierciedlenie w geometrii modelu numerycznego,
- warunkiem otrzymania najbardziej dokładnych wyników symulacji do wyników pomiarów jest wydłużony czas samego procesu modelowania numerycznego.

3. Naziemny skaningu laserowy

Stały rozwój nowych technologii spowodował upowszechnienie się metod wcześniej zarezerwowanych wyłącznie dla bardzo wąskiej grupy odbiorców. Przykładem takiej technologii są urządzenia inżynierii

odwrotnej tj skanery 3D. Możliwość tych urządzeń w połączeniu z zaletami systemów CAD tworzą nowe możliwości dotychczas nieosiągalne innymi technikami.

Naziemny skaningu laserowy jest technologią pozyskiwania informacji o kształcie obiektu, opierającą się na bardzo szybkim wyznaczeniu współrzędnych X,Y,Z ogromnej ilości punktów. Uzyskana w procesie skanowania chmura punktów, zorientowanych w przestrzeni, pozwala na bardzo dokładne i szybkie wygenerowanie trójwymiarowego modelu skanowanego obiektu. Dzięki rozwojowi oprogramowania proces obróbki, tak dużej liczby danych staje się coraz wydajniejszy, a także otrzymujemy coraz lepsze narzędzie służące różnego rodzaju analizom. Naziemny skaningu laserowy realizowany jest poprzez wykorzystanie skanerów 3D będącymi urządzeniami optoelektronicznymi stworzonymi głównie na potrzeby tzw. projektowania odwrotnego tj. procesu projektowania przemysłowego dokonywanego na bazie istniejących obiektów. Zasada działania skanera laserowego opiera się na fazowej metodzie pomiaru odległości bazującej na właściwościach fali emitowanej przez laser. Emitowana fala po kontakcie z obiektem wraca odbita do skanera, odległość jest określana na podstawie pomiaru przesunięcia fazy fali światła podczerwonego. Jest to bieżunowa metoda pomiaru, gdzie położenie punktu określa się za pomocą kąta poziomego i pionowego, a także odległości od mierzonego punktu. Kąty określone są na podstawie położenia luster rozpraszających wiązkę lasera. W celu ustalenia położenia punktu P muszą być znane: długość promienia ρ , jak również wartości kątów α i θ (rys. 3).



Rys. 3. Schemat działania naziemnego skaningu laserowego

Jednym ze skanerów 3D dostępnym na rynku jest skaner laserowy FARO Focus 3D. Jest to urządzenie bardzo kompaktowe, o wymiarach zaledwie 0,24×0,20×0,10 m i wadze 5 kg. Charakteryzuje się zasięgiem od 0,6 m do 120 m zarówno wewnątrz i na zewnątrz obiektu dla słabego światła otoczenia oraz promienia lasera padającego pod kątem prostym na powierzchnię o współczynniku odbicia wynoszącym 90%. Skaner ten cechuje się wysoką prędkością pomiaru – w zależności od rozdzielczości skanu od 120 000 pkt./s aż do 976 000 pkt./s. Błąd pomiaru odległości to 0,002 m. Pole widzenia dla urządzenia to 360° w płaszczyźnie poziomej oraz 305° w płaszczyźnie pionowej.

Na podstawową procedurę wykonania skaningu laserowego składają się:

- rozmieszczenie tzw. sygnałów (znaczków pomiarowych o określonych współrzędnych),
- umieszczenie instrumentu na odpowiednim stanowisku,
- określenie obszaru objętego skanowaniem,
- rozpoczęcie właściwego skanowania.

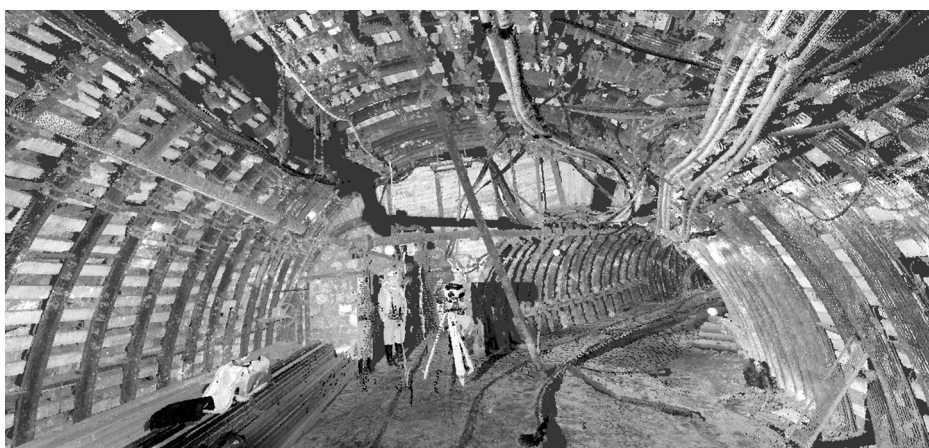
Zadaniem znaczków jest umożliwienie łączenia ze sobą skanów z kolejnych stanowisk a także zorientowanie w wybranych układach współrzędnych. W dalszej kolejności zbiór skanów wymaga poddania procesowi przetwarzania – pre-processingowi. W ramach pre-processingu wykonuje się filtrację chmury punktów polegającą na czyszczeniu, usuwaniu szumów pomiarowych oraz nieciągłości. Kolejnym etapem prac jest zaawansowane przetwarzanie chmur punktów, polegające na wygenerowaniu modeli 3D obiektów ze zorientowanych i przefiltrowanych już danych przy użyciu specjalnego oprogramowania.

Wyniki skaningu przy użyciu skanera laserowego FARO Focus 3D w postaci przefiltrowanej chmury punktów skrzyżowania wyrobisk górniczych w jednej z polskich kopalń zostały przedstawione na rysunkach 4-6. Analizując uzyskaną chmurę punktów należy stwierdzić bardzo dokładne odwzorowanie całej przestrzeni wyrobiska ze szczególnym uwzględnieniem nierówności spągu, zniekształceniem obudowy łukowej,

okablowania czy też wykładki, [1, 4, 5]. Próby odwzorowania tych elementów przy pomocy dokumentacji fotograficznej oraz danych pomiarowych uzyskanych przy pomocy metra była by bardzo czasochłonna. Dzięki wykorzystaniu techniki skaningu laserowego otrzymujemy „bazę” dzięki której istnieje możliwość stworzenia dokładniejszego modelu geometrycznego, co za tym idzie uzyskania dokładniejszych wyników obliczeń numerycznych.



Rys. 4. Chmura punktów – widok wyrobiska



Rys. 5. Chmura punktów – widok skrzyżowania wyrobisk



Rys. 6. Chmura punktów – widok wyrobiska

4. Podsumowanie

Naziemny skanowanie laserowe umożliwia szybkie pozyskanie wystarczająco dokładnych informacji potrzebnych do odwzorowania obiektów również tych, które są skomplikowane pod względem kształtu, i których pomiar za pomocą klasycznych metod byłby bardzo trudny, a wręcz niemożliwy. Klasyczne metody pomiaru w celu pozyskania wystarczającej ilości informacji o obiekcie posiadającym złożony kształt, wymagają bardzo dużego nakładu czasu i pracy, wielu osób, niejednokrotnie w warunkach zagrażających ich zdrowiu i życiu.

Analiza uzyskanej chmury punktów pozwala stwierdzić przydatność skanowania laserowego do uzyskania modelu przestrzennego wyrobiska górniczego. Uzasadnieniem takiej tezy jest zarówno mało skomplikowany proces pomiarowy jak i możliwość uzyskania wysokich dokładności modelu, [2].

Na podstawie badań literatury oraz dysponującym modelem chmury punktów można wyciągnąć wnioski:

- wykonywanie modeli geometrii wyrobiska górniczego z wykorzystaniem technologii naziemnego skaningu laserowego jest dużo sprawniejsze w porównaniu do klasycznych technik pomiaru,
- dokładność uzyskanych wyników (2mm) jest wystarczająca do nałożenia na model siatki obliczeniowej o odpowiedniej wielkości,
- uzyskane wyniki pomiarów w postaci chmury punktów pozwalają na dokładne odwzorowanie geometrii wyrobiska górniczego do celów numerycznych,
- uzyskana chmura punktów może być również wykorzystana do obliczenia pola powierzchni przekroju wyrobiska oraz strumienia objętości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- M. Baścik, *Skanowanie Laserowe 3D w warunkach podziemnych zakładów górniczych - praktyczne doświadczenia*, Materiały Szkoły Eksploatacyjnej 2013, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2013
- A. Krawczyk, R. Kula, *Analiza wariantów modeli obudowy podatnej - łukowej wyrobiska górniczego w aspekcie przetwarzania komputerowego*, Rocznik Geometriki, Tom 11, zeszyt 5, 2013
- J. Krawczyk, P. Skotniczny, J. Janus, *Badania modelowe i eksperymentalne zakresu zmian prędkości powietrza rejestrowanych przez czujnik w zależności od jego umieszczenia oraz profilu prędkości powietrza w przekroju jego zabudowy. Raport z realizacji Etapu 1 - części strategicznego projektu badawczego PS9 pt. Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach*, IMG-PAN, 2015
- T. Lipecki, *Skaning laserowy w pomiarach geometrii i deformacji obiektów oraz urządzeń górniczych*, Przegląd Górniczy, nr 7-8 s. 25-31, 2010
- V. Sokoła-Szewiła, J. Wiatr, *Zastosowanie skaningu laserowego do opracowania przestrzennej cyfrowej reprezentacji kształtu podziemnego wyrobiska górniczego*, Przegląd Górniczy, nr 8, 2013

Assessment of the possibilities of using laser scanning for numerical models constructions

Abstract

The article presents the concept of using the laser scanning results to build the geometric models on which the numerical simulations are carried out. During the simulation attention should be paid to the correct representation of the actual model for which tests are conducted. Often complex geometry, such as mine drift poses a lot of problems in the accurate reproduction therefore requires the application of new measuring techniques. One of such technique is the use of laser scanning. It was found that obtained in the process of scanning point cloud oriented in space allows for very accurate and fast generation of three-dimensional model of the scanned object.

Keywords: laser scanning, numerical fluid mechanics, numerical model geometry