

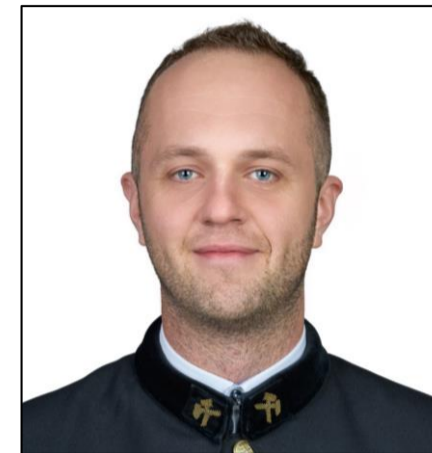
## OPIS GEOMETRII KOMÓR EKSPLOATACYJNYCH NA POTRZEBY TWORZENIA MODELU 3D KOPALNI SOLI



Agnieszka Malec<sup>1</sup>



Andrzej Kwinta<sup>1</sup>



Piotr Koczwar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie 30-120 Polska, agnieszka.malec@student.urk.edu.pl, andrzej.kwinta@urk.edu.pl  
<sup>2</sup> Kopalnia Soli „Wieliczka”, 32-020 Wieliczka, Polska, piotr.koczwar@kopalnia.pl

### WPROWADZENIE

Kopalnia Soli „Wieliczka” jest jednym z najstarszych obiektów górniczych na świecie, którego początki eksploatacji soli sięgają XIII wieku. Wielowiekowa działalność górnicza doprowadziła do powstania rozległego systemu wyrobisk podziemnych obejmujących komory eksploatacyjne oraz chodniki. Obecnie kopalnia pełni funkcję zarówno obiektu zabytkowego i turystycznego, jak i zakładu górniczego, w którym prowadzone są roboty górnicze. Z tych względów stanowi też cenny obiekt badań geodezyjnych, geologicznych i inżynierskich. Ze względu na zachodzące w górotworze procesy deformacyjne konieczna jest okresowa inwentaryzacja oraz aktualizacja danych przestrzennych. Współczesne technologie pomiarowe umożliwiają tworzenie modeli 3D o różnym poziomie szczegółowości (LOD – Level of Detail), pozwalających na odwzorowanie wyrobisk od ogólnej lokalizacji przestrzennej po szczegółową geometrię komór eksploatacyjnych.

### OBSZAR BADAWCZY

Obszarem badawczym pracy jest komora eksploatacyjna III/141 – Kaplica św. Jana, zlokalizowana na III poziomie Kopalni Soli „Wieliczka”. Komora znajduje się po południowej stronie podłużni Antonia, w rejonie poprzeczni Vampe. Według dokumentacji archiwalnej z 1995 roku komora została wybrana w pokładach soli i znajdowała się w dobrym stanie technicznym. W tym okresie pełniła funkcję szatni turystycznej. W 2006 roku wykonano adaptację komory na kaplicę. W ramach prac przeprowadzono modyfikację geometrii wyrobiska poprzez wykonanie przyberek płaskiego stropu umożliwiających zabudowę drewnianego ołtarza przeniesionego z kaplicy św. Jana znajdującej się wcześniej przy szybiku Lipowiec na poziomie I. Ołtarz poddano profesjonalnym pracom konserwatorskim i restauratorskim. W celu poprawy bezpieczeństwa wykonano zabezpieczenie stropu kaplicy oraz chodnika prowadzącego do niej za pomocą kotwi poliestrowych. Dodatkowo wykonano przybierki odspojen w ociosach i filarze, zabudowano wnęki ociosowe z witrażami, wykonano posadzkę z płytek solnych oraz zainstalowano system oświetlenia wraz z ozdobnym żyrandolem umieszczonym w szczycie kopuły.

### DANE I METODY

#### LOD1 – dane inwentaryzacyjne i analiza przestrzenna

Do opracowania poziomu szczegółowości LOD1 wykorzystano dane pochodzące z okresowej inwentaryzacji komór eksploatacyjnych Kopalni Soli „Wieliczka”, przechowywane w postaci arkuszy programu Excel. Baza danych zawiera informacje opisowe oraz przestrzenne dotyczące komór eksploatacyjnych. Przykładowy fragment bazy danych dla komory „Kaplica Świętego Jana” przedstawiono w tabeli 1. W opracowaniu wykorzystano przede wszystkim dane lokalizacyjne obejmujące współrzędne płaskie X i Y oraz współrzędną pionową Z w lokalnym układzie współrzędnych „układ Wielicki”. Dane poddano analizie przestrzennej w programie QGIS w wersji 3.44 Solothurn.

Tabela 1. Zestawienie wybranych informacji o komorach w strukturze kopalni wraz z przykładowymi danymi komory „Kaplica Świętego Jana”

Nazwa pola danych	Opis pola danych	Przykład
Nazwa	Nazwa komory „historyczna”	Kapl. Św. Jana
Poziom kopalni	Jeden z poziomów kopalni	3
Numer inwentaryzacyjny	Inwentaryzacja od 1972	III/141 (poziom/numer kolejny)
Zabytkowość strefy	Strefa ochrony konserwatorskiej	Z (w strefie ochrony)
Wysokość średnia [m]	Uśredniona wysokość wyrobiska	3,0
Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Na podstawie pomiaru z natury	250,0
Powierzchnia z mapy [m <sup>2</sup> ]	Na podstawie pomiaru na mapie w skali 1:1000	225,0
Objętość do podszadzenia [m <sup>3</sup> ]	Projektowane wypełnienie pustki	0,0
Współrzędne płaskie [m]	Współrzędne X, Y środka komory	-85759,00 , 22713,00
Współrzędna pionowa [m]	Współrzędna Z spągu komory	115,00

#### LOD2 – dane archiwalne i pomiary geodezyjne

Podstawę opracowania poziomu LOD2 stanowiła archiwalna mapa II i III poziomu kopalni pochodząca z lat 20. XX wieku oraz dane geodezyjne pozyskane z pomiarów metodą tachimetryczną z wykorzystaniem tachimetru Leica TCR 407.

Tachimetrię wykonywano jako pomiar punktów charakterystycznych stropu i spągu komór. Bezpośrednio z pomiarów nie pozyskiwano wysokości komory, natomiast wysokość wyznaczano na podstawie różnicy współrzędnych pionowych Z punktów stropowych i spągowych. Uzyskane dane umożliwiły określenie orientacyjnej geometrii oraz gabarytów wyrobiska.

Materiały archiwalne zostały poddane analizie kartograficznej i przestrzennej, a dane pomiarowe opracowano w środowisku CAD. Modelowanie przestrzenne wykonano w programie BricsCAD.

#### LOD3 – skaning laserowy i przetwarzanie chmury punktów

Dla poziomu szczegółowości LOD3 wykorzystano dane pozyskane metodą naziemnego skaningu laserowego. Pomiary wykonano w lutym 2026 roku przy użyciu skanera Leica BLK360 G2.

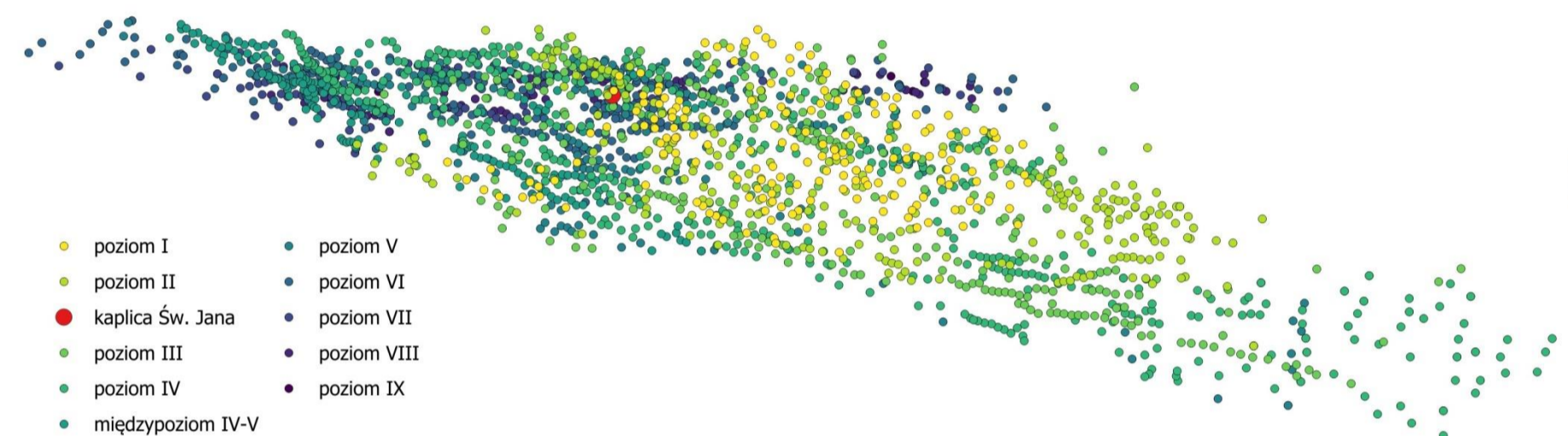
W wyniku pomiarów uzyskano chmurę punktów przedstawiającą rzeczywistą geometrię Kaplicy św. Jana. Dane poddano dalszemu opracowaniu i modelowaniu przestrzennemu w programie BricsCAD.

Dane archiwalne, geodezyjne oraz chmura punktów zostały udostępnione przez Kopalnię Soli „Wieliczka”.

### REZULTATY

#### LOD1 – model lokalizacyjny

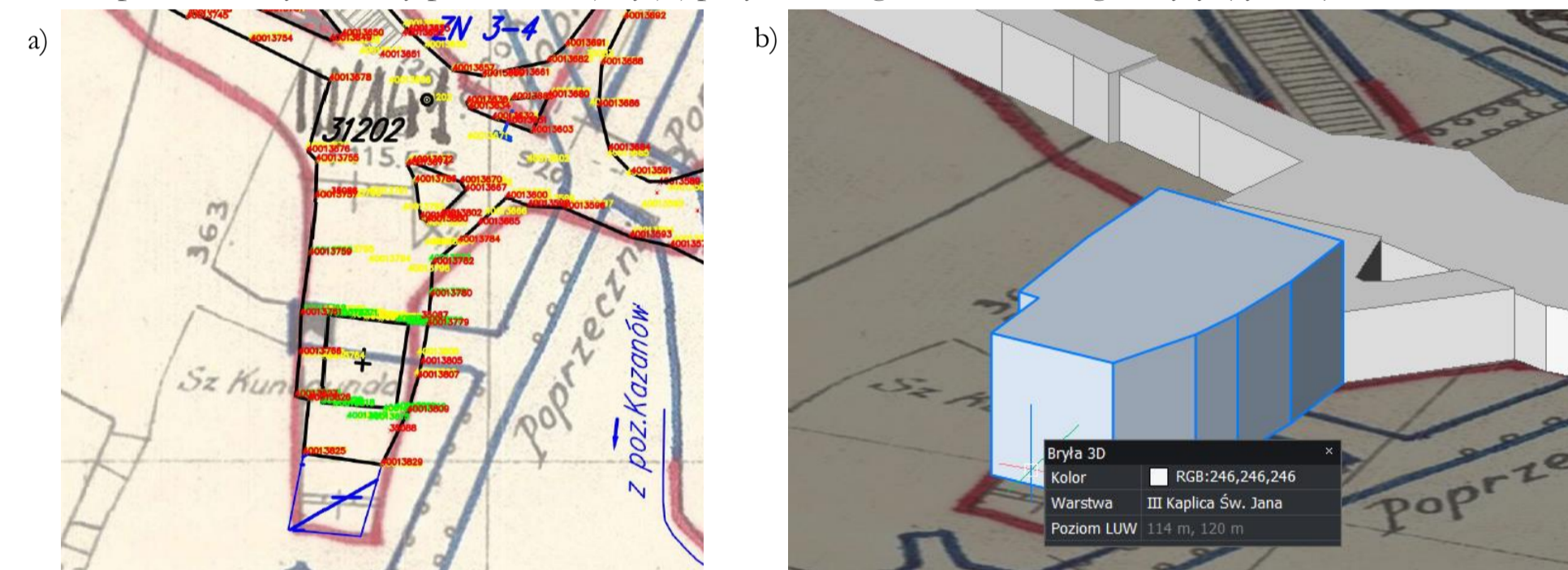
W ramach poziomu szczegółowości LOD1 opracowano mapę rozmieszczenia komór eksploatacyjnych Kopalni Soli „Wieliczka” w lokalnym układzie współrzędnych „układ Wielicki” (rys. 1). Na mapie uwzględniono podział komór na poziomy I–IX, stosując gradient kolorystyczny przypisany do poszczególnych poziomów kopalni. Kaplica św. Jana została oznaczona czerwonym kolorem umożliwiającym jej identyfikację na tle pozostałych wyrobisk.



Rys. 1. Rozmieszczenie komór eksploatacyjnych Kopalni Soli „Wieliczka” z uwzględnieniem podziału na poziomy I-IX

#### LOD2 – uproszczony model 3D

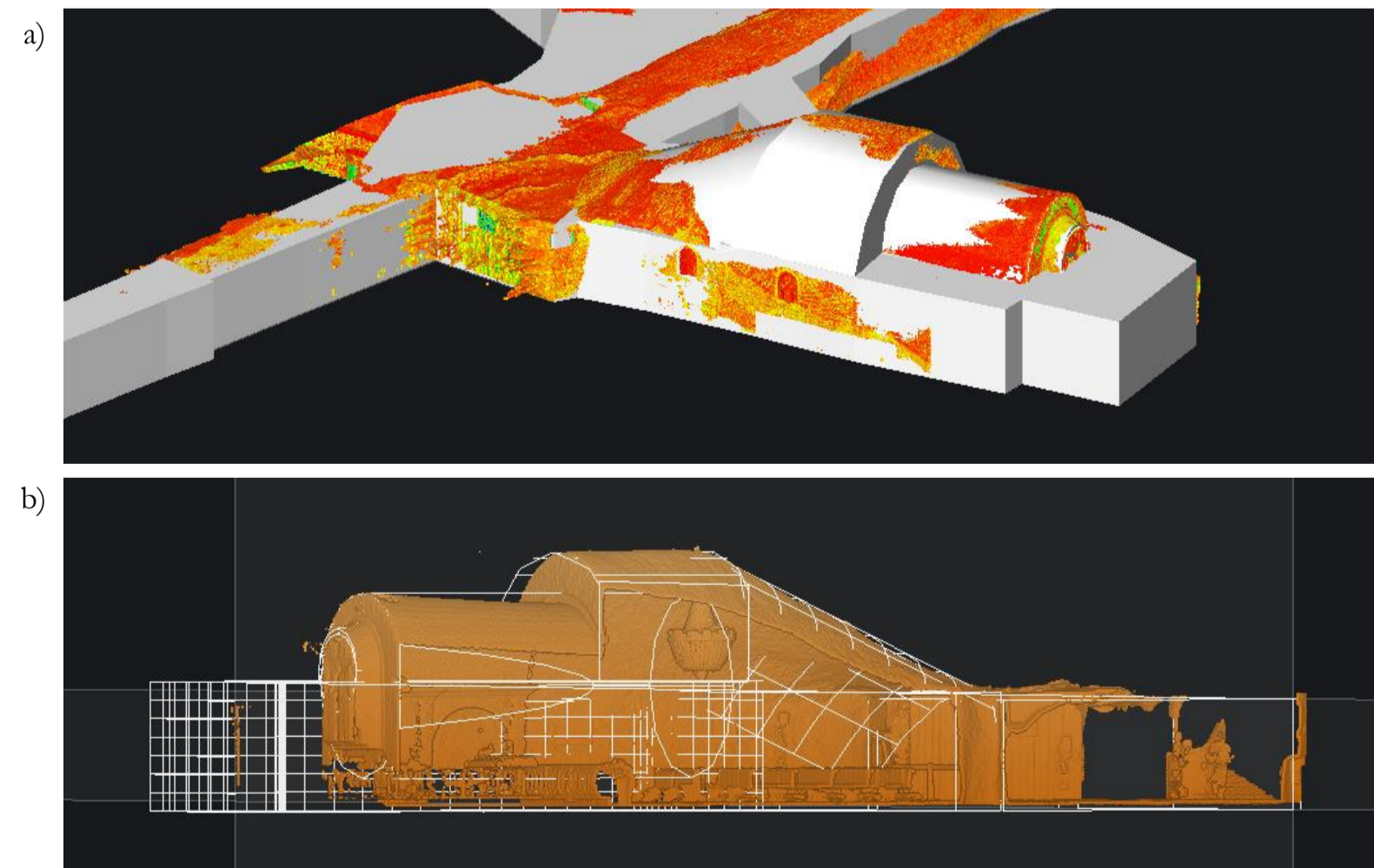
Na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych oraz danych tachimetrycznych opracowano uproszczony model 3D Kaplicy św. Jana. Dane geodezyjne wraz z obrysem komory zostały przedstawione na tle archiwalnej mapy III poziomu kopalni (rys. 2a), co umożliwiło określenie orientacyjnego zasięgu i lokalizacji wyrobiska w lokalnym układzie współrzędnych. W wyniku opracowania tychże danych wykonano uproszczony model przestrzenny komory przedstawiający jej przybliżoną geometrię oraz gabaryty (rys. 2b).



Rys. 2. a) Obrys Kaplicy św. Jana wraz z danymi geodezyjnymi na tle archiwalnej mapy; b) Uproszczony model 3D Kaplicy św. Jana

#### LOD3 – szczegółowy model 3D

W wyniku opracowania chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego wykonano szczegółowy model 3D Kaplicy św. Jana. Model charakteryzuje się wysokim poziomem szczegółowości geometrycznej i wiernie odwzorowuje rzeczywisty kształt komory, w tym nieregularności powierzchni ociosów, stropu i filarów. Na rysunku 3a przedstawiono szczegółowy model 3D Kaplicy św. Jana, natomiast rysunek 3b prezentuje widok wnętrza modelu w stylu szkieletowym



Rys. 3. a) Szczegółowy model 3D Kaplicy św. Jana opracowany na podstawie chmury punktów; b) Widok wnętrza modelu w stylu szkieletowym

### WNIOSKI

Zastosowanie modeli o różnych poziomach szczegółowości (LOD) umożliwia wieloskalowy opis geometrii komór eksploatacyjnych Kopalni Soli „Wieliczka”. Poszczególne poziomy LOD dostarczają informacji o różnym stopniu dokładności geometrycznej i mogą być wykorzystywane do odmiennych analiz przestrzennych.

- Model LOD1 pozwala na analizę rozmieszczenia wyrobisk w skali całej kopalni oraz identyfikację lokalizacji komór w lokalnym układzie współrzędnych. Dzięki temu możliwe jest przedstawienie wzajemnego położenia wyrobisk oraz analiza przestrzennej struktury kopalni.
- Model LOD2 umożliwia przedstawienie orientacyjnej geometrii komór oraz analizę ich relacji przestrzennych z otaczającymi wyrobiskami. Poziom ten może być szczególnie przydatny w przypadku ograniczonej dostępności danych pomiarowych wysokiej dokładności lub podczas opracowywania modeli obejmujących większe obszary kopalni.
- Model LOD3 dostarcza szczegółowej informacji geometrycznej, pozwalającej na dokładną dokumentację stanu wyrobiska, analizę deformacji oraz tworzenie realistycznych modeli 3D kopalni. Szczegółowe modele mogą wspierać monitoring stanu technicznego wyrobisk oraz działania związane z ochroną i dokumentacją zabytkowych przestrzeni podziemnych.

Wręcz ze wzrostem poziomu szczegółowości modelu rośnie dokładność odwzorowania geometrii komory, ale jednocześnie zwiększa się ilość danych pomiarowych oraz stopień złożoności opracowania modelu. Wielopoziomowe podejście do modelowania 3D pozwala więc dostosować zakres i dokładność modelu do celu analizy oraz dostępnych danych pomiarowych.