

## ZASTOSOWANIE ELEKTRONICZNEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ W GEOLOGII

UKD 55:681.3.001.8

Przedstawiony poniżej artykuł jest skrótownym omówieniem stanu zastosowania e.t.o. w geologii i ma charakter przede wszystkim informacyjny. Rozdział drugi artykułu dotyczący stanu zastosowania e.t.o. w geologii nie zawiera więc szczegółowego omówienia problemów, a tylko je wymienia, charakteryzując krótko cel obliczeń i ich właściwości. Rozdział trzeci przedstawia program organizacyjny wdrożenia e.t.o. w resorcie oraz cele i możliwości Zakładu Metod Matematycznych PPG.

### OCENA STANU ZASTOSOWANIA E.T.O. W GEOLOGII

Zastosowanie e.t.o. w geologii jak i w innych dziedzinach nauki oparto na przesłankach ustalonych zarówno właściwościami tej techniki obliczeń, jak i potrzebami geologii. Ogólnie mówiąc cechami charakterystycznymi obliczeń wykonywanych za pomocą e.m.c. (elektronicznych maszyn cyfrowych) jest w dziedzinie przetwarzania informacji: duża ilość danych wejściowych, pracochłonne ze względu na ilość danych ich przetworzenie w inną postać oraz duża ilość danych wyjściowych, a w dziedzinie obliczeń numerycznych: stosunkowo mała ilość danych wejściowych oraz wyjściowych i skomplikowany sposób

analizy (procesu) zjawiska geologicznego, obejmujący często obliczenie wielu wariantów tego zjawiska, ustalenie rozwiązań alternatywnych itp.

Na schemacie przedstawiono opisane powyżej rodzaje obliczeń wraz z zaznaczeniem współpracy poszczególnych specjalistów. Już z tego bardzo ogólnego scharakteryzowania procesu obliczeniowego wynikają możliwości zastosowania tej techniki w geologii, gdzie ilość danych bywa znaczna, a możliwość analizy wariantów procesu ma podstawowe znaczenie.

Trudnością, jaką należy pokonać przy wdrożeniu e.t.o. w geologii jest konieczność matematyzacji opisowych pojęć geologicznych oraz matematyczne ujęcie procesów geologicznych. Zagadnienie to nie rozwiązane w pełni do dnia dzisiejszego jest przeszkodą w pełnym zastosowaniu e.t.o. w geologii. Biorąc to pod uwagę kierunki wdrożenia e.t.o. można podzielić na:

- I — automatyzacja obliczeń wykonywanych „ręcznie”,
- II — analiza procesów i zjawisk geologicznych poprzez matematyczne ich opisanie, zastosowanie matematycznych metod analizy oraz ponowne przejście na opisowy język geologiczny.

## Przetwarzanie informacji

I

## obliczenia numeryczne

## Geologia

Wyniki pomiarów, analiz, wierceń itp. (wykonuje geolog)

Ułożenie programu przetwarzania informacji (wykonuje programista matematyk przy współpracy z geologiem)

Geologiczna interpretacja wyników obliczeń (wykonuje geolog)

Zakodowanie informacji w postaci cyfrowej — dane wejściowe do obliczeń (wykonuje stacja przygotowania danych)

Przetworzenie informacji i obliczenia numeryczne za pomocą maszyny cyfrowej (wykonuje ośrodek obliczeniowy)

Dane wyjściowe numeryczne

Przyjmując przedstawiony podział oczywiste jest, że automatyzacja obliczeń jest zadaniem łatwiejszym niż matematyczna analiza procesu geologicznego. Wymagania stawiane programowi obliczeń wykonywanych w ramach automatyzacji (I) sprowadzają się do tego, aby dane wejściowe dla programu były identyczne jak w obliczeniach ręcznych, przez co rozumie się, by program przewidywał wykonanie wszystkich pośrednich etapów obliczeń bez dodatkowej pracy przygotowawczej wykonywanej przez człowieka. Przykładowo przy obliczaniu zasobów złóż metodą Bołdyriewa można ułożyć program, wymagający podania jako danych wejściowych tylko współrzędnych odwiertów, miąższości, ciężaru objętościowego i procentowej zawartości np. metalu w skale, albo program, który oprócz ww. danych wymagać będzie podania powierzchni najbliższego rejonu, objętości wieloboków itp., czyli wymaga dodatkowej pracy przygotowawczej.

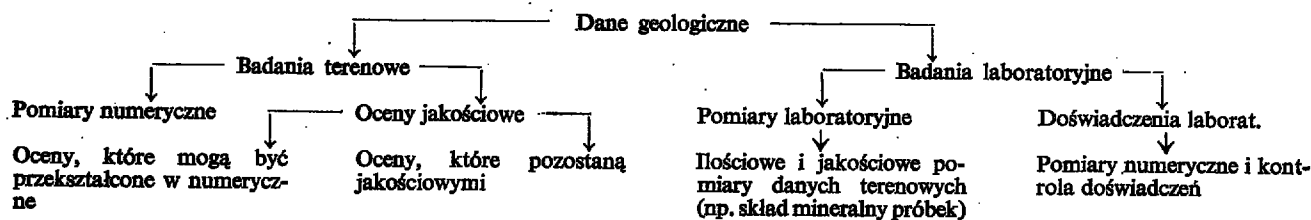
Automatyzację obliczeń zastosować można we wszystkich tych działach geologii, gdzie obliczenia wykonywane są periodycznie za pomocą skomplikowanych wzorów lub pracochłonnych zestawień tabelarycznych. Przykładem z tej dziedziny mogą być obliczenia zasobów złóż wraz z oceną błędów obliczeń, ustalanie granic okonturowania złoża na podstawie średniego kąta wyklinowywania, wiele obli-

poszczególnych obszarów badań, a inne powierzchnie, gdy część rozpatrywanych obszarów potraktuje się jako jedną całość. Analiza różnic pomiędzy poszczególnymi obliczeniami doprowadza nieraz do uwypuklenia dyslokacji, które przy ogólnej analizie mogą być pominięte. Podkreślić należy, iż obliczenia za pomocą e.m.c. są tylko narzędziem niezbędnym do wykonania tej analizy i nie należy oczekiwać, że rozwiążą one te problemy, które wymagają odpowiedniej ilości informacji, w przypadku gdy informacji tej jest brak. W przytoczonym powyżej przykładzie główną kwestią będzie ilość i rozmieszczenie wierceń oraz prac geofizycznych na obszarze badań.

Analiza procesu geologicznego (II) za pomocą metod matematycznych opiera się na:

- 1) uzgodnieniu formuł matematycznych z danymi geologicznymi,
- 2) matematycznym wyrażeniu interpretacji procesów geologicznych,
- 3) ustaleniu możliwych błędów w interpretacji geologicznej, wynikających z niewłaściwie przyjętej metody analizy matematycznej lub niedostatecznej ilości informacji.

Dane geologiczne wchodzące w proces informacji i analizy matematycznej można podzielić następująco:



czeń techniczno-inżynierskich w geologii inżynierskiej i hydrogeologii itp.

Zastosowanie maszyn cyfrowych pozwala na wykonywanie prac, które dotychczas nie były wykonywane ze względu na swoją pracochłonność. Do prac takich należy aproksymowanie powierzchni geologicznych za pomocą matematycznie obliczonej powierzchni, której równanie jest ustalone przez punkty o znanych wartościach (np. głębokości zalegania warstwy w odwiercie). Powierzchnia taka pozwala na przeprowadzenie interpolacji na zasadach różnych od interpolacji liniowej, która jest tylko słuszną w niewielu przypadkach. Ponadto powierzchnia taka pozwala przez swoją obiektywność na sprawdzenie koncepcji budowy geologicznej przez uwydatnienie tych jej elementów, których obecność specjalista przyjął na podstawie innych źródeł informacji.

Przykładowo rozpatrując obszar o silnie rozwiniętej tektonice można analizować go częściowo, otrzymując różne powierzchnie aproksymujące dla

Przykładowo w sedimentologii wg Krumbaina (1) dane geologiczne używane do interpretacji są następujące:

statystyczne dane sedimentologiczne bezpośrednio używane do interpretacji geologicznej

- 1) dane graficzne, numeryczne i tabelaryczne — własności fizyczne, chemiczne i geologiczne skał (np. skład mineralny);
- 2) opis i porównywanie osadów — tabele i wykresy, np. zawartość minerałów ciężkich w osadach itp.;
- 3) klasyfikacja osadów — dane z punktów 1 i 2 użyte do uszeregowania osadów, np. litologicznie, stratygraficznie itp.;
- 4) badania systematycznych zmian osadów — mapy i wykresy zmian własności osadów (dane z punktów 1 i 2) wzdłuż zadanych kierunków badania, np. kierunek osadzenia;

5) dane testowe do utworzenia, rozwoju i sprawdzenia hipotez dotyczących procesów osadzenia — porównanie danych z pomiarów laboratoryjnych i terenowych dotyczących wiarygodności procesu, np. rodzaj sedimentacji. Informacje z punktów 1, 2, 3, 4 przeważnie są danymi do przetwarzania informacji za pomocą e.m.c.

**statystyczne dane używane do wnioskowania o rozkładzie statystycznym wielkości geologicznej**

- 6) zastosowanie danych empirycznych w celu określenia statystycznego rozkładu wielkości geologicznej — ustalenie rodzaju populacji (rozkładu) statystycznej, porównanie metod pomiaru własności osadów, określenie wpływu samej techniki pomiarowej, formalna analiza związków pomiędzy właściwościami populacji sedimentacyjnej;
- 7) zastosowanie fizycznych i statystycznych modeli dla procesów sedimentacyjnych, rozwój modeli dla kontroli reakcji środowiska sedimentacyjnego — tworzenie wielozmiennych modeli na podstawie danych z punktów 4, 5, 6.

Dane i operacje przedstawione w punktach 5, 6 i 7 obejmują obliczenia numeryczne, związane z analizą procesu geologicznego. Wynikiem przeprowadzonej analizy jest otrzymanie matematycznego modelu zjawiska, który z daną dokładnością opisuje to zjawisko. Dokładność opisu jest funkcją prawidłowości przyjętego sposobu analizy i ilości danych wejściowych branych pod uwagę przy ustalaniu tego modelu.

Modele matematyczne, używane do analizy można podzielić na statystyczne i deterministyczne. Matematycznym modelem procesu nazywa się fikcyjny lub rzeczywisty twór będący uproszczeniem tego procesu, zachowujący jednak istotne (ze względu na rodzaj badania) cechy tego procesu. Budowanie modelu jakiegos procesu polega na rozbiciu tego procesu na procesy elementarne zachodzące w pewnych względnie odosobnionych układach. Gdy te elementarne procesy są niezależne względem siebie cały model jest statystyczny, a w przeciwnym przypadku jest deterministyczny.

Jak wynika z powyższych rozważań największe zastosowanie w geologii ma statystyka matematyczna. Główne statystyczne kwestie w geologii obejmują:

- 1) określenie rodzaju populacji danej cechy geologicznej;
- 2) oszacowanie wielkości średniej i zmienności populacji danej cechy,
- 3) określenie geologicznie ważnych różnic między populacjami mierzonych cech geologicznych,
- 4) oszacowanie związku (statystyczna korelacja) między pomierzonymi cechami populacji,
- 5) poszukiwanie i określenie cech systematycznych występujących na danym obszarze (trend).

Populacja obiektu (także i geologicznego) jest definiowana statystycznym rozkładem cech elementów tego obiektu lub rozkładem samych elementów. Populacje geologiczne można uszeregować wg rozkładów statystycznych:

**rozkład normalny** — urzeźbienie powierzchni terenu, wahań poziomu wody, ilość ziarn kwarcu w piaskowcach zmiany wymiarów u bezkręgowców w czasie rozwoju gatunku, kąty nachylenia ścian dolin rzecznych, porowatość w piaskowcach, procentowa zawartość podstawowych minerałów w niektórych skałach, procentowa zawartość wody w niektórych osadach;

**rozkład log-normalny** — zmiany miąższości warstw osadowych, przepuszczalności skał (wapień, piaskowce), koncentracja śladowych pierwiastków w skałach;

**rozkład gamma** — zmiany miąższości warstw osadowych, koncentracja rzadkich składników w ska-

łach (pierwiastki śladowe, minerały ciężkie, części organiczne);

**rozkład normalno-kołowy** — orientacja szczelin w skałe i kierunków osadzenia;

**rozkład binomialny** — obecność warstwowania poprzecznego w łupku;

**rozkład Poissona** — liczba cząsteczek alfa emitowanych w jednostce czasu przez skały promieniotwórcze.

Każdy z tych rozkładów jest opisany za pomocą statystyki matematycznej. Mając określony rozkład danej zmiennej można określić liczbowe charakterystyki tej zmiennej, co pozwala ocenić jej wielkość, prawdopodobieństwo występowania, wpływu na inne zmienne i na cały proces geologiczny, a także wyznaczyć matematyczne związki zachodzące pomiędzy różnymi zmiennymi. Dane te częstokroć są wystarczające dla uściślenia geologicznej interpretacji rozpatrywanego zjawiska oraz są podstawą do tworzenia matematycznego modelu całego procesu geologicznego.

Na podstawie przeprowadzonych za pomocą rachunku statystycznego analiz można rozwiązać wiele zadań praktycznych stojących przed geologią, oto niektóre z nich:

- 1) ustalenie optymalnej siatki wyrobisk;
- 2) ustalenie wiarygodności map i przekrojów;
- 3) ustalenie systemu opróbowania zależnie od rodzajów popełnianych błędów systematycznych;
- 4) ustalenie związków i zależności między poszczególnymi cechami — wskaźnikami lub zmiennymi (korelacja dwu i więcej zmiennych);
- 5) ustalenie minimalnej ilości próbek koniecznych do wyliczenia wiarygodnej średniej wielkości, np. zawartości metalu przy obecności próbki o zdecydowanie większej, np. zawartości metalu niż w próbkach pozostałych;
- 6) ustalenie procentu powierzchni złoża o miąższości mniejszej od przyjętej za normatywną;
- 7) badanie wpływu jednego lub wielu czynników na wielkość zdarzenia np. wpływ wielkości zawartości metalu w próbce na wielkość błędu opróbowania;
- 8) sprawdzenie obecności błędów systematycznych w danej serii pomiarów;
- 9) ustalenie wskaźnika jednorodności złoża (na podstawie równości średnich z pomiarów, np. miąższości w różnych częściach złoża);
- 10) ustalenie dokładności pomiarów wykonywanych różnymi metodami;
- 11) ustalenie ilości koniecznej informacji geologiczno-górnicznej potrzebnych dla utworzenia modelu złoża (model oparty na przekrojach prostokątnych do rozciągłości), wykorzystanie wzorów na ilość informacji;
- 12) badanie stopnia podobieństwa obiektów geologicznych wg podobieństw ich cech, rozkładów prawdopodobieństwa itp;
- 13) ustalenie wpływu błędów pomiarów częściowych na rezultat końcowy;
- 14) ustalenie związków statystycznych (korelacje) między anomaliami geofizycznymi a cechami budowy geologicznej;
- 15) określenie powierzchni trendu oraz powierzchni „resztkowych” przez zastosowanie liniowych modeli statystycznych.

Wymienione zadania są w różnym stopniu opracowane w literaturze światowej, a wiele z nich wymaga dalszych studiów. Studia te powinny się koncentrować na:

1. Ujednoliceniu i formalizacji pojęć geologicznych oraz ustaleniu sposobu ich przedstawiania za pomocą pojęć matematycznych;
2. Ustaleniu kryteriów zastosowania poszczególnych działów matematyki dla opracowania problemów geologicznych oraz oceny cech zarówno dodatnich, jak i ujemnych wdrożenia e.t.o. w geologii. Zastosowanie e.t.o. wymaga współpracy dwu grup specjalistów, operujących diametralnie różnym ap-

ratem pojęć, warsztatem pracy i nawykami zawodowymi. Istotne jest więc, aby przewyciężenie obiektywnych trudności nie zostało skomplikowane trudnościami subiektywnymi. Wydaje się, że następujące czynniki mogłyby taką współpracę ułatwić:

1. Dostatecznie szczegółowe przedstawienie problemu geologicznego wraz z analizą:
  - a) dotychczasowego sposobu postępowania przy jego rozwiązaniu;
  - b) cech charakterystycznych występujących w danym zjawisku;
  - c) celu, jaki należy osiągnąć.
2. Możliwie największe ograniczenie stosowania pojęć typowych tylko dla geologii lub tylko dla matematyki w czasie ustalania całokształtu współpracy.
3. Rzetelna analiza i oparcie się przez obie strony na publikacjach zagranicznych dotyczących tej dziedziny współpracy i na tej podstawie szukanie punktów stykowych.
4. Dążenie do opracowywania programów obliczeń obejmujących kompleksy zagadnień, możliwie w dużym stopniu zautomatyzowanych i nie wymagających większej niż konieczna ilości danych.

#### DANE ORGANIZACYJNO-TECHNICZNE DOTYCZĄCE ZASTOSOWANIA E.T.O. W PPG

W Przedsiębiorstwie Poszukiwań Geofizycznych w kwietniu 1968 r. powołano Zakład Metod Matematycznych, który przejął zagadnienia dotyczące zastosowania e.t.o. w geologii i geofizyce. Do jego zadań należy całokształt wdrożenia e.t.o., przez co rozumie się matematyczne opracowywanie problemów geologicznych i geofizycznych, ich programowania na e.m.c., kodowanie danych, wykonywanie obliczeń, działalność szkoleniowa, organizacyjna oraz prowadzenie informacji w tej dziedzinie.

Obecnie zakład liczy 7 osób, w tym 6 z wykształceniem matematycznym i jedna z wykształceniem geologiczno-geofizycznym. W perspektywie przewiduje się zatrudnienie w zakładzie zarówno specjalistów z dziedziny geologii i geofizyki, jak i z dziedziny e.t.o. Dotychczas praca zakładu koncentrowała się na programowaniu zagadnień wyłącznie geofizycznych. Obliczenia zakład wykonuje za pomocą maszyny cyfrowej GIER produkcji duńskiej na zasadzie umowy całorocznej. PPG posiada dostęp do maszyny praktycznie codziennie dla obliczeń krótkich (ok. 15 minut pracy maszyny), a co najmniej

#### SUMMARY

The article is a short description of the state of application of electronic calculation technique in geology, and is of information character. It, first of all, discusses the aim of the calculations and their features, and presents organizing programme of initiation of electronic technique in calculations conducted in the department of geology. It also gives the programme of the Division of Mathematical Methods at the Enterprise of Geophysical Prospections, and presents its possibilities and equipments.

raz w tygodniu dla obliczeń wymagających dłuższego okresu czasu. W 1969 r. planuje się zawarcie umowy także z COPAN-em na obliczenia wykonywane za pomocą maszyny Odra 1204, co jest podjętowane koniecznością zapoznania się z maszyną cyfrową produkcji polskiej.

Wszystkie programy obliczeń wykonywane są w międzynarodowym języku ALGOL lub jego modyfikacjach, co ujednolica ich formę i pozwala korzystać z wielu publikacji fachowych z tej dziedziny (język ALGOL jest bowiem obok amerykańskiego FORTRANU najbardziej rozpowszechnionym językiem programowania na świecie).

Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych opłaca w ZON UW koszty obliczeń i kodowania danych wg cennika państwowego w wysokości 2100 zł/godz. pracy maszyny cyfrowej i 120 zł/godz. kodowania danych. Dla orientacji podajemy, iż całość prac obliczeniowych dla PPG wyniosła w 1968 r. 275 godzin pracy maszyny.

Maszyna cyfrowa GIER, jedna z lepszych maszyn europejskich tej klasy, posiada szybkość operacji ok. 10 000 operacji/sek. W rozliczeniach ze zleceniodawcami Zakład Metod Matematycznych obciąża ich kosztami pracy maszyny i kodowania ich danych z 1% narzutem oraz godzinami pracy programistów z 8% narzutem. Przeciętna godzina pracy programisty kosztuje ok. 30 zł. Zakład Metod Matematycznych PPG będzie dysponował w br. własnym urządzeniem do kodowania danych, co zwiększy operatywność przygotowywania obliczeń.

Centralny Urząd Geologii czyni starania u Pełnomocnika Rządu d/s ETO o przydział maszyny cyfrowej dla potrzeb resortu. Maszyna ta (prawdopodobnie Odra 1204) posiada jako język programowania ALGOL, co jest przesłanką do programowania zagadnień geologicznych i geofizycznych w tym języku.

Autorzy artykułu przekonani są, że odpowiednio wczesne nawiązanie współpracy między Przedsiębiorstwem Poszukiwań Geofizycznych a Instytutem Geologicznym i w tej dziedzinie pozwoli na zebranie doświadczeń i będzie korzystne dla obu współpracujących ze sobą stron.

#### LITERATURA

1. Krumbein W. C., Graybill F. A. — An introduction to statistical models in Geology. Nowy Jork, 1966.
2. Ryżow P. A., Gudkow W. M. — Применение математической статистики при разведке недр. Москва, 1966.

#### РЕЗЮМЕ

В статье дается сообщение на тему применения электронной вычислительной техники в геологии. Рассматриваются цели вычислений и приводится программа внедрения электронной вычислительной техники в геологической службе. Сообщаются планы работ Отдела математических методов, организованного в 1968 г. в Предприятии геофизических поисков, а также его возможности и аппаратура.