

# POWRÓT DO ŹRÓDEŁ, CZYLI STARE I NOWE DANE W MODELOWANIU ZŁÓŻ

## RETURN TO SOURCES, THAT IS, OLD AND NEW DATA IN MODELING OF THE DEPOSITS

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

Artykuł przedstawia tematykę wybranych źródeł danych oraz sposobu ich pozyskiwania dostępnych w przeszłości oraz dzisiaj, które mogą być wykorzystane w modelowaniu złóż. Zwrócono też uwagę na podstawowe zasady tworzenia modeli przestrzennych oraz sposoby efektywnego wykorzystania źródeł danych oraz informacji poprzez wykorzystanie obecnie dostępnych technologii. Szczególną uwagę poświęcono też danym i informacjom pochodzącym z materiałów archiwalnych.

**Słowa kluczowe:** dane geologiczne, gromadzenie danych, informacja geologiczna, materiały archiwalne, model przestrzenny złoże, Kompas geologiczny

This article presents the topics of selected data sources and how they are available in the past and today that can be used in modeling the fields. Also highlighted are the basic principles of spatial modeling and ways to make efficient use of data and information sources by using existing technologies. Particular attention has also been paid to archival data and information.

**Keywords:** Geological data, geological data collection, geological information, archives, spatial model of the deposit, geological compass

### Dlaczego powrót do źródeł?

Pierwsza część tytułu tego rozdziału, czyli powrót do źródeł dotyczy kilku aspektów. Po pierwsze, autor niniejszego artykułu, jak pewnie i wielu czytelników – mający do czynienia z lawiną danych oraz technologii, stwierdził, że warto byłoby pokrótce spojrzeć wstecz i zastanowić się, od kiedy człowiek para się górnictwem (a tym samym i geologią), jak sobie radził z poszukiwaniem złóż czy wreszcie z prognozowaniem ich dalszej eksploatacji.

Po drugie zaś, z uwagi na dostępne coraz powszechniej różnego rodzaju narzędzia informatyczne, które oczywiście, co do zasady ułatwiają pracę geologowi, autor uznał, że warto podzielić się z czytelnikami kilkoma podstawowymi zasadami efektywnej budowy i aktualizacji elementów modelu złoże bez konieczności sięgania po specjalistyczne, często kosztowne, rozwiązania informatyczne.

Po trzecie zaś, powrót do źródeł w zamyśle autora oznaczać ma również zwrócenie uwagi na szeroko rozumiane materiały archiwalne. Warto z nich korzystać (a przynajmniej wiedzieć, że są) chociażby dlatego, że często stanowią wynik wieloletniej pracy zespołu geologów przedstawiając już jakąś koncepcję modelu złoże (lub jego części) mogą stanowić odpowiedź rozwiązania problemu, nad którym właśnie w pocie czoła pracujemy. Ponadto można przypuszczać, że powrót przynajmniej do niektórych złóż jest kwestią czasu. Poza tym, dostępne dzisiaj narzędzia umożliwiają zestawianie informacji archiwalnej w sposób, który jeszcze dwadzieścia lat temu był praktycznie nieosiągalny (np. orientacja przestrzenna zeskanowanych materiałów archiwalnych: przekrojów geologicznych, nakładanie map strukturalnych na model przestrzenny powierzchni złoże lub pokładu, itd...).

### Krótką historia górnictwa i geologii

Nie powinno dziwić, że najstarsze ślady górnictwa znane są z Afryki, kolebki ludzkości. Jako jedna z najstarszych, wymieniana jest sięgająca środkowego paleolitu kopalnia krzemieni w rejonie Nazlet Sabaha (or Safaha) na zachodnim brzegu Nilu. Dowody wskazują, że działalność górnicza miała tu miejsce przynajmniej od 50 tys. lat [1].

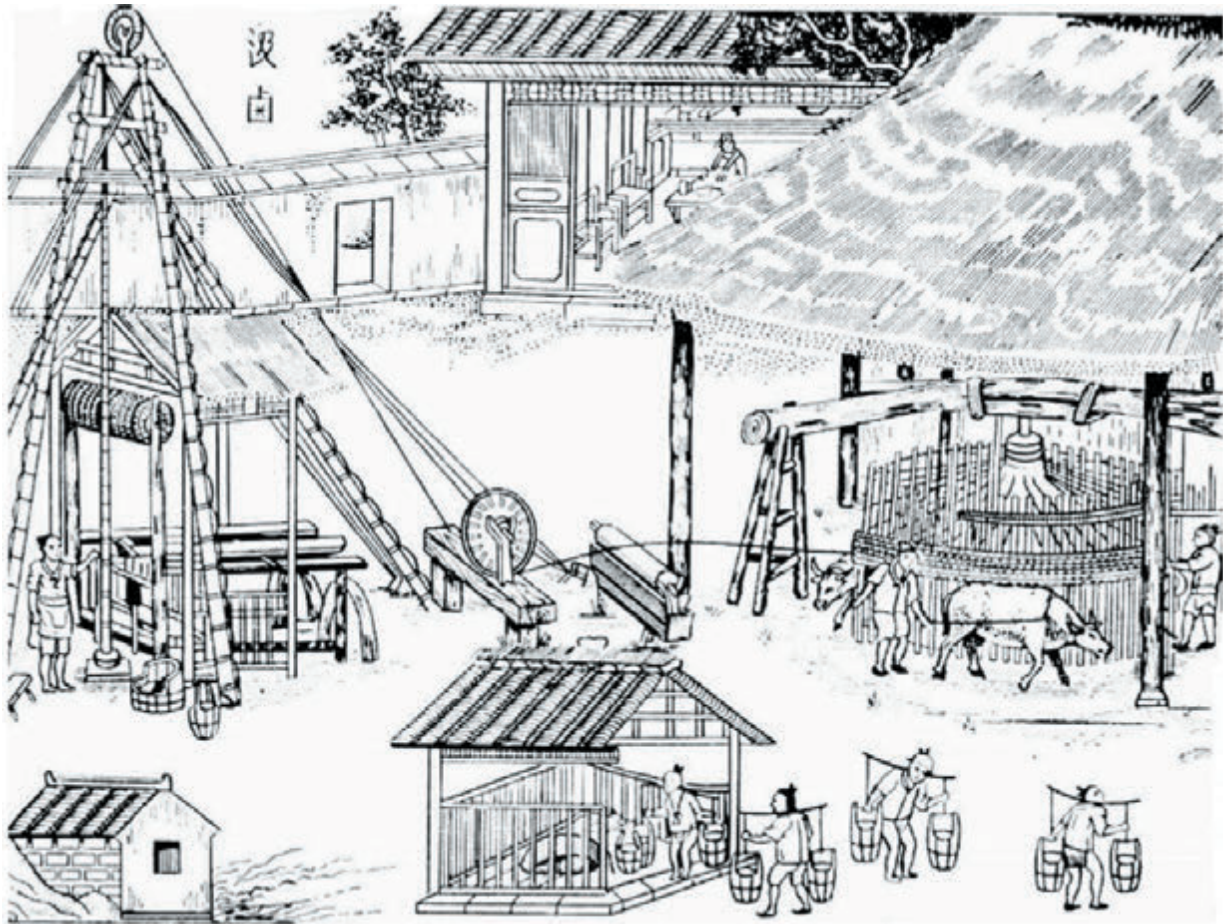
Kolejną i chyba najslawniejszą znaną z zapisu archeologicznego kopalnią jest „Lion Cave” w Swaziland, której datowanie radiowęglowe określa wiek na ok. 43 tys. lat. Człowiek paleolityczny wydobywał tam hematyt, z którego otrzymywał



Źródło: [http://www.thekingdomofswaziland.com/pages/attractions/the\\_attraction.asp?AttractionsID=10](http://www.thekingdomofswaziland.com/pages/attractions/the_attraction.asp?AttractionsID=10)

Rys. 1. Rejon kopalni Ngwenya, Swaziland. Tu odkryto jedne z najstarszych śladów działalności górniczej człowieka

Fig. 1. Area of Ngwenya mine, Swaziland. One of the oldest traces of human mining activity has been discovered here



Źródło: <http://www.pvisoftware.com/blog/ancient-drilling-technologies/>

Rys. 2. Schemat przedstawiający liczącą ok. 2 tys. lat infrastrukturę wiertniczą do wydobywania soli. Chiny, prowincja Sichuan  
Fig. 2. Diagram showing the drilling infrastructure for salt extraction. China, Sichuan Province. The first borehole dates back to 2200 years

ochrę (czerwony barwnik do zdobienia ciała) [2].

Kopalnie podobnego wieku odkryto również na obszarze dzisiejszych Węgier, w których to kopalniach, człowiek neandertalski wydobywał krzemienie do wyrobu narzędzi i broni [3].

Przenieśmy się na chwilę do Chin, gdzie z kolei w prowincji Sichuan mamy jedno z najstarszych śladów otworów wiertniczych. Były to otwory służące do wydobywania soli, a właściwie solanki.

Wiek najstarszego z zachowanych otworów wiertniczych sięga ponad 2200 lat. Na początku trzeciego wieku n.e. niektóre z otworów osiągały głębokości ok. 140 m. Notabene, ta technologia wiercenia otworów jest używana także i dzisiaj w niektórych terenach wiejskich do wykonywania studni.

Oczywiście, żeby wydobywać kopalinę, trzeba było najpierw znaleźć złożę, czyli m.in. zrozumieć procesy, które mogą prowadzić do jego powstania.

Pierwsze znane nam koncepcje procesów geologicznych oraz opisy, a nawet geneza minerałów, pochodzą jeszcze z czasów starożytnych (Arystoteles wskazywał na powolne w skali życia ludzkiego tempo procesów geologicznych, jego uczeń Teofrast opisał wiele minerałów, Pliniusz Starszy prawidłowo wywnioskował kopalne pochodzenie bursztynu).

Materiały pisane dotyczące szeroko rozumianej geologii i górnictwa z czasów średniowiecznych to przede wszystkim prace uczonych arabskich i chińskich (m.in. prace Avicenny (981-1037, który w swojej pracy „Kitab al-Shifa” zawarł komentarz do pracy Arystotelesa „Mineralogia i Meteorologia”

dotyczący m.in. formowania się gór, źródeł wody, genezy trzęsień ziemi, tworzenia się minerałów). Z kolei chiński uczyony Shen Kuo (1031-1095), sformułował podstawy geomorfologii oraz teorię stopniowych zmian klimatycznych.

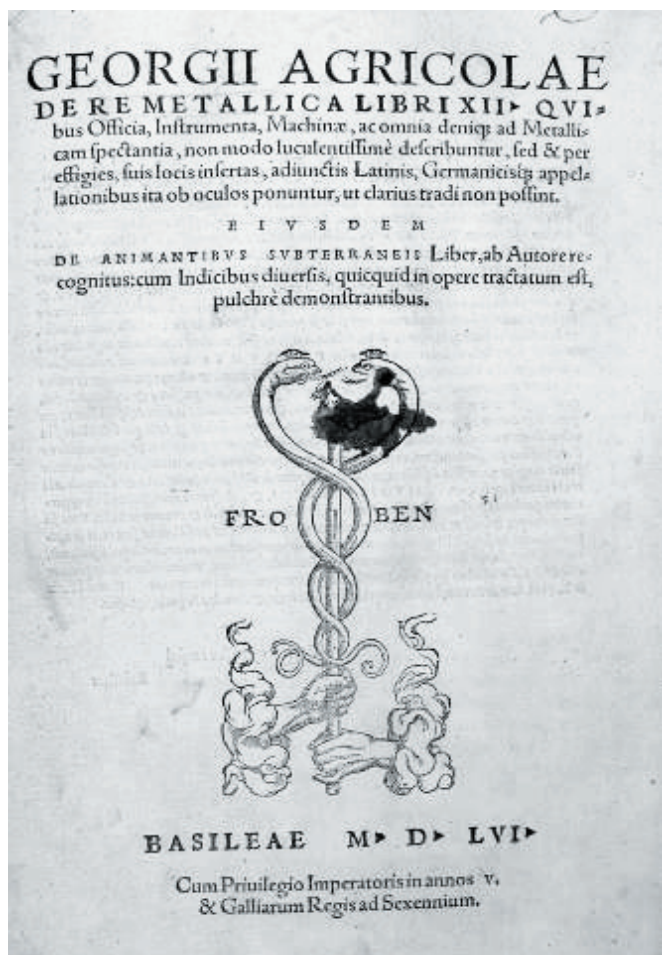
Pierwsze znane nam praktyczne wskazówki dotyczące poszukiwania złóż pojawiają się dopiero na przełomie średniowiecza i renesansu za sprawą Georgiusa Agricoli (1494-1555), niemieckiego lekarza, humanisty i uczonego, górnika, metalurga, i mineraloga działającego głównie na terenie dzisiejszych północno-zachodnich Czech.

Kilka lat po śmierci G. Agricoli, zostaje wydane jego dzieło „De Re Metallica libri XII”. Praca ta, poświęcona geologii złóż, górnictwu, miernictwu i hutnictwu przez dwa wieki określana była mianem biblii górnictwa. W tej właśnie pracy, odnaleźć można pierwsze wskazówki dotyczące poszukiwania złóż [4].

Znaczący rozwój geologii i górnictwa w Polsce rozpoczął się w epoce Oświecenia. Pojawiają się kolejne wskazówki dotyczące poszukiwania złóż, m.in. w dziele z lat 1781-1782, nieco chyba zapomnianego dziś księdza Krzysztofa Kluka „Kanonika Kruswickiego, Dziekana Drohickiego, Proboszcza Ciechanowkiego” pt. „Rzeczy Kopalnych osobliwie zdaniejszych szukanie, poznanie i zażywanie”<sup>1</sup>.

Nowoczesna geologia rodzi się w XIX w., gdy rządy wielu krajów (m.in. Kanady, Australii, Wielkiej Brytanii i USA) zaczynają zdawać sobie sprawę z ekonomicznych korzyści, jakie może nieść praktyczne zastosowanie danych geologicznych. Powoływane są do życia rządowe służby geologiczne z sze-

<sup>1</sup> Notabene analiza tekstu wskazuje, że przynajmniej w zakresie poszukiwania złóż Ks. K. Kluk jeszcze mocno czerpał z prac G. Agricoli...



Rys. 3. Strona tytułowa pracy Georgiusa Agricoli „De Re Metallica libri XII”  
Fig. 3. The cover page of the work of Georgius Agricola „De Re Metallica libri XII”

rokami programami działań dotyczącymi głównie tworzenia map geologicznych.

Na przełomie XIX i XX w. pojawiają się też podstawowe narzędzia pracy geologa stosowane do dzisiaj: młotek geologiczny (E. O. Estwing, 1923) oraz kompas geologiczny (D. W. Brunton, 1894) [5].

### Dane geologiczne w modelowaniu złóż

Z uwagi na rozległość tematu, autor niniejszego artykułu, postanowił skupić się przede wszystkim na wybranych przykładach dotyczących podstawowych danych oraz narzędziach, które są do dyspozycji współczesnego geologa. Z konieczności też ograniczył się do przykładów dotyczących przede wszystkim wykorzystania danych w budowie elementów modelu strukturalnego złoża, nie wchodząc w bogatą, a zarazem złożoną tematykę modelowania jakościowego.

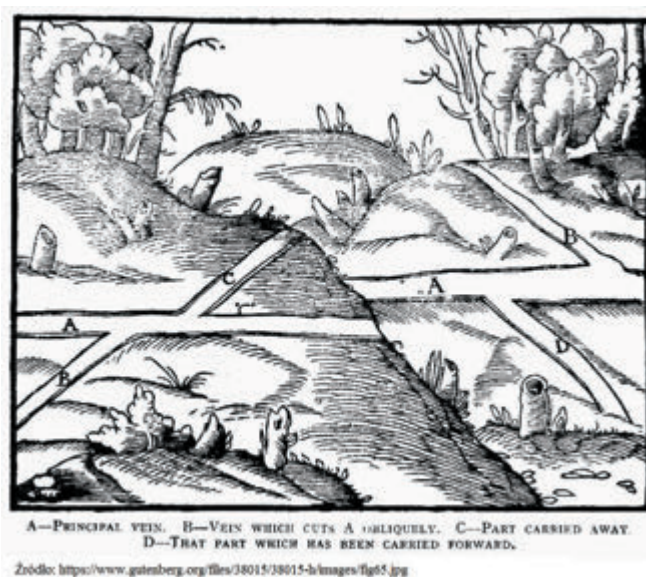
Odnosnie szczegółowego zestawienia rodzajów danych oraz informacji geologicznych, które wykorzystywane są przy modelowaniu geologicznym i projektowaniu górniczym autor niniejszego artykułu odsyła czytelników do pracy „Problemy geologicznego dokumentowania złóż kopalni stałych” (prof. M. Nieć, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2011).

Pierwsze schematy dotyczące budowy geologicznej znaleźć można we wspomianej już wcześniej pracy „De Re Metallica” G. Agricoli. Autor przedstawia w niej zarówno sposoby wyznaczania biegu warstw instruując jak wykorzystywać do tego kompas (gł. żył kruszczośnych) jak i ich wzajemne relacje przestrzenne.



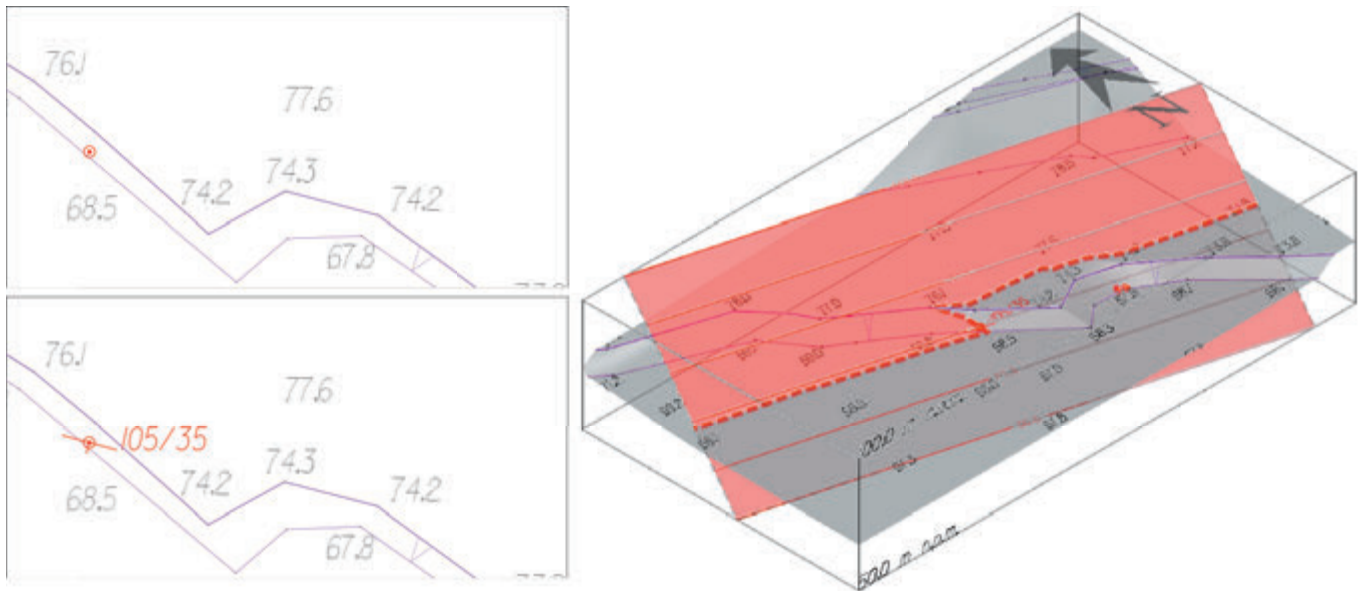
Rys. 4. Strona tytułowa polskiego XVIII w. kompendium geologii i górnictwa „O Rzeczach Kopalnych przez X. Kluka”

Fig. 4. Title page of the Polish 18th century compendium of geology and mining



Rys. 5. Ilustracja obrazująca przykład relacji żył kruszczośnych. „De Re Metallica” G. Agricoli. Wydanie angielskie z początku XX w.

Fig. 5. An example of the relationship of the crustacean veins. „De Re Metallica” by G. Agricola. English edition from the beginning of the 20th century



Rys. 6. Przykład budowy modelu uskoku oraz wyznaczenia śladu intersekcyjnego na podstawie pojedynczego stwierdzenia. Rejestracja współrzędnych stwierdzenia oraz azymutu biegu i upadu pozwala na budowę i ekstrapolację modelu powierzchni uskoku oraz wykonanie śladu intersekcyjnego z powierzchnią wyrobiska

Fig. 6. An example of the construction of a fault model and the determination of an intersection trace based on a single measurement. Registration of the coordinates of the statement and the azimuth of the run and the dip allows for the construction and extrapolation of the model of the surface of the fault and the implementation of the trace of intersection with the surface of the excavation

Do czasu pojawienia się geofizyki, a właściwie geofizyki stosowanej oraz technologii umożliwiającej rejestrację pełnego profilu otworu wykorzystującego zjawisko oporności elektrycznej (1927), głównym źródłem danych były przede wszystkim dane punktowe.

Stwierdzenie danej cechy wraz z rejestracją jej orientacji przestrzennej przy pomocy kompasu geologicznego, stanowiło i stanowi do dzisiaj cenne źródło informacji geologicznej.

#### Dane z otworów wiertniczych

Dane te stanowiły i stanowią nadal jedno z zasadniczych źródeł informacji o złożu. Ich interpretacja pozwala na budowę modelu złoża, której obrazem są mapy strukturalne złoża oraz przekroje geologiczne.

#### Dane z obserwacji terenowych z wyrobisk

Dane z otworów wiertniczych, aczkolwiek cenne, ponieważ umożliwiające „zajrzenie” w głąb ziemi, są kosztowne.

O ile to możliwe, informacje z odwiertów winny być uzupełniane obserwacjami z wyrobisk eksploatacyjnych. Warto zwrócić uwagę, że w warunkach aktywnej eksploatacji złoża istotna jest rejestracja nawet pojedynczego stwierdzenia danej cechy (np. nieciągłości tektonicznej).

W przypadku modeli strukturalnych uzupełnienie lokalizacji stwierdzenia o bieg i upad rejestrowanej cechy nawet w przypadku pojedynczego pomiaru pozwala bowiem na wykonanie pierwszego modelu, co chociażby w aspekcie koniecznego prognozowania warunków geologiczno-inżynierskich może mieć kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa pracy ludzi i maszyn.

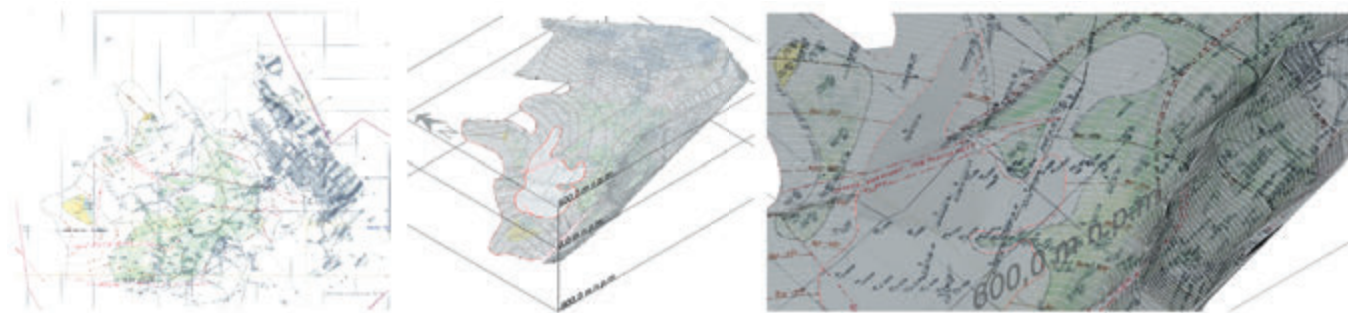
Rysunek 6 przedstawia intersekcję modelu uskoku z fragmentem modelu wyrobiska. Mimo oparcia modelu uskoku na pojedynczym punkcie, informację taką (ślad intersekcyjny uskoku) należy wprowadzić zarówno do dokumentacji mierzniczo-geologicznej jak i udostępnić załodze, która będzie pracować z analizowanym rejonie.

Oczywiście każdy model złoża i/lub jego elementy należy aktualizować. Ponownie kolejny pomiar kompasem wystarczy



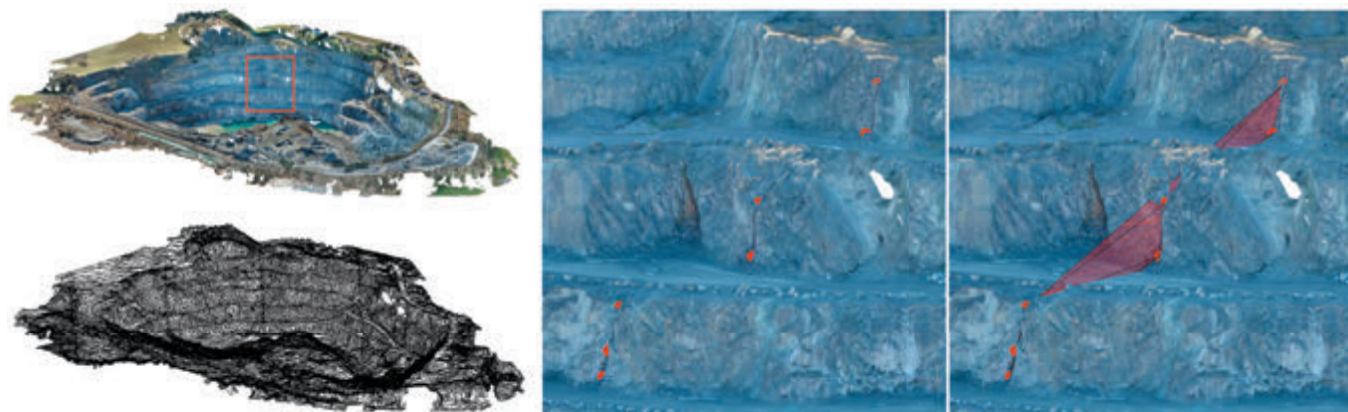
Rys. 7. Przykład korelacji przestrzennej materiałów archiwalnych (kolorem niebieskim oznaczony został profil geologiczny szybu, kolorem zielonym przekrój, kolorem czerwonym mapa jednego z pokładów). Skorelowanie przestrzenne materiałów archiwalnych umożliwia m.in. odtwarzanie budowy geologicznej złoża

Fig. 7. Example of spatial correlation of archival material (blue color is marked with a geological profile of the shaft, green color indicates cross section, the red one indicates a map of one of the seams). Spatial correlation of archival materials enables, among other things, restoration of the geological structure of the deposit.



Rys. 8. Efekt odtworzenia elementu modelu geologicznego złoża (strop pokładu). Na podstawie mapy archiwalnej stropu pokładu widocznej w lewej części rysunku zbudowano jego model przestrzenny (środkowa część rysunku). Następnie celem przedstawienia pełnej treści mapy na modelu powierzchni stropu powleczono model przestrzenny obrazem zawartym na mapie archiwalnej (prawa część rysunku)

Fig. 8. The effect of restoring the part of geological model of the deposit (roof of the seam). On the basis of the archival map of the seam (left part of the drawing) his spatial model was built (middle part of the drawing). Then, to represent the full content of the map on the roof surface model, a spatial model was rendered with the image contained in the archival map (right part of the drawing)



Rys. 9. Przykład wykorzystania modelu przestrzennego wyrobiska zbudowanego z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej do identyfikacji i budowy modelu przestrzennego uskoku

Fig. 9. An example of use of spatial model of open pit built using digital photogrammetry. In addition to the geometry of the excavation, geological structures can be identified (here a tectonic fault)

do aktualizacji zarówno przebiegu jak i kąta upadu uskoku.

Tak więc widać, że wykorzystanie podstawowych narzędzi pracy geologa (rejestracja danych w terenie w sposób opisany powyżej) wzbogacone o podstawowe narzędzia informatyczne (środowisko CAD), pozwala zarówno na poprawną aktualizację elementów modelu budowy geologicznej jak i przedstawienie zaktualizowanej budowy w dokumentacji mierniczo-geologicznej.

### Dane i informacje z zasobów archiwalnych

Kolejnym aspektem dotyczącym modelowania złoża jest efektywne korzystanie z materiałów archiwalnych. Jednym z głównych problemów, z jakimi można zetknąć się próbując korzystać z materiałów archiwalnych jest kwestia ich korelacji przestrzennej. Po pierwsze chodzi o to, że materiały geologiczne z definicji przedstawiają obraz trójwymiarowy złoża i w takim kontekście powinny być analizowane. Po drugie, często materiały te, gromadzone na przestrzeni wielu lat prowadzone były często w różnych układach odniesienia. Jednym ze sposobów efektywnego korzystania z danych archiwalnych jest nadanie im georeferencji.

Na rysunku 7 przedstawiony został przykład prezentacji materiałów archiwalnych w przestrzeni. Pozwala to nie tylko na pełniejszą analizę informacji z materiałów archiwalnych, ale również na efektywniejsze przenoszenie wyników interpretacji geologicznej, zawartych w materiałach archiwalnych

<sup>2</sup> pierwszy znany z literatury przyrząd służący do oglądu stereoskopowego został skonstruowany w latach 30-tych XIX w. przez Sir Ch. Wheatstone'a. Pierwszymi obrazami oglądanymi stereoskopowo były rysunki.

do środowiska numerycznego.

Rysunek 8 przedstawia efekt budowy powierzchni strukturalnej (strop pokładu) w oparciu o informacje archiwalne. Po wykonaniu modelu trójwymiarowego powierzchni, została pokryta treścią mapy archiwalnej.

### Wybrane nowe technologie rejestrowania danych terenowych

Udostępniona służbom cywilnym pod koniec XX w. technologia pomiarów satelitarnych (GPS, GLONASS) umożliwiła samodzielną rejestrację danych terenowych przez służby geologiczne z dokładnością dostępną dotychczas jedynie dla pomiarów geodezyjnych. Pozwoliło to również na odciążenie służb mierniczych oraz skrócenie cyklu od zebrania danych w terenie do wprowadzenia informacji na mapę wyrobisk górniczych.

Kolejnym istotnym krokiem było udostępnienie technologii umożliwiających rejestrację w czasie rzeczywistym wielu punktów (stanowiących *de facto* materiał do tworzenia powierzchni).

Mowa tu zarówno o pomiarach wykorzystujących skanowanie laserowe jak i technologii wykorzystującej zasady fotogrametrii<sup>2</sup>. Metody te w przypadku czynnych zakładów górniczych mają jeszcze jedną bardzo istotną zaletę. Nie wymagają bowiem fizycznej obecności człowieka w rejestrowanym punkcie. Technologia skaningu laserowego z uwagi na fakt, że nadal

jest technologią kosztowną, głównie z uwagi na wysokie koszty sprzętu i oprogramowania, ma zastosowanie zwłaszcza w rejestrowaniu danych i tworzeniu obrazów dużych powierzchni (np. projekt ISOK). Natomiast rozwiązanie umożliwiające tworzenie modeli przestrzennych na podstawie fotogrametrii cyfrowej staje się coraz bardziej popularne. Składają się na to m.in.: niższe, niż w przypadku skaningu laserowego, koszty warsztatu pracy, zachowanie kartometryczności modelu oraz fotograficzna wierność obrazu rejestrowanego obiektu przy powlekanii (renderingowi) powierzchni modelu przestrzennego fotografiami.

Na rysunku 9 przedstawiony został przykład wykorzystania modelu przestrzennego wykonanego z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej do stworzenia modelu uskoku.

Sytuacja przedstawiona na trzech skarpach zbocza zinterpretowana została, jako ślad intersekcyjny uskoku. Następnie wprowadzone zostały punkty stwierdzeń posiadających trzy współrzędne. W oparciu o wprowadzone punkty stwierdzeń wykonany został model przestrzenny uskoku (zawierający m.in. informacje o azymucie biegu, upadu i kącie upadu) [6, 7]. Model ten może być dalej ekstrapolowany w dalsze partie złoża.

Warto w tym miejscu dodać, że trwają również próby zastosowania technologii umożliwiającej budowę modelu przestrzennego wyrobisk i dokumentowania budowy geologicznej także w górnictwie podziemnym. Próby takie prowadzone są m.in. w kopalniach południowoafrykańskich oraz norweskich.

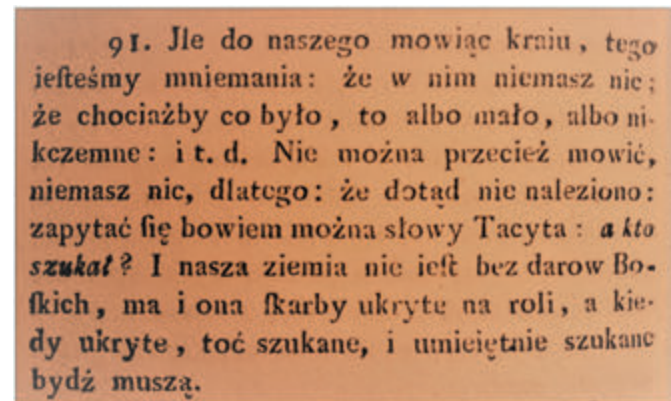
## Podsumowanie

Dostępne dzisiaj technologie pozwalają, z jednej strony na rejestrowanie danych z wysoką dokładnością, z drugiej zaś na gromadzenie ogromnych ich ilości. Dotyczy to np. danych

pochodzących ze skaningu laserowego. Warto o tym pamiętać zbierając dane w terenie, ponieważ bardzo duża liczba zarejestrowanych danych z geodezyjną dokładnością nie wniesie dodatkowych istotnych informacji z punktu widzenia poprawności merytorycznej modelu, natomiast spowodować może trudności w ich efektywnym opracowywaniu.

Kolejna rzecz, o której warto pamiętać poszukując recepty na efektywną budowę czy nawet aktualizację modelu złoża w oparciu o dane pochodzące z dostępnych dzisiaj rejestratorów elektronicznych, to sprawny dostęp do narastających lawinowo danych. Z pewnością warto zastanowić się nad budową repozytorium z kontekstem przestrzennym. Inaczej próba złożenia kompletu danych i informacji może prowadzić do znacznej straty czasu. Ale to temat już na inny artykuł...

Na koniec wskazówki dotyczące poszukiwania złóż autorstwa Ks. Krzysztofa Kluka z jego „Rzeczy Kopalnych osobliwie zdutniejszych szukanie, poznanie i zażycie”. Tom I, Rozdział III, Par. 1”O miejscach gdzie się rzeczy kopalne najdują”:



91. Jle do naszego mówiąc kraiu, tego iesteśmy mniemania: że w nim niemasz nic; że chociażby co było, to albo mało, albo niekzemne: i t. d. Nie można przecież mowić, niemasz nic, dlatego: że dotąd nie naleziono: zapytać się bowiem można słowy Tacyta: *a kto szukał?* I nasza ziemia nie iest bez darow Boskich, ma i ona skarby ukryte na roli, a kiedy ukryte, toć szukane, i umiętanie szukane bydź muszą.

## Literatura

- [1] <https://www.promine.com/blog/5-oldest-mines-in-the-world-a-casual-survey>
- [2] <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5421/>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mining#Prehistoric\\_mining](https://en.wikipedia.org/wiki/Mining#Prehistoric_mining)
- [4] <http://farlang.com/books/agricola-hoover-de-re-metallica>
- [5] Merriam Dan, Youngquist Walter. "Tools of the Geology Trade and Their Origin". The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon. Volume 84, Issue 1, Article 7
- [6] Sołowczuk Marek. *Budowa przestrzennych modeli wyrobisk górniczych z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej*. IX Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. Bełchatów, 2016
- [7] Sołowczuk Marek. *Wykorzystanie fotogrametrii cyfrowej w geologii i górnictwie*. XVII Seminarium Metodyka dokumentowania i rozpoznawania złóż, Chęciny, 2016