

## Umowne prawdopodobieństwo zgodności modeli geologicznych z rzeczywistością geologiczną

Witold Cezariusz Kowalski\*

### Conventional probability of the geological model coincidence with the geological reality

**S u m m a r y.** Each geological cross-section, map and block-diagram is only a geological reality model of an investigated site. Only a definition of a conventional probability of the geological model coincidence with the geological reality in the investigated site is practically possible, while only a part of the geological space in the investigated space is directly recognised (Fig. 1). The better recognised is the geological reality in the investigated site, the less geological models can be constructed on the base of the same set of the credible geological data (Fig. 2). The homogeneous geological bodies and their limits in the geological space in the investigated area can be presented on the geological cross-sections, maps and blok-diagrams as lines, that can be described as mathematical functions (Fig. 3).

The correct definition of the conventional probability of each geological model with the geological reality in the investigated site may increase the position of geology among other natural sciences and may strengthen the role of geology in solving many composed problems of a rational land development and forming ecogeological conditions and also first of all in solving the more difficult problems of the mining and of each kind of building engineering and industry.

Jak już wykazano, skonstruowane na podstawie zbioru danych, zebranych w punktach dokumentacyjnych, podczas badań geologicznych i panujących w nim warunków geologicznych (a więc także surowcowo-geologicznych, hydrogeologicznych, inżyniersko-geologicznych, ekologicznych i in.) — profile, mapy, blokdiagramy są tylko modelami rzeczywistości geologicznej (Kowalski, 1997). Termin model geologiczny używany jest tu w sensie metodologicznym, tj. jako realny model  $U_1$  (istniejącego w rzeczywistości geologicznej, znacznie bogatszego, trudniej dostępnego zbioru przedmiotów, zjawisk procesów geologicznych i relacji między nimi) układu  $U_2$ , występującego w litosferze (a także i w innych, wpływających na litosferę, sferach Ziemi), odtwarzanego przy przyjęciu założenia, że układ  $U_1$  jest odpowiednio podobny do układu  $U_2$ . Takie pojmowanie tego terminu wynika z dotychczasowych publikacji wielu autorów (patrz Literatura).

Z praktyki badań geologicznych już wiadomo, że nigdy nie jest możliwe osiągnięcie takiego zagęszczenia punktów dokumentacyjnych (tj. materialnych punktów obserwacji i pomiarów oraz profilów geologicznych), aby nie tylko one same, lecz także ich otoczenia w badanym terenie stykały się ze sobą, a tym bardziej na siebie zachodziły (ryc. 1), pozwalając na stosowanie indukcji zupełnej (Kowalski, 1997).

W badaniach geologicznych terenu między otoczeniami punktu zawsze występuje praktycznie nieskończona liczba materialnych punktów, w których nie zostały dokonane jakiegokolwiek obserwacje i pomiary, wskazując na najczęściej rozległe części nierozpoznanej rzeczywistości geolo-

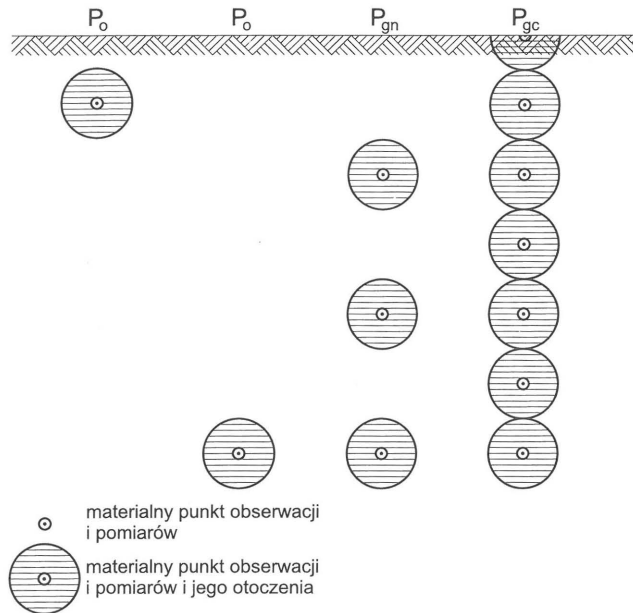
gicznej. O właściwościach rzeczywistości geologicznej w niezbadanych punktach materialnych, a więc w rozległych częściach niezbadanej części przestrzeni geologicznej badanego terenu, wnioskować można tylko pośrednio, stosując metody indukcji niezupełnej. Przekrój, mapa, blokdiagram geologiczny (a więc praktycznie każdy z nich), skonstruowany na bazie zawsze stosunkowo niewielkiego zbioru rozproszonych w przestrzeni geologicznej badanego terenu wiarygodnych danych, nie może być jednoznacznie uznany za jedyny naukowo uzasadniony, wiarygodny model rzeczywistości geologicznej badanego terenu i panujących w nim warunków geologicznych. Model taki natomiast powinien być traktowany tylko jako jeden z wielu możliwych do skonstruowania, o określonym dla każdego z nich umownym (a nie absolutnym) prawdopodobieństwie zgodności każdego z nich z rzeczywistością geologiczną, rozpoznaną tylko z reguły w stosunkowo nielicznych punktach dokumentacyjnych (a nie we wszystkich materialnych punktach całej przestrzeni geologicznej badanego terenu) — ryc. 2.

Należy zastrzec, że aby prawidłowo określić umowne prawdopodobieństwo zgodności skonstruowanych profilów, mapy, blokdiagramów badanego terenu na bazie tego samego zbioru wiarygodnych danych geologicznych, podczas konstruowania każdego z tych modeli nie można pominąć ani jednej wiarygodnej danej tego zbioru, gdyż po jej usunięciu może zmienić się liczba możliwych do skonstruowania modeli. W związku z tym może zmniejszyć się wartość umownego prawdopodobieństwa zgodności modelu z rzeczywistością geologiczną. Dopiero po wykazaniu, że jakaś dana jest błędna — nie tylko można, ale należy wyłączyć ją ze zbioru wiarygodnych danych. Na bazie mniejszego zbioru należy od początku konstruować wszystkie możliwe jednakowo wiarygodne modele o tym samym umownym prawdopodobieństwie ich zgodności z rzeczywistością, odwracając pokazaną na ryc. 2 kolejność postępowania, jakby działając wstecz.

Konstruowanie modelu geologicznego polega na łączeniu liniami różnych punktów materialnych i ich otoczeń o jednakowych wartościach określonych właściwości rzeczywistości geologicznej, rozpoznawanej w odpowiedniej skali, z wymaganą szczegółowością i dokładnością. Linie te określają graficznie właściwości rzeczywistości w przestrzeni geologicznej również w poszczególnych dotychczas niezbadanych punktach materialnych i ich otoczeniach — a więc w szczególności granice dwóch jednorodnych, ale różniących się między sobą ciał geologicznych.

Teoretycznie między dwoma punktami (również materialnymi) można wykreślić bardzo wiele różniących się między sobą linii. Liniami tymi mogą być odcinki prostych, fragmenty krzywych o różnych kształtach prawidłowych (np.: koła, elipsy, paraboli, hiperboli, sinusoidy, cosinusoidy itd.) oraz nieprawidłowych, a także różnymi kombinacjami odcinków prostych i fragmentów krzywych (ryc. 3). Linie te, bądź ich fragmenty dają się opisać jakimiś funkcjami matematycznymi. Opisująca te linie funkcja matematyczna może być więc uznana za model matematyczny rzeczywistości geologicznej, a każda taka linia, wykreślona na prze-

\*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa



**Ryc. 1.** Punkty dokumentacyjne:  $P_o$  — materialny punkt obserwacji i pomiarów i jego otoczenia;  $P_{gn}$  — profil geologiczny nieciągły;  $P_{gc}$  — profil geologiczny ciągły; Koła zakreskowane. Część przestrzeni geologicznej badanego terenu o znanych właściwościach rzeczywistości geologicznej z punktów obserwacji i pomiarów; bez kreskowania - część przestrzeni o właściwościach rzeczywistości niezbadanych z niezbadanych punktów materialnych.

**Fig. 1.** Documentary points:  $P_o$  — material points with their surroundings;  $P_{gn}$  — geological interrupted profiles (logs);  $P_{gc}$  — geological continuous profiles (logs)

kroju, mapie, blokdigramie, za model graficzny tejże rzeczywistości w danej skali jej rozpoznania, z określoną dla tej skali szczegółowością i dokładnością.

Jednak zawsze należy pamiętać, że rzeczywistość geologiczna w danym terenie została rozpoznana tylko w przebadanych punktach dokumentacyjnych, a więc nie jest to rozpoznanie zupełne, a tylko takie, na jakie pozwala zbiór wszystkich wiarygodnych danych zebranych w punktach dokumentacyjnych. Z reguły okazuje się, że w praktyce badań geologicznych — zwłaszcza w pierwszych fazach — wszystkie wiarygodne dane jednego takiego zbioru odpowiadają nie jednej, a kilku funkcjom matematycznym. Wówczas na bazie tego samego zbioru wiarygodnych danych można skonstruować nie jeden, a kilka różnych modeli matematycznych i graficznych rzeczywistości geologicznej badanego terenu, w jednakowym stopniu ich zgodności z badaną rzeczywistością. Ten sam stopień zgodności tak powstałych matematycznych i graficznych modeli geologicznych z rzeczywistością geologiczną badanego terenu charakteryzuje jednakowa wartość umownego prawdopodobieństwa zgodności każdego z tych modeli z rzeczywistością —  $P_g$  (Kowalski, 1983, 1988, 1997) według zależności:

$$P_g = \frac{1}{n_p}$$

Oczywiście żaden z tak skonstruowanych modeli geologicznych: przekrojów, map, blokdigramów (na ryc. 2  $Mp_1, Mp_2, Mp_3, \dots, Mp_n$ ) nie może być uznany za bardziej zgodny z rzeczywistością, bardziej wiarygodny, niż wszystkie pozostałe modele, skonstruowane na tej samej bazie ze zbioru wiarygodnych danych (na ryc. 2:  $Z_p$ ).

Aby uzyskać model o większym umownym prawdopodobieństwie jego zgodności z rzeczywistością geologiczną, a więc bliższym absolutnemu prawdopodobieństwie, co jest szczególnie ważne podczas podejmowania decyzji inwestycyjnych, należy zwiększyć zbiór wiarygodnych danych, dotyczących budowy geologicznej badanego terenu i panujących w nim warunków geologicznych (na ryc. 2:  $Z_d$ ). Zwiększenie zbioru wiarygodnych danych, co z reguły wiąże się ze zwiększeniem liczby punktów dokumentacyjnych, może powodować i najczęściej powoduje, że nie wszystkie wiarygodne dane ze zbioru zwiększonego o nowe dane mogą

łącznie odpowiadać funkcjom matematycznym i obrazującym je graficznie liniom wykreślonym w przekrojach, mapach, blokdigramach geologicznych (na ryc. 2: ze zbioru  $Z_u$  skonstruować można modele  $Mu_1, Mu_2$ ). Pierwotna liczba —  $n_p$  wszystkich, jednakowo umownie prawdopodobnych modeli, skonstruowanych na bazie początkowego zbioru wiarygodnych danych —  $Z_p$ , zmniejsza się z reguły po uwzględnieniu wszystkich wiarygodnych danych w uzupełnionym o nowe wiarygodne dane zbiorze danych —  $Z_u$  i wyniesie —  $n_u$ .

Tak więc z reguły:

$$n_p > n_u,$$

przy czym postępując drogą kolejnych przybliżeń dochodzi się do ogólnego wniosku, że:

$$n_u \rightarrow 1,$$

czyli do absolutnej zgodności modelu geologicznego z rzeczywistością geologiczną.

Zbiór wiarygodnych danych —  $Z_u$  powstaje przez uzupełnienie początkowego zbioru wiarygodnych danych —  $Z_p$  (ryc. 2) zbiorem —  $Z_d$  nowych wiarygodnych danych zebranych w następnej fazie (lub fazach) badań geologicznych danego terenu:

$$Z_u = Z_p + Z_d$$

Ponieważ zawsze:

$$Z_d > 0,$$

więc zawsze

$$Z_u > Z_p$$

Przeprowadzone analizy kolejnych zbiorów wiarygodnych danych, dotyczących tego samego terenu w różnych regionach geologicznych i w różnych fazach badań geologicznych pozwalają sformułować następujące prawidłowości:

Im większy jest zbiór wiarygodnych danych, dotyczących badanego terenu, tym mniejsze są możliwości racjonalnego konstruowania jednakowo wiarygodnych modeli geologicznych badanego terenu i panujących w nim warunków, tzn. tym mniejsza jest liczba możliwych do skonstruowa-

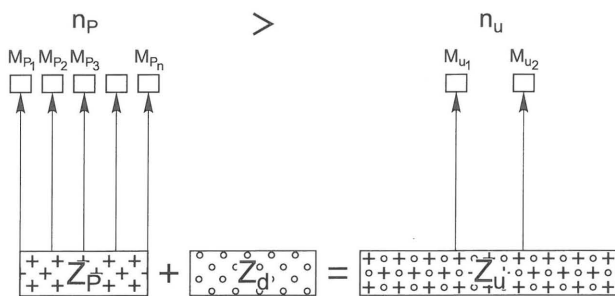
nia modeli o takim samym umownym prawdopodobieństwie ich zgodności z rzeczywistością geologiczną.

W pierwszej fazie (lub fazach) rozpoznania rzeczywistości geologicznej badanego terenu wartości umownego prawdopodobieństwa zgodności z tą rzeczywistością kilku modeli możliwych wówczas do racjonalnego skonstruowania są z reguły niewielkie. Dopiero w następnych fazach rozpoznawania rzeczywistości geologicznej, w miarę wzrostu zbioru wiarygodnych danych i towarzyszącemu temu wzrostowi zmniejszaniu się liczebności, możliwych do racjonalnego skonstruowania, jednakowo wiarygodnych modeli o takim samym umownym prawdopodobieństwie zgodności z rzeczywistością liczba możliwych do skonstruowania modeli stopniowo dąży do 1.

Możliwość osiągnięcia modelu idealnie zgodnego z rzeczywistością geologiczną badanego terenu, tj. modelu geologicznego o absolutnym prawdopodobieństwie zgodności z tą rzeczywistością ograniczają metodologiczne, techniczne i ekonomiczne, a także personalne i czasowe możliwości racjonalnego zaprojektowania, przeprowadzenia badań i opracowania wiarygodnych danych, będących wynikami wszystkich dotychczas przeprowadzonych badań geologicznych tego samego terenu.

### Wnioski końcowe

Wyniki analiz treści bardzo wielu opublikowanych i niepublikowanych opracowań geologicznych, zakończonych prezentacją przekrojów, map i blokdiagramów badanego terenu, na tle ocen tych opracowań, dokonywanych przez ich czytelników, odbiorców i użytkowników z uwzględnieniem przedstawionych wyżej rozważań pozwalają



**Ryc. 2.** Umowne prawdopodobieństwo zgodności z rzeczywistością modeli skonstruowanych na bazie tego samego zbioru wiarygodnych danych

$Z_p$  — Początkowy zbiór wiarygodnych danych (krzyżyki) z pierwszej fazy badań;  $Z_d$  — zbiór nowych wiarygodnych danych (kółka) z następnej fazy danych;  $Z_u$  — zbiór danych powiększony o nowe dane. Strzałki — konstruowanie modeli:  $M_{p1}...M_{pn}$  w liczbie  $n_p$  na bazie zbioru  $Z_p$ , oraz modeli  $M_{u1}, M_{u2}$  w liczbie  $n_u$  na bazie powiększonego zbioru  $Z_u$

**Fig. 2.** Conventional probability of the geological models coincidence with the geological reality on a base of the same set of credible data

$Z_p$  — a first set of the credible data (crosses) from the first phase of investigation;  $Z_d$  — a set of the new credible data (circles) from the next phase of investigation;  $Z_u$  — the developed set with old and new credible data. Arrows — constructions of models:  $M_{p1}...M_{pn}$  in number —  $n_p$  on the base of the set  $Z_p$ , and models:  $M_{u1}, M_{u2}$  in number —  $n_u$  on the base of the developed set —  $Z_u$

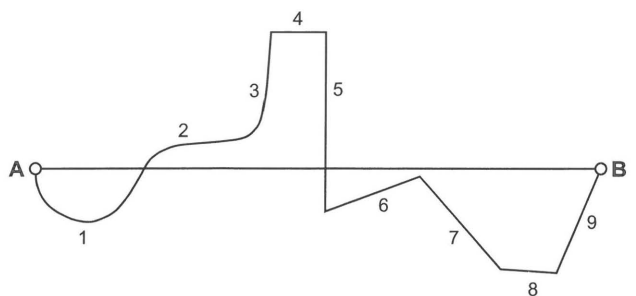
na sformułowanie następujących, ogólnych wniosków końcowych:

Przekroje, mapy i blokdiagramy geologiczne badanego terenu przedstawiane są najczęściej jako jedyne wiarygodne, zgodne z rzeczywistością obrazy budowy geologicznej terenu i panujących w nim warunków geologicznych w skali tych opracowań — a więc jako wierne odwzorowania rzeczywistości geologicznej w tej skali, a nie jako tylko modele rzeczywistości geologicznej badanego terenu o określonym prawdopodobieństwie ich zgodności z tą rzeczywistością.

Najwyżej oceniane są te przekroje, mapy i blokdiagramy geologiczne, których całkowitą zgodność z rzeczywistością geologiczną wykazały później wykonane kontrolne i uzupełniające badania geologiczne w wyrobiskach badawczych (wkopach, przekopach, szybach, wierceniach itd.), bądź wyrobiskach górniczych (szybach, sztolniach, chodnikach itd.), bądź też w wyrobiskach budowlanych (wykopach fundamentowych, studniach, tunelach itd.).

Rozbieżności między treścią przekrojów, map i blokdiagramów geologicznych badanego terenu, prezentowanych przez ich autorów jako wiarygodne obrazy rzeczywistości geologicznej, a treścią późniejszych odsłoneń, ujawniającą się w późniejszych uzupełniających badaniach geologicznych tego samego terenu lub podczas wykonywanych robót górniczych bądź budowlanych powodują, że całe opracowania geologiczne badanego terenu są oceniane negatywnie. Tym bardziej negatywna jest ta ocena, im większe są rozbieżności, przy czym zawarte w nich elementy nowości, oryginalności, estetyki ich ujęć itp., nie wpływają na ogólnie negatywną ocenę końcową.

W opracowaniach geologicznych po prezentacji modeli geologicznych brakuje najczęściej rzetelnej analizy błędów, możliwych do popełnienia podczas konstruowania modeli. Nie można również często doszukać się jakichkolwiek prób oceny prawdopodobieństwa zgodności prezentowanych modeli z rzeczywistością geologiczną, opisywaną w odpowiedniej skali, z założoną lub wymaganą szczegółowością i dokładnością, co powoduje, że czytelnicy, odbiorcy i użyt-



**Ryc. 3.** Przykład jednego z modeli możliwego przebiegu granicy dwóch różnych, jednorodnych ciał geologicznych między punktami dokumentacyjnymi AB. Fragmenty krzywej: 1 — kolistej, 2 — parabolicznej, 3 — hiperbolicznej; odcinki prostej łamanej: 4–9; AB — geometrycznie najprostszy, najczęściej przyjmowany model tejże granicy

**Fig. 3.** An example of the one from models in possible courses of the limit between two different, homogeneous geological bodies between documentary points: A and B. Curve fragments: 1 — circular, 2 — parabolic, 3 — hyperbolic; segments of straight lines: 4–9; AB — the geometrically simplest, most often accepted model of this limit

kownicy takich opracowań mogą sądzić i najczęściej tak właśnie są przekonani, że prezentowane modele są całkowicie zgodne z rzeczywistością geologiczną, gdyż nie ma w nich wydzieleni określonych jak przypuszczalne lub prawdopodobne.

Nie określanie względnego prawdopodobieństwa zgodności prezentowanych przekrojów, map i blokdiagramów badanego terenu z rzeczywistością geologiczną osłabia z jednej strony pozycje geologii jako dyscypliny naukowej lub zbioru dyscyplin geologicznych w systemie nauk przyrodniczych, z drugiej zmniejsza jej rolę, jaką powinna ona odgrywać w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnych, w planowaniu zagospodarowania terenu i kształtowania warunków ekogeologicznych, a także w projektowaniu, realizowaniu i eksploatacji różnorodnych obiektów inwestycyjnych.

Prawidłowe określanie umownego prawdopodobieństwa zgodności prezentowanych przekrojów, map i blokdiagramów badanego terenu i panujących w nim warunków geologicznych z rzeczywistością geologiczną przyczynia się istotnie do wzmocnienia pozycji geologii wśród innych nauk przyrodniczych i do ugruntowania roli zastosowań jej osiągnięć w praktyce rozwiązywania złożonych problemów racjonalnego zagospodarowania terenu i kształtowania jego

warunków ekogeologicznych oraz coraz trudniejszych problemów współczesnego górnictwa i wszelkiego rodzaju budownictwa.

## L i t e r a t u r a

- ALMS R., KLESPIER C. & SIEHL A. 1994 — Nachrichten aus dem Karten -und Vermessungswesen, 111: 9–16.
- FÖRSTER A. & MERRIAN D.F. (eds) 1996 — Geological Modelling and Mapping. Plenum Press, New York & London.
- KINZELBACH W. 1986 — Ground water modelling. Elsevier, Amsterdam.
- KRUMBEIN W.C. & GRAYBILL F.A. 1965 — An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- KOWALSKI W.C. 1983 — Bull. IAEG, 28: 77–79.
- KOWALSKI W.C. 1988 — [In:] Geomechanics and Geostatistics Analysis Applied in Space and Time, Dependent Data in Sc. de la Terre, Nancy, 27: 79–120.
- KOWALSKI W.C. 1995 — Prz. Geol., 43: 664–670.
- KOWALSKI W.C. 1997 — Ibidem, 45: 978–982.
- SIEHL A., RÜBE O., VALDINIA-MANCHEGO M. & KLAFF J. 1992 — [In:] Geol. Jb., A 122: 273–289.