

# MODELOWANIE STRUKTUR I JAKOŚCI ZŁÓŻ SUROWCÓW SKALNYCH

## MODELLING STRUCTURES AND QUALITY OF ROCK MINERAL DEPOSITES

Michał Duczmal – Poltegor-Instytut IGO, Wrocław

*W publikacji przedstawiono metodykę budowy modeli geologicznych złóż surowców skalnych oraz przykładowe wyniki modelowania. Opisano modele strukturalno-jakościowe złoża wapieni i margli Podgrodzie oraz złoża granitów Chwałków I. Zwrócono uwagę na znaczny niedostatek informacji geologicznej zawartej w dostępnych dokumentacjach złożowych. Zadanie realizowane było w ramach projektu Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych.*

**Słowa kluczowe:** modelowanie geologiczne, surowce skalne

*In this paper the methodology of developing geological models of rock mineral deposits and example results of modelling are presented. The structural and quality models of the Podgrodzie limestone and marl deposit and the Chwalkow I granite deposit are described. Attention has been given to the insufficiency of geological information in available documentations of deposits. This work has been done within the frames of the Strategies and technological scenarios of development and use of rock mineral deposits project.*

**Key words:** geological modelling, rock minerals

### Wstęp

W geologii surowców skalnych wśród metod poszukiwawczo-rozpoznawczych, stosowanych obecnie, najważniejsze są metody wiertnicze, w wyniku których uzyskujemy bezpośrednie informacje o zespole cech opisujących przewiercane utwory. Informacje te mają charakter punktowy i stanowią materiał wyjściowy do prac związanych z interpretacją budowy geologicznej złoża. Duża ilość danych stwarza coraz większe kłopoty z gromadzeniem informacji oraz jej porządkowaniem i interpretacją. W tych warunkach niezbędne staje się korzystanie z systemu baz danych geologicznych, które dają możliwość tworzenia modeli geologicznych.

Efektywne prowadzenie robót górniczych na obszarze każdego złoża uzależnione jest w znacznej mierze od szczegółowości rozpoznania jego budowy geologicznej oraz rodzaju i właściwości występujących utworów geologicznych. Również w przypadku złóż surowców skalnych eksploatowanych głównie odkrywkowo, istnieje potrzeba posiadania pełnej informacji geologicznej dotyczącej struktury przestrzennej złoża, jego litologii, stratygrafii, jakości kopaliny i warunków geotechnicznych oraz hydrogeologicznych, rozpatrywanych w kontekście określonej geometrii odkrywki.

W ramach 5 zadania realizowanego projektu *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych* uwzględniono utworzenie modeli geologicznych dla wybranych złóż. Stworzona na potrzeby projektu metodyka budowy modeli pozwoli w przyszłości rozszerzyć zakres złóż objętych modelowaniem.

W przypadku większości dokumentacji geologicznych stwierdzono problemy z dostępnością pełnej informacji, która powinna być w nich zawarta. Często brakuje kart otworów wiertniczych lub wyników badań laboratoryjnych jakości kopaliny. Z tego powodu modelowanie wielu złóż jest mocno utrudnione lub niemożliwe.

### Introduction

In rock mineral geology, among the exploration methods available, the drilling ones are presently the most important. In the result of applying these methods we obtain direct information on the set of features characterising the drilled formations. This information is of discrete character and constitutes the input material for studies related to interpretation of a deposit's geological structure. The large number of such data creates difficulties with its collection, organization and interpretation. In such circumstances, the application of geological database system that facilitates construction of geological models, becomes a necessity.

Efficient mining of any deposit depends to a large extent on the level of detail of geological structure identification and the type and properties of geological formations.

This is also the case for rock mineral deposits. These are extracted predominately with open pit methods and require complete geological information regarding: spatial structure of the deposit, lithology, stratigraphy, mineral quality, geotechnical and hydrogeological conditions regarded with respect to the geometry of a given open pit.

Within the frames of one of the work packages (task 5) in the project *Strategies and technological scenarios of development and use of rock mineral deposits* development of geological models for selected deposits has been considered. The methodology of deposit modelling developed within this project will allow to extend the range of the deposits modelled in the future.

Most of the available geological documentations are incomplete and lack some information that should have been included in them. The borehole cards and results of laboratory testing of the mineral quality are often missing. These reasons render modelling of many deposits difficult or impossible.

## Modelowanie geologiczne

Model złoża to przestrzenny, zgeneralizowany i zwektorowany obraz tego złoża. Buduje się go z wykorzystaniem wszelkiej dostępnej informacji geologicznej oraz jej interpretacji. Posiadanie dobrze zbudowanego modelu pozwala na rozwiązanie wielu zadań geologiczno-górnich danego złoża zarówno na etapie projektowania jak i eksploatacji. Pozwala również na kontrolę obliczeń zasobów uzyskanych w przeszłości metodami tradycyjnymi.

Modelowanie warunków złożowych zapewnia uproszczenie złożonej rzeczywistości celem poddania jej procesowi badawczemu. Umożliwia ono funkcjonalne odwzorowanie przebiegu procesów rzeczywistych przy zastosowaniu uniwersalnego języka logicznego, pozwalającego na opisywanie złożonych obiektów, niezależnie od zróżnicowanych właściwości ich części składowych

W przeszłości do opisu warunków geologicznych złóż surowców wykorzystywano różne formy gromadzenia i wizualizacji danych. Korzystano z map, przekrojów, zestawień tabelarycznych. Dawало to przestrzenny obraz warunków złożowych, jednak wymagało sporego nakładu czasu i było obciążone sporym ryzykiem błędu. Jednak wielowymiarowość układu wydobywczego oraz niedostateczny w stosunku do potrzeb przepływ i przetwarzanie informacji wcześniej nie pozwalały na kompleksowe rozwiązywanie problemów związanych z projektowaniem eksploatacji w kopalniach odkrywkowych. Dopiero rozwój techniki komputerowej umożliwił gromadzenie i efektywne przetwarzanie danych oraz estymację modeli funkcyjnych występujących zależności. Dzięki powstaniu wielu technik modelowania złóż możliwe jest lepsze rozpoznanie zmienności parametrów złożowych. Obecne możliwości, jakie daje specjalistyczne oprogramowanie, pozwalają na znaczne przyspieszenie procesu tworzenia modeli. Możliwa jest konstrukcja w pełni trójwymiarowych modeli warunków złożowych. Duże możliwości graficzne współczesnego oprogramowania geologiczno-górnich pozwalają na szybką kontrolę stworzonego modelu (na przykład możliwość natychmiastowego kreślenia przekrojów w dowolnej płaszczyźnie).

Wielowymiarowy model złoża jest syntezą wszelkich wiadomości o strukturze oraz jakości złoża. Szczegółowość modelu powinna być dobrana pod konkretny cel, któremu model ma służyć. Zbytne uszczegółowienie modelu może zmniejszyć jego funkcjonalność (na przykład poprzez wydłużenie czasu potrzebnego na wyciągnięcie żądanych informacji) oraz zwiększyć koszty eksploatacji (potrzeba zwiększenia mocy obliczeniowych komputerów). Niedostateczna ilość szczegółów nie daje możliwości pełnej realizacji celu stawianego modelowi.

Podstawą stworzenia wiarygodnego modelu są dane źródłowe, przechowywane w bazie danych. Dobrze skonstruowana i zasilona w dokładne dane baza daje możliwość analizowania w różnorodny sposób tych danych oraz skonstruowanie na ich podstawie odpowiadającego naszym potrzebom modelu. Błąd podczas wprowadzania danych przekłada się w naturalny sposób na nieścisłości podczas przyszłego funkcjonowania modelu.

Oczekiwany rezultat funkcjonowania modelu jest możliwość określenia wartości modelowanego parametru w dowolnym punkcie przestrzeni zajmowanej przez obiekt, oszacowanie wartości dla zadanej powierzchni czy objętości lub scharakteryzowanie jego zmienności na wskazanym obszarze. W celu przypisania wartości modelowanego parametru każdemu elementowi tej przestrzeni należy wskazać zbiór

## Geological modelling

A model of deposit is the spatial, generalized image of this deposit. It is constructed with the use of all available geological information and its interpretation. A correctly constructed model allows solution of numerous geological and mining tasks of a given deposit at both the planning and exploitation stages. It also allows the control of resource calculations done in the past with traditional methods.

Modelling of deposit conditions ensures simplification of the complex reality with the aim to subject it to a study process. It enables functional projection of the real processes by application of universal, logical language that allows the description of complex objects independently of the differentiated properties of their component parts.

In the past different forms of data collection and visualisations have been used to describe geological conditions of mineral deposits. Maps, sections, tabular lists have been used. These methods provided spatial image of deposit conditions but they required significant amount of time and were prone to errors. However, multi-dimensionality of the mining system and insufficient, in relation to the needs, flow and processing of information did not allow for complex solutions of problems associated with planning exploitation in open pit mines at that time. The development of computer techniques ensured collection and effective processing of data, as well as estimation of functional models of relations in open cast brown coal mines. Thanks to the development of many deposit modelling techniques, a better identification of the variability of deposit parameters is possible. Nowadays computer capacities allow for considerable acceleration of the model generation process. The construction of fully three-dimensional models of deposit conditions is possible. The graphical capabilities of present day geological and mining software enable rapid control of the model created (for example instantaneous plotting of cross sections in any plane).

Three-dimensional model of a deposit is the synthesis of information on the structure and quality of the deposit. The level of detail of the model should be chosen according to the specific purpose it is to serve. Too much detail may inhibit its functionality (for example extension of time needed to extract the required information) and increase exploitation costs (the need to increase computer processing power). Inadequate level of detail will not allow realization of the aim set for the model.

The basis for creating a credible model is the input data stored in a database. A properly designed database fed with accurate data enables multifarious analysis of the stored data and construction of a model suitable to the required needs. The errors during entering data transfer into inaccuracies during the future use of the model.

The expected result of using a model is the capability to determine the values of the modelled parameter at any point in space occupied by the object, estimation of the value for a given surface and volume or characterisation of its variability in a chosen space. In order to assign a value of the modelled parameter to each element in this space, a set of measurements should be indicated, basing on which this value will be calculated and determine the calculation method. Therefore analysis of the parameter's variability is necessary. The parameter

pomiarów, na podstawie których wartość ta zostanie wyznaczona i określona metodą jej obliczenia. Konieczne jest więc przeprowadzenie analizy zmienności parametru. Zmienność parametrów uwzględnianych w projektowaniu robót górniczych ma charakter zarówno deterministyczny jak i stochastyczny.

### Cel modelowania

Pierwszym etapem tworzenia modelu geologiczno-górniczego złoża powinno być zdefiniowanie celu, któremu dany model ma służyć. Realizowany temat nie miał na celu tworzenia bardzo szczegółowych modeli poszczególnych złóż surowców skalnych pozwalających prowadzić na ich podstawie bieżącą eksploatację. Opracowana metodyka dała możliwość budowy modeli geologiczno-górnicznych różnych typów złóż surowców skalnych w jednolitym środowisku programowym z wykorzystaniem zestawu uniwersalnych procedur dostosowanych do tworzonej struktury bazy danych źródłowych. Modele te dają ogólny obraz rozkładu parametrów ilościowych i jakościowych oraz pozwalają na ich przejrzystą i prostą wizualizację.

Potrzebne dane zostały pozyskane z różnych źródeł. Głównym źródłem danych geologicznych były karty otworów wiertniczych oraz dane z profilowań geofizycznych. Dane jakościowe zostały wprowadzone do bazy z dostępnych w dokumentacjach wyników badań laboratoryjnych. Gęstość opróbowania złóż jest mocno zróżnicowana. Jako pilotowe zostały opracowane modele złóż o najlepszym rozpoznaniu otworami oraz z największą ilością wykonanych badań laboratoryjnych. Wykorzystano również wszelkie dostępne mapy geologiczne i górnicze.

### Modelowanie sieciowe

W zastosowaniach geologiczno-górnicznych modelowanie struktur geologicznych wymaga opisu kształtu, wymiarów i położenia stropu oraz spągu poszczególnych struktur geologicznych. Najdokładniejszym sposobem zdefiniowania struktur geologicznych w przestrzeni trójwymiarowej jest wykorzystanie modeli sieciowych. Modele sieciowe tworzone są dla wszelkich interesujących nas powierzchni strukturalnych (na przykład złoża, wyrobisko kopalniane, powierzchnia terenu i inne). Modelowanie z zastosowaniem modeli sieciowych wymaga jednak głębokiej wiedzy o zachowaniu się złoża w przestrzeni oraz dużego nakładu pracy. Na podstawie dostępnych danych zostały wygenerowane zbiory trójkątów, których wierzchołki stanowią skończony zbiór zorientowanych w przestrzeni punktów (o współrzędnych  $x, y, z$ ).

Konstrukcja modelu sieciowego nie jest jednoznaczna. Informacja wejściowa może być zbiorem punktów lub łańcuchów. Wykorzystując łańcuchy (odcinki łamanych są bokami trójkątów) można kontrolować proces tworzenia trójkątów poprzez zadanie kolejności łączenia łańcuchów lub wymuszanie generowania krawędzi łączących punkty dwóch różnych łańcuchów (definiowane punktów kontrolnych).

Duże możliwości oszacowania i wizualizacji modeli sieciowych (projekcje, przekroje i widoki aksonometryczne siatki trójkątów, widoki izoliniowe) sprawiają, że wielowymiarowe modele złoża i wyrobisk górniczych mogą być wykorzystywane w planowaniu i harmonogramowaniu produkcji i do rozwiązywania problemów technologicznych. Model sieciowy (np. struktury wyrobisk kopalnianych) pozwala na automatyczne generowanie map, planów i przekrojów).

variability in mine planning is of both the deterministic and stochastic character.

### Aim of modelling

The first stage of creating a geological and mining model of a deposit should be to define the purpose the model is to serve. The mentioned project was not aimed at developing very detailed models for particular rock mineral deposits that, on their basis, would allow to carry their exploitation. The methodology that was developed enabled construction of geological and mining models for different types of rock mineral deposits in a unified programming environment with the use of a set of universal procedures adapted to the structure of the source database. These models provide the general image of the distribution of qualitative and quantitative parameters and facilitate their clear and simple visualization.

The required data has been acquired from various sources. The main source of geological data has been the borehole and geophysical profile data. The qualitative data has been fed to the database from laboratory results available in geological documentations. The sampling density of deposits is very much differentiated. In the pilot study, models for deposits with the best borehole sampling density and the largest number of laboratory tests have been created. In addition available geological and mining maps have been used.

### Wireframe modelling

In geological and mining applications modelling of geological structures requires that the shape, dimensions and location of the floor and roof of particular geological structures are described. The most accurate way to define geological structures in a three dimensional space is to use wireframe models. The wireframe models can be constructed for all, interesting for us, structural surfaces (for example deposit, mining excavation, surface and other things). Modelling with the use of wireframe models requires profound knowledge on the behaviour of the deposit in space and a large load of work. On the basis of the available data, sets of triangle have been constructed whose nodes make a finite set of space oriented points (with  $x, y, z$  coordinates).

The construction of a wireframe model is not unequivocal. The input information can be a set of points or chains. Using the chains (the segment lines are the triangle sides), the process of triangle generation can be controlled through the order of chain linking or forcing generation of boundaries linking points belonging to two different chains (definition of control points).

The great abilities of wireframe models for assessing and visualising (projections, cross-sections and axonometric views of the network of triangles, contour line views) cause that spatial models of deposits and mining excavations can be used in planning and scheduling of production, as well as solving technological problems. The wireframe model (for example of the mining excavation structure) enables automatic generation of maps, plans and cross-sections.

## Modelowanie blokowe

Model blokowy stanowi niejako wypełnienie modelu sieciowego. Bloki modelu wypełniają całą przestrzeń modelowanego złoża. Przyjmujemy, że wartość przypisana jakiemuś punktowi jest taka sama w pewnym jego otoczeniu. Wielkość tego otoczenia związana jest z gęstością informacji źródłowej oraz ze zmiennością samego parametru. Dlatego każdemu punktowi możemy przypisać pewne otoczenie, w którym wartość parametru jest stała. Pomniejszanie tego otoczenia jest nieuzasadnione, dlatego że nie dysponujemy danymi, umożliwiającymi określanie wartości parametru z większą dokładnością, albo zmienność przestrzenna parametru jest mała. W związku z powyższym, wyjściowy obszar należy przedstawić jako sumę podzbiorów rozłącznych, którym zostają przypisane wartości analizowanego parametru. Budowa modelu blokowego wymaga odpowiedniej reprezentacji obszaru zajmowanego przez obiekt (struktura modelu blokowego). Definicja struktury modelu obejmuje określenie obszaru (podzbiór przestrzeni trójwymiarowej), sposobu jego rozbicia na podzbiory nazywane komórkami oraz wyznaczenie kształtu i wymiarów komórek.

Model blokowy parametru umożliwia określenie jego wartości w dowolnym jego punkcie  $(x, y, z)$ . Dokładność tego oszacowania jest związana z geometrycznymi parametrami prób, przestrzennym rozmieszczeniem siatki pomiarowej, dokładnością pomiarów oraz błędami metod obliczeniowych

Przy dobieraniu wielkości bloków nie należy przesadzać z ich rozdrabnianiem. Zbyt małe wymiary bloku, przy niedostatecznej gęstości siatki rozpoznawczej, generują większe błędy niż bloki większe. Dodatkowo wielkość wynikowego modelu blokowego radykalnie wzrasta wraz z podziałem na coraz to mniejsze bloczki. Minimalna wielkość bloku w płaszczyźnie poziomej nie powinna przekraczać  $\frac{1}{4}$  średniej odległości pomiędzy otworami. Tej minimalnej wielkości nie należy traktować obligatoryjnie, każde złożo trzeba traktować indywidualnie. Wysokość bloku należy dobrać do rodzaju złoża i pionowej zmienności modelowanych parametrów.

## Block modelling

The block model is in a way a completion of the wireframe model. The blocks of this model fill in the entire space of the modelled deposit. We assume that the value assigned to a given point is the same as in a certain space around it. The size of this neighbourhood is connected with the density of source information and the variability of the parameter itself. Therefore each point can be assigned a given neighbourhood, in which the value of this parameter is constant. The diminution of this neighbourhood is unreasonable as we do not possess the data that would allow us to determine the value of parameter with greater accuracy or the spatial variability of the parameter is small. For that reason the initial space should be represented as a sum of separate subsets with assigned values of the analysed parameter. The construction of a block model requires suitable representation of the space occupied by the object (block model structure). The definition of the model structure includes: determination of the space (subset of a three-dimensional space), a method of breaking it into subsets called cells and assignation of the shape and dimensions of cells.

The block model of a parameter enables determination of its value in every point  $(x, y, z)$ . The accuracy of this assessment is related to: the geometrical parameters of samplings, spatial distribution of the sampling network, accuracy of measurements and errors of calculation methods.

When selecting the block size one should not exaggerate with its reduction. Blocks that are too small in dimensions with insufficient density of sampling network, generate greater errors than larger blocks. In addition the size of the output block model increases dramatically with division into smaller blocks. The minimum size of a block in the horizontal plane should not exceed  $\frac{1}{4}$  of the average distance between boreholes. This minimum size should not be treated as obligatory, each deposit ought to be treated individually. The height of the block should be set according to the type of the deposit and the vertical variability of the modelled parameters.

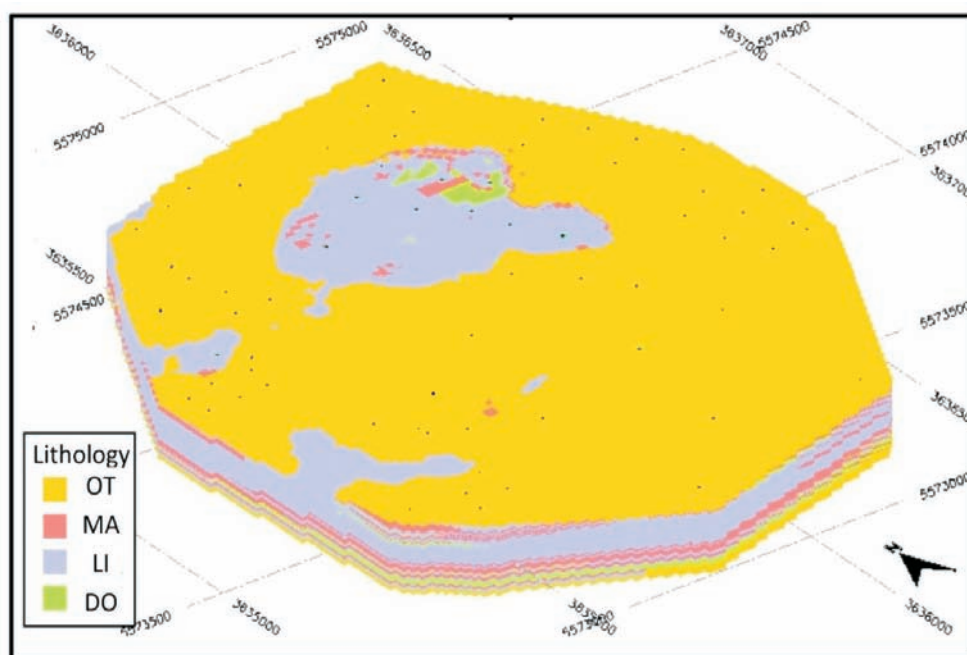


Fig. 1. Block model of lithological classes  
Rys. 1. Model blokowy klas litologicznych

## Model złoża granitu Chwałków I

Model złoża granitu Chwałków I powstał na podstawie danych zamieszczonych w „Uproszczonej dokumentacji geologicznej w kategorii C1 złoża granitu „Chwałków I” w Chwałkowie”, opracowanej w lipcu 1998 roku. Dostępnych było 11 kart otworów wiertniczych wraz z badaniami podstawowych parametrów jakościowych (nasiąkliwość, wytrzymałość na ściskanie, ścieralność na bębnie Devala). Ilość danych była niewielka, jednak ze względu na niewielką zmienność parametrów w tego typach złóż, opróbowanie było wystarczające dla kategorii rozpoznania C1.

Na podstawie dostępnych danych modelowano następujące powierzchnie strukturalne: powierzchnia terenu, spąg czwartorzędu, strop złoża. Na podstawie tych powierzchni otrzymano interwały nadkładu czwartorzędowego, zwietrzałego granitu zaliczonego do nadkładu oraz granitu opisanego w dokumentacji jako zdrowy. Wprowadzono również na podstawie map z dokumentacji kontur złoża, stanowiący jego pionową granicę.

Ze względu na małe zróżnicowanie litologii w przedmiotowym złożu, zaniechano modelowania blokowego poszczególnych klas litologicznych. Możliwe do wydzielenia klasy litologiczne pokrywały się z wymodelowanymi wcześniej interwałami. Dokonano analizy statystycznej wymienionych wcześniej podstawowych parametrów jakościowych kopaliny (rys.2 i 3).

Średnie wartości obliczonych parametrów zestawiono z wartościami przedstawionymi w dokumentacji geologicznej (tab. 1). Wyniki są zbieżne i nie wykazują znaczących różnic.

Tab. 1. The results of the calculated qualitative parameters of the Chwałków I deposits  
Tab. 1. Zestawienie wyników obliczeń parametrów jakościowych złoża Chwałków I

Parameter / Parametr	Results / Wyniki	
	Model / Model	Documentation Dokumentacja geologiczna
Absorbability / Nasiąkliwość [%]	0,8	0,8
Compressive strength / Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	154,9	157,2
Attrition in the Deval test machine Ścieralność na bębnie Devala [%]	6,0	5,7

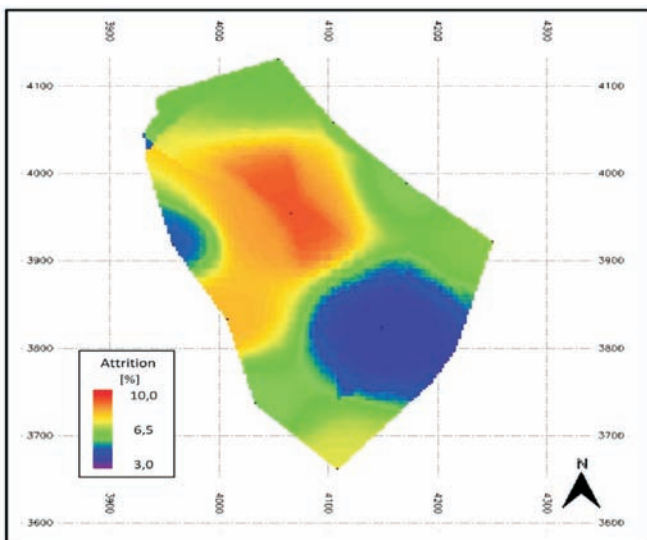


Fig. 2. Distribution of attrition at the top of Chwałków I granite deposit  
Rys. 2. Rozkład ścieralności w stropie złoża granitów Chwałków I

## The Chwałków I granite deposit model

The model of the Chwałków I granite deposit was prepared basing on the data included in the “*Category C1 simplified geological documentation of the Chwałków I granite deposit in Chwałków*” prepared in the July of 1998. Altogether 11 borehole cards together with analysis of the basic qualitative parameters (absorbability, compressive strength, attrition in the Deval test machine) were available. The amount of data was small but because of small variability of parameters in these types of deposits, the sampling was sufficient for the C1 category of resource evaluation.

On the basis of available data the following structural surfaces have been modelled: surface of the ground, floor of the Quaternary formation and top of the deposit. Using these surfaces the intervals of the Quaternary overburden, the weathered granite classified as overburden and the granite described in documentation as healthy have been obtained. In addition the contour of the deposit constituting its vertical boundary has been introduced from the map enclosed in geological documentation.

The modelling of particular lithological classes has been omitted because of small lithological diversification in the deposit. The lithological classes that have been possible to isolate were consistent with the previously modelled intervals. The statistical analysis of the above mentioned basic qualitative parameters of the mineral has been done (fig. 2,3).

The average values of the calculated parameters have been compared with the values given in the geological documentation. The results are convergent and do not show significant differences (tab. 1).

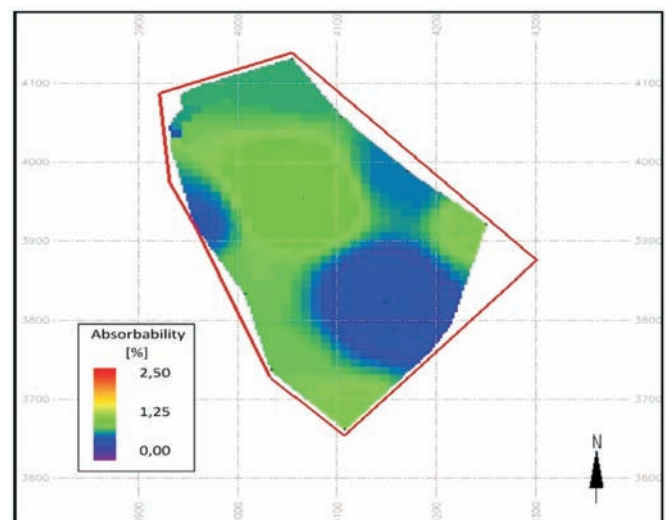


Fig. 3. Distribution of absorbability at the +175 m a.s.l. level of Chwałków I granite deposit

Rys. 3. Rozkład nasiąkliwości na poziomie +175 m n.p.m w złożu granitów Chwałków I

Rozkład pionowy i poziomy wszystkich parametrów jest zbliżony. Najlepszej jakości surowiec stwierdzono w południowej części złoża. Występujący tam surowiec posiada najmniejszą nasiąkliwość oraz ścieralność na bębnie Devala oraz najwyższą wytrzymałość na ściskanie. Najniższej jakości surowiec występuje w centralnej części. Skrajne części złoża charakteryzują się parametrami zbliżonymi dla średniej dla całego złoża.

### Model złoża wapieni i margli triasowych Podgrodzie

Wykorzystano 79 kart otworów wiertniczych, jednak dostępne dane otworowe nie obejmowały całego rejonu, który został rozpoznany podczas prac dokumentacyjnych. Duża ilość kart otworów była niedostępna. Z tego powodu nie były możliwe obliczenia zasobowe dla całego złoża, jak również oszacowania średnich parametrów dla poszczególnych kategorii rozpoznania złoża.

Tab. 2. Lithological composition of the Podgrodzie deposit divided into exploitation levels  
Tab. 2. Skład litologiczny złoża Podgrodzie w rozbiciu na piętra eksploatacyjne

Level / Poziom [m a.s.l.] / [m n.p.m.]	Lithological class Klasa litologiczna	Volume[thousand cubic m] Objętość [tys. m <sup>3</sup> ]	Percent / Procent [%]
235	LI	2 055.7	61.11%
	MA	1 213.1	36.06%
	DO	0.1	0.00%
	OT	95.2	2.83%
	Sum / Suma:	3 364.2	100.00%
215	LI	18 983.6	81.53%
	MA	2 580.0	11.08%
	DO	1 035.1	4.45%
	OT	685.6	2.94%
	Sum / Suma:	23 284.2	100.00%
195	LI	26 045.8	75.58%
	MA	7 233.8	20.99%
	DO	919.9	2.67%
	OT	260.8	0.76%
	Sum / Suma:	34 460.2	100.00%
175	LI	27 133.7	76.27%
	MA	6 281.2	17.66%
	DO	1 793.8	5.04%
	OT	367.8	1.03%
	Sum / Suma:	35 576.5	100.00%
155	LI	19 513.0	54.83%
	MA	9 767.8	27.44%
	DO	4 600.2	12.93%
	OT	1 709.7	4.80%
	Sum / Suma:	35 590.6	100.00%
135	LI	11 563.9	32.49%
	MA	14 320.2	40.24%
	DO	9 316.9	26.18%
	OT	389.7	1.09%
	Sum / Suma:	35 590.6	100.00%

LI – limestone / wapienie, MA – marl / margle, DO – dolomite / dolomity, OT – other rocks / inne skały

The vertical and horizontal distributions of all the parameters are similar. The best quality of mineral has been found in the southern part of the deposit. The mineral there is characterised by the smallest absorbability and attrition in the Deval test machine and the highest compressive strength. The mineral of the lowest quality occurs in the central part. The side parts of the deposit have parameters similar to the average for the whole deposit.

### The Podgrodzie Triassic limestone and marl deposit model

The 79 borehole cards used did not cover the entire area investigated during mineral exploration. Significant number of borehole cards was unavailable. Therefore resource calculations for the whole deposit, as well as estimation of average parameters for particular categories of resource evaluation were not possible.

W modelowaniu blokowym jakości kopaliny wykorzystano powierzchnie uzyskane w wyniku modelowania sieciowego. Była to powierzchnia terenu oraz strop utworów triasowych. Wydzielenia litologiczne zostały zgeneralizowane do 4 podstawowych klas: wapieni, margli, dolomitów i skał innych niż wymienione wcześniej (rys.1). Większa ilość klas nie byłaby uzasadniona, gdyż realizowane zadanie nie zakłada szczegółowego zainteresowania nadkładem złoża, a skały inne niż wapień, margle i dolomity w złożu nie występują (tab.2).

Skład chemiczny serii złożowej cechuje się znacznym zróżnicowaniem zarówno w pionie jak i w poziomie. Zgodnie z ogólnym trendem zawartość CaO spada wraz z głębokością, natomiast MgO charakteryzuje się trendem odwrotnym. Jest to związane ze wzrostem zawartości dolomitów wraz z głębokością złoża. Średnia zawartość CaO spada z z 42,93% na poziomie 215 m n.p.m do 34,41% na poziomie 135 m n.p.m. Zawartość CaO jest większa w zachodniej części złoża (przekracza w niektórych rejonach górnego poziomu 50%), zmniejsza się natomiast ku wschodowi, nie przekraczając najczęściej w górnych poziomach 40% (jedynie w południowo-wschodniej części również zbliża się do 50%) (rys. 4).

Wraz ze wzrostem głębokości oraz zawartości dolomitów w złożu, rośnie średnia zawartość MgO w serii złożowej (tab. 3). Zawartość MgO w części stropowej złoża występuje w jego północno-zachodniej części. Najmniejsze zawartości notuje się w zachodniej części złoża (w całym profilu pionowym) oraz w górnych poziomach części centralnej. Rejony o najmniejszej zawartości MgO pokrywają się z rejonami o największej zawartości CaO i w związku z tym, obszary te

The surfaces obtained from wireframe model have been used for block modelling of the mineral quality. These included surface of the ground and top of the Triassic formations. The lithological units have been generalised into four main classes: limestone, marl, dolomite and other rocks (fig. 1). The larger number of classes would be unjustified as the task undertaken did not imply the detailed interest in the deposit's overburden and rock types other than limestone, marl and dolomite do not occur in the deposit (tab. 2).

The chemical composition of the deposit series is characterised by significant differences both vertically and horizontally. In accordance with the general trend the CaO content decreases with depth, whereas the MgO content is characterised by a reverse trend. This is associated with the increase of the dolomite content with depth of the deposit. The average content of CaO decreases from 42,93% on the 215 m a.s.l. level to 34,41% on the 135 m a.s.l. level. The CaO content is greater in the western part of the deposit (it exceeds 50% in some parts of the upper level) and decreases towards east usually not exceeding 40% in the upper levels and reaching 50% only in the SE part (fig. 4).

The average content of the MgO in the deposit rises with the depth of deposit and increase of dolomite content (tab. 3). The smallest contents have been found in the western part of the deposit (in the entire vertical profile) and in the upper levels of the central part. The areas of the smallest MgO content correspond with the areas of the greatest CaO content and therefore characterise mineral of the best quality.

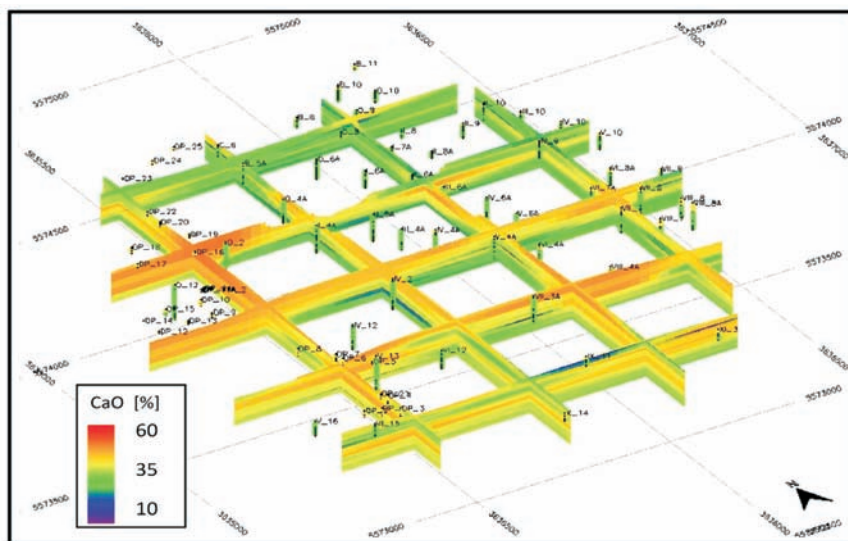


Fig. 4 Sections through distribution of the CaO content in the Podgrodzie deposit  
Rys. 4. Przekroje przez rozkład zawartości CaO w złożu Podgrodzie

Tab. 3. Qualitative parameters of the Podgrodzie deposit divided into exploitation levels  
Tab. 3. Parametry jakościowe złoża Podgrodzie w rozbiu na piętra eksploatacyjne

Level [m a.s.l.] / Poziom [m n.p.m.]	CaO	MgO
	[%]	
235	39.51	2.38
215	42.93	2.59
195	40.69	2.86
175	41.12	2.77
155	37.96	3.27
135	34.41	5.28

charakteryzują się najwyższej jakości surowcem.

### Podsumowanie

W ramach realizowanego projektu *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych* wykonano przykładowe modele geologiczne złóż. Do modelowania wybrano złoża o zróżnicowanej litologii z dostateczną ilością dostępnej informacji geologicznej. Niestety w przypadku wielu złóż dokumentacje geologiczne nie zawierają danych koniecznych do stworzenia modeli. Od opracowywanych w ramach projektu modeli nie jest wymagana znacząca szczegółowość, mają jedynie stanowić dodatek do tworzonej bazy danych surowców skalnych. W modelowaniu wykorzystano różne metody interpolacji, wybierając najlepsze do tego typu prac. Otrzymane wizualizacje oraz wyniki zostaną zaimplementowane do systemu geoinformacyjnego stanowiącego docelowy efekt projektu.

### Conclusions

Within the frames of the *Strategies and technological scenarios of development and use of rock mineral deposits* project example geological models of deposits have been prepared. The deposits characterised by differentiated lithology and sufficient amount of available geological information have been selected for modelling. Unfortunately, in the case of many deposits, the geological documentations lack the data necessary for model development. The models created within this project do not require considerable level of detail as they will complement the rock mineral database under development. Various interpolation methods have been used in modelling and the most suitable for this type of work were selected. The results and visualisations obtained will be implemented in the geoinformation system, which is the target effect of the project.

*Praca została wykonana w ramach projektu pt.: „Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.*

*The activities have been performed in the framework of the project entitled: “Strategies and Technological Scenarios of Management and Utilization of Natural Stone Deposits” co-financed by the European Regional Development Fund within the Operational Programme - Innovative Economy.*

### Literatura / References

- [1] Hustrulid W., Kuchta M., *Open pit mine planning and design. Fundamentals*. Taylor & Francis, London, 2006
- [2] *How To Use Block Model*, podręcznik do Minescape, Mincom Limited, 2004
- [3] *How to use Stratmodel*, podręcznik do Minescape, Mincom Limited, 2002
- [4] Kęsek M., *Numeryczny model złoża w zintegrowanym systemie zarządzania przedsiębiorstwem górniczym*, artykuł umieszczony na stronie <http://www.ptzp.org.pl>
- [5] *Opracowanie metodyki tworzenia modeli złóż surowców skalnych*, IGO Poltegor-Institut, Wrocław, 2010
- [6] *Opracowanie modeli strukturalnych wybranych złóż surowców skalnych*, IGO Poltegor-Institut, Wrocław 2010
- [7] *Opracowanie modeli jakościowych i eksploatacji wybranych złóż surowców skalnych*, IGO Poltegor-Institut, Wrocław 2010
- [8] Siata E., *Model geologiczny złoża i jego rola w zarządzaniu produkcją*, w: Szkoła Eksploatacji Podziemnej – materiały konferencyjne, 2008