

Metoda automatycznej segmentacji i poprawiania jakości powierzchni chmur punktów podziemnych wyrobisk górniczych



Przemysław Dąbek¹



Jacek Wodecki¹

¹ Afiliacja Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, ul. Na Grobli 15, Wrocław, 50-421, Dolnośląskie, Polska, e-mail: przemyslaw.dabek@pwr.edu.pl, jacek.wodecki@pwr.edu.pl

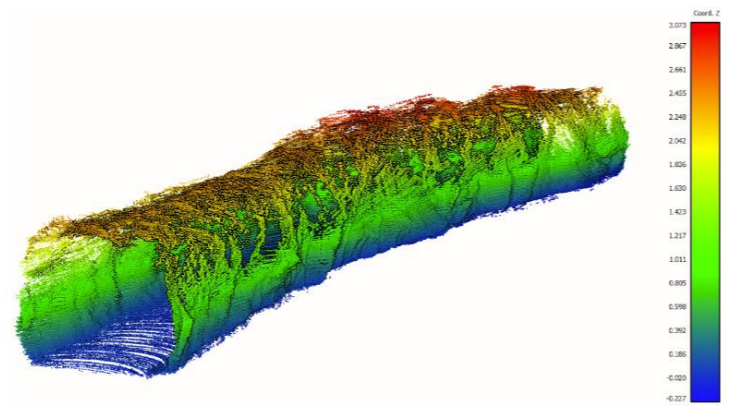
WPROWADZENIE

Rozwój technologii skanowania laserowego otworzył wiele możliwości w dziedzinach analizy do tej pory zamkniętych na dane rzeczywiste, takie jak chociażby generacja rzeczywistych modeli przestrzennych podziemnych wyrobisk górniczych. W wielu mogących wykorzystywać tego typu dane zastosowań wykorzystywane są uproszczone modele skupiające się na generalnym kształcie i jego trajektorii, zupełnie pomijając często znaczny wpływ lokalnej geometrii. Przykładem, gdzie geometria ta może mieć znaczący wpływ na wyniki są między innymi symulacje przepływu powietrza wykorzystujące obliczeniową mechanikę płynów. Przeszkodą w wielkoskalowej implementacji wciąż stanowi konieczność przetwarzania, często ręcznego, uzyskanych chmur punktów. Zaprezentowana metodologia skupia się na tym problemie, oferując możliwość automatycznego przetwarzania dużych sekcji podziemnych wyrobisk górniczych, uzyskując wysokiej jakości chmurę punktów przy jednoczesnym zachowaniu cech geometrycznych z oryginalnych danych.

DANE

POZYSKANIE DANYCH

Dane wykorzystane do tworzenia i weryfikacji proponowanych algorytmów zostały uzyskane w ramach projektu VOT3D (Technologia Optymalizacji Wentylacji oparta na skanowaniu 3D). Pomiary przeprowadzono przy użyciu skanerów laserowych (Livox Horizon, Livox Avia, RIEGL rz-400i) w zakładzie górniczym Polkowice-Sieroszowice we współpracy z KGHM Polska Miedź S.A.

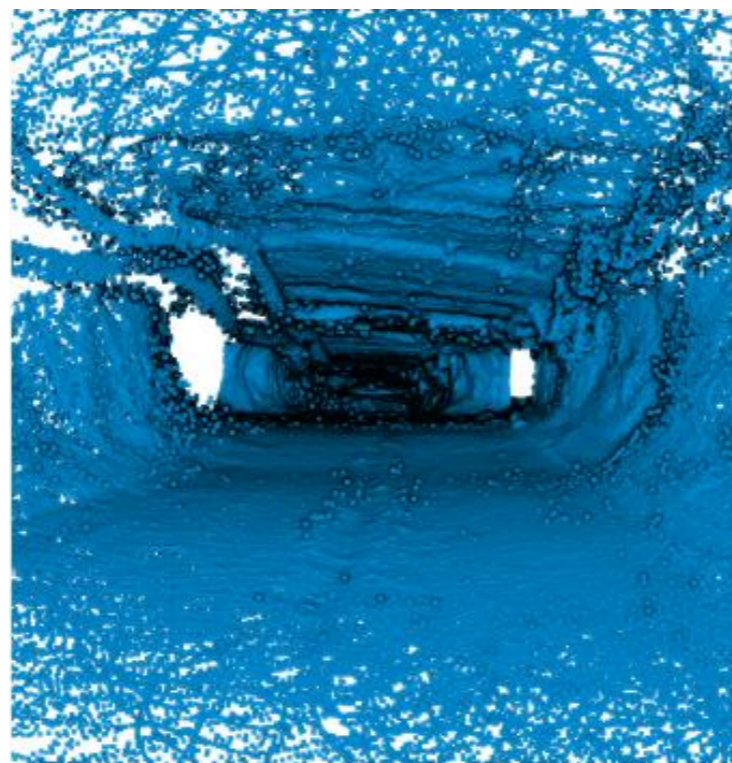


Rys. 1 Widok z zewnątrz przykładowej sekcji chmury punktów

WYZWANIA ZWIĄZANE Z DANymi

Zanim dane mogą być wykorzystane w dalszych zastosowaniach, takich jak modelowanie przepływu powietrza w symulacjach numerycznych dynamiki płynów, należy rozwiązać kilka problemów związanych z ich pozyskaniem:

- **Niepełność danych** – która objawia się w postaci luk w chmurze punktów (Rys. 2), mogących wystąpić z różnych powodów, takich jak obecność obiektów zasłaniających fragmenty wyrobiska czy czynniki środowiskowe.
- **Hałas** – zbędne obiekty i szum pomiarowy wymagający ręcznego usuwania, co stanowi bardzo czasochłonny proces.
- **Nierównomierna gęstość punktów** – celem uzyskania wysokiej jakości siatek typu mesh, wymagany jest możliwie jednolity rozkład punktów w obrębie przetwarzanej chmury punktów.



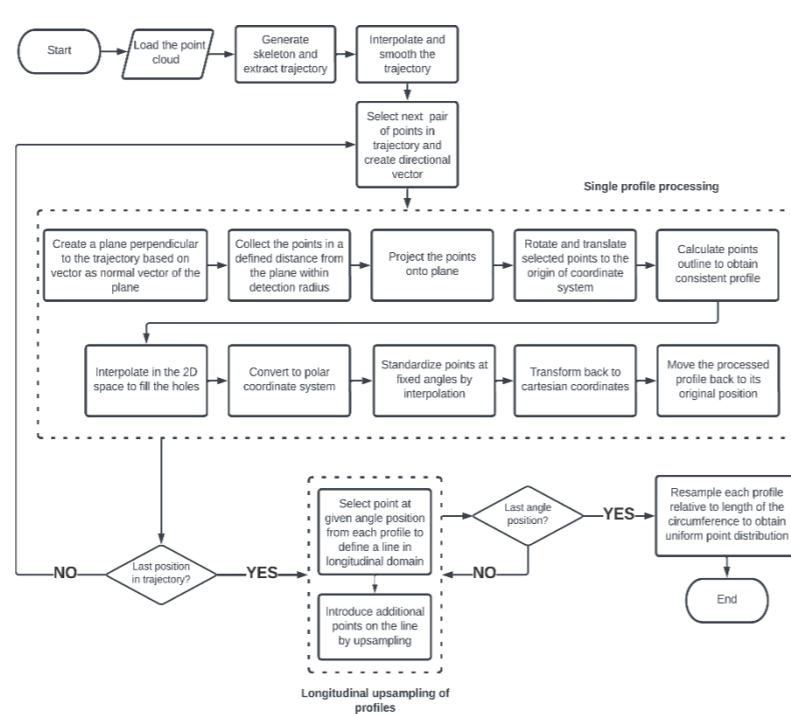
Rys. 2 Przykład sekcji chmury punktów z nierówną dystrybucją punktów oraz niśnagłociami w danych

METODY

OGÓLNY SCHEMAT METODOLOGII

Zastosowana metodologia stanowi wieloetapowy proces dążący zaniegowania bądź minimalizacji opisanych w poprzedniej sekcji problemów związanych z surowymi danymi. Jej fundamentalnymi krokami są:

- **Szkieletyzacja**, wykorzystywana w celu uzyskania generalnej trajektorii przetwarzanej sieci wyrobisk górniczych. Realizowana jest po wyznaczeniu kształtów zewnętrznych poprzez zastosowanie algorytmu Alpha Shape.
- **Segmentacja** sieci tuneli na segmenty ciągłych tuneli jednoliniowych oraz skrzyżowań, realizowana z wykorzystaniem trajektorii. Celem wyznaczenia środków skrzyżowań, wykorzystywane są zależności sąsiedztwa punktów uzyskanych po szkieletyzacji.
- **Stworzenie płaszczyzn ortogonalnych** względem lokalnej trajektorii, na które rzutowane są punkty. W ten sposób uzyskiwane są przekroje poprzeczne wyrobiska.
- **Przetwarzanie** uzyskanych przekrojów w przestrzeni 2D z wykorzystaniem wykrywania krawędzi zewnętrznego kształtu (usuwanie wewnętrznych obiektów wyrobiska), interpolacji w układzie współrzędnych biegunowych (wypełnianie dziur w danych) i resamplingu punktów (uniformizacja gęstości na przekrojach). Ogólny schemat tego procesu został pokazany na rysunku 3.
- **Łączenie** wydzielonych przy segmentacji fragmentów sieci wyrobisk.



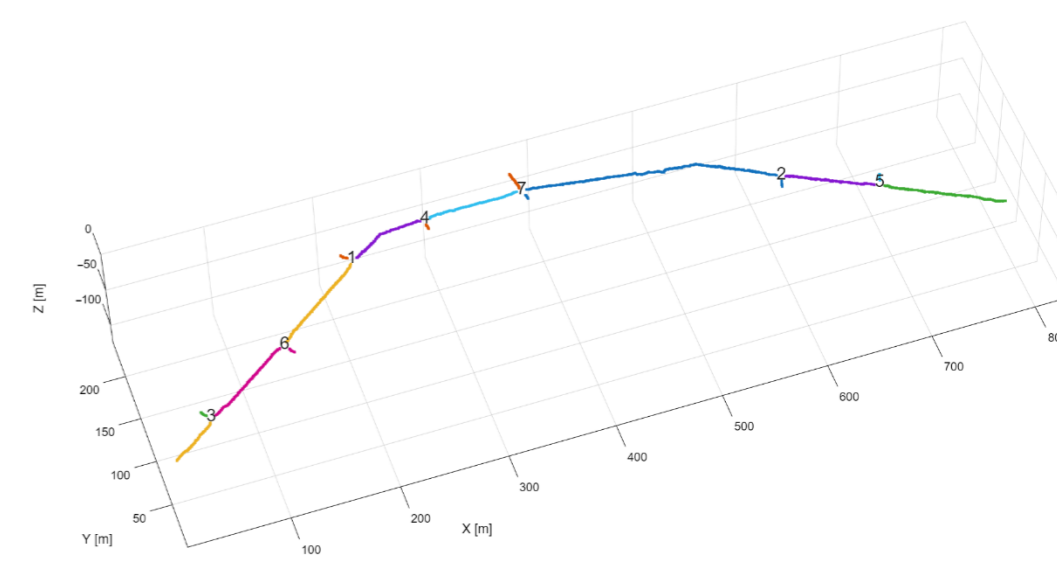
Rys. 3. Generalny schemat przetwarzania uzyskanych przekrojów

REZULTATY

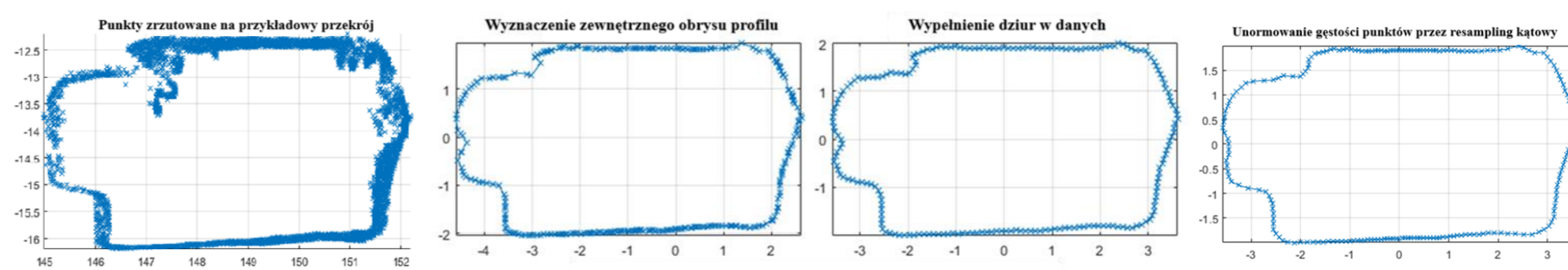
Przykładowa wygenerowana trajektoria wyrobiska pokazana została na rysunku 4. Parametry sterujące tym procesem pozwalają między innymi na ustalenie minimalnego rozmiaru bocznych odnóg, co pozwala wykluczyć miejsca, które nie są rzeczywistymi skrzyżowaniami, a niewielkimi wgłębieniami. Na rysunku 5 widoczny jest ten sam tunel posegmentowany na osobne odcinki (wydzielone kolorystycznie) oraz skrzyżowania. Obszar wycinanego skrzyżowania jest również sparametryzowany, co między innymi pozwala na dostosowanie algorytmu do wyrobisk zależnie od ich spodziewanej szerokości. W następnych etapach, tak wyodrębnione odcinki dzielone są na przekroje. Etapy analizy przykładowego przekroju pokazane zostały na rysunku 6.



Rys. 4 Widok z góry na fragment przetwarzanej sieci wyrobisk wraz z wyznaczoną trajektorią

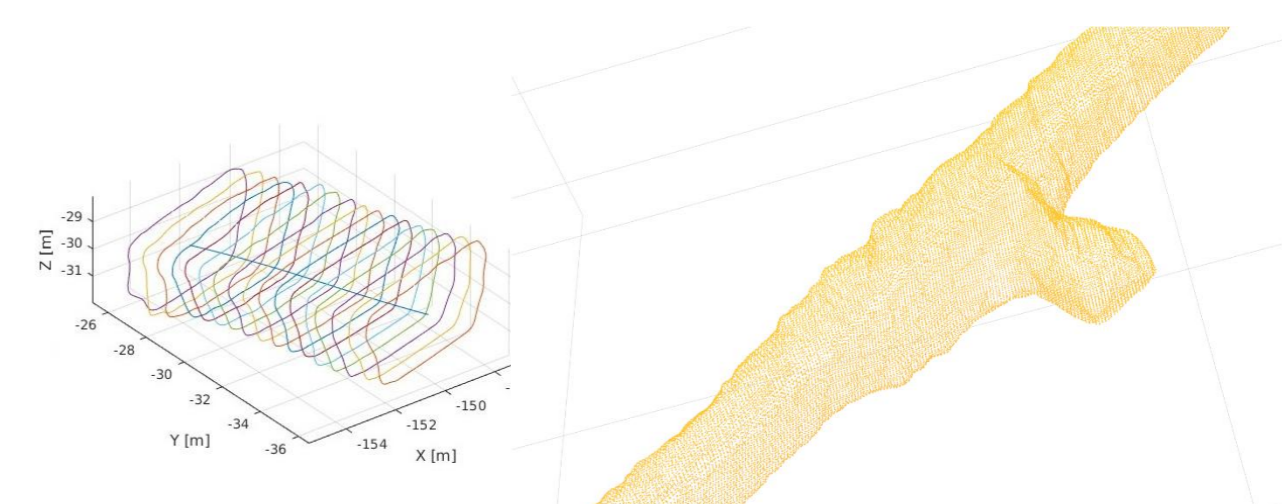


Rys. 5 Widok z zewnątrz przykładowej sekcji chmury punktów

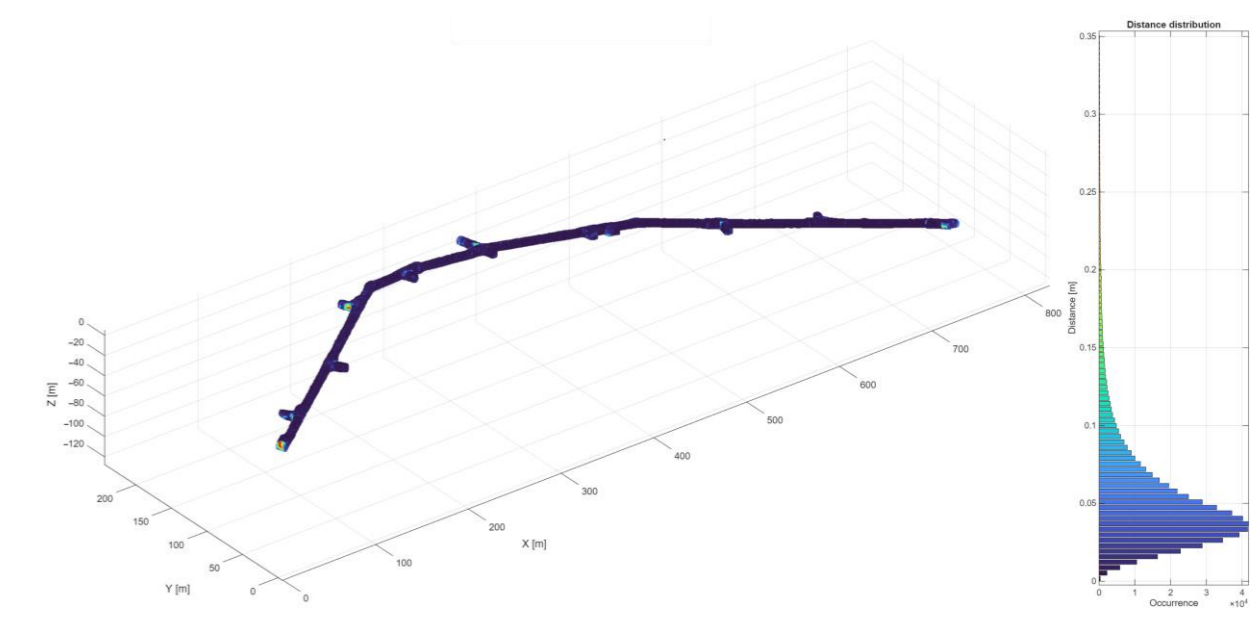


Rys. 6 Kolejne etapy przetwarzania przykładowego przekroju wyrobiska

Gdy na zadanym odcinku przetworzone zostaną wszystkie wyznaczone przekroje (tak jak zwizualizowane jest to po lewej stronie rysunku 7), aplikowane są dodatkowe interpolacje wzdłużne, które realizują zagęszczenie punktów na kolejnych kątach profili, zwiększając tym samym liczbę samych przekrojów. W celu uzyskania jednorodnej gęstości punktów, realizowane jest również końcowe dopasowanie liczby punktów zależne od rozmiaru samego profilu. Końcowy efekt na przykładowym fragmencie wyrobiska jest widoczny na tym samym rysunku po prawej stronie.



Rys. 7 Po lewej – seria profili uzyskanych według odcinka trajektorii przed wzdłużnym resamplingiem. Po prawej – przykładowy fragment kodowanego wyniku przetwarzania.



Rys. 8 Porównanie oryginalnej chmury punktów do chmury punktów uzyskanej w wyniku przetwarzania

Celem weryfikacji zgodności przetworzonej chmury punktów z chmurą oryginalną, przeprowadzone zostało porównanie chmur punktów (rysunek 8), dla przedstawionego fragmentu sieci wyrobisk uzyskując wyniki na poziomie mediany 4,4 cm czy średniej na poziomie 7,6 cm.

WNIOSKI

Metodologię zweryfikowano na podstawie rzeczywistych danych z głębokich podziemnych kopalni miedzi oraz złożonych syntetycznych zestawów danych (wygenerowanych na podstawie powielenia fragmentów rzeczywistych skanów). Wyniki wskazują, że algorytm skutecznie generuje szczelne, modele o równomiernej gęstości punktów i wysokiej dokładności geometrycznej, utrzymując medianę odchylenia od powierzchni pierwotnych mniejszą niż 5 cm przy siatkach o generowanych na podstawie rzadkiej chmury punktów (typowo uzyskiwanej z mobilnych skanów) oraz poniżej 1 cm dla surowej chmury o gęstszym, wstępnym rozkładzie punktów (uzyskiwanych przy skanowaniu stacjonarnym). Co więcej, proces ten znacząco poprawia jakość uzyskanych siatek powierzchni, zmniejszając średnią skośność z poziomu nieużytkowego (0,98) do standardów wysokiej jakości (poniżej 0,5). Proponowany algorytm przeznaczony jest do pracy niezależnie od rozmiaru zeskanowanej sieci tuneli, przy czym początkowe etapy analizy (z wyszczególnieniem pozyskiwania trajektorii) stają się wymagające obliczeniowo, co przekłada się na długi czas przetwarzania. Stąd zalecane jest wstępne wydzielenie większych sekcji, celem przyspieszenia obliczeń algorytmu. Przy tym, algorytm testowany był bez wykorzystania karty graficznej jako głównego narzędzia do obliczeń, co oznacza możliwość znacznego przyspieszenia czasu jego działania.