

JAN MALINOWSKI, JACEK OWCZARCZYK, PRZEMYSŁAW STENZEL
Instytut Geologiczny

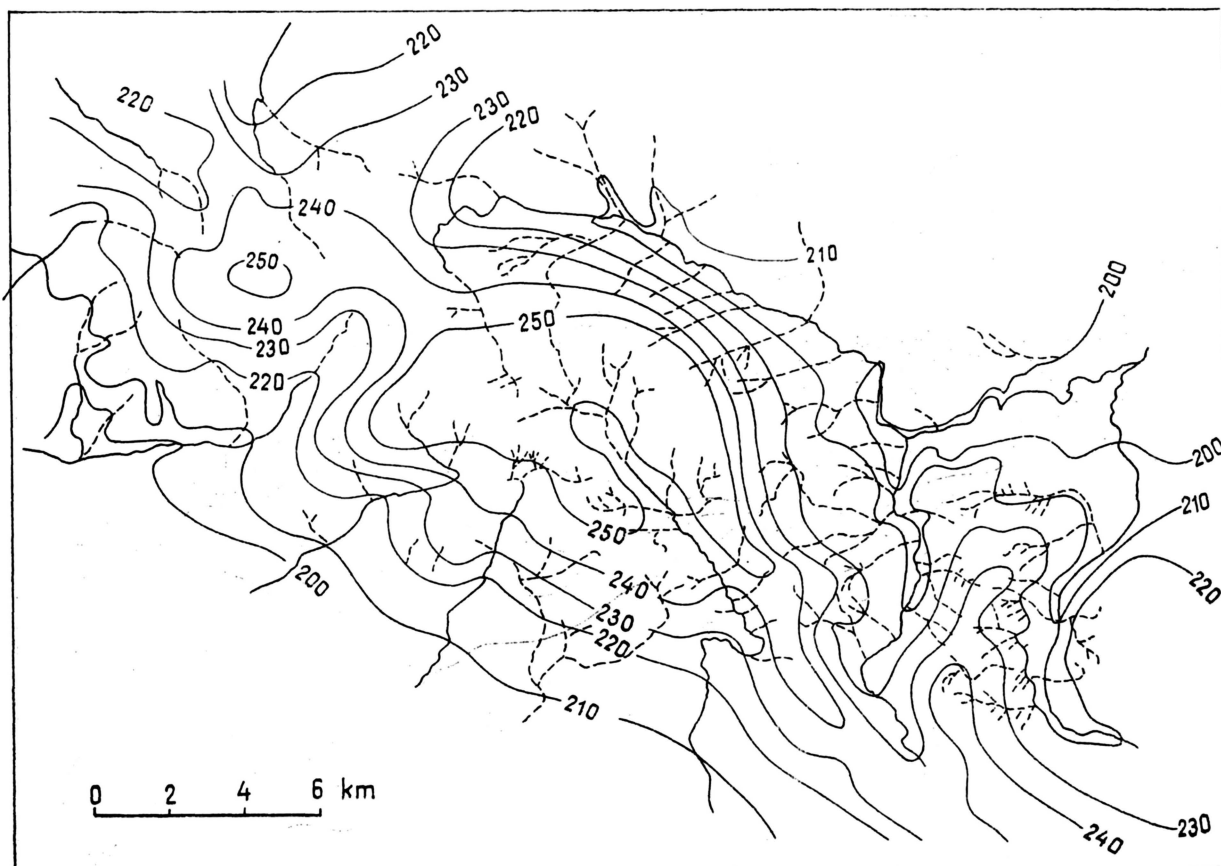
OPRACOWYWANIE MAP POWIERZCHNI ZWIERCIADŁA WÓD PODZIEMNYCH PRZY ZASTOSOWANIU ELEKTRONICZNEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ

UKD 556.332.5(084.3-322):681.3.004.11/.15

Jednym ze sposobów odwzorowania stosunków hydrogeologicznych jest mapa hydroizohips, obrazująca wysokość i układ powierzchni zwierciadła wód podziemnych w odniesieniu do poziomu morza. Znaczenie takiej mapy jest duże, gdyż za jej pomocą można oceniać spadki hydrauliczne, kierunki przepływu wód, szacować ich zasoby. Toteż konstrukcja mapy powinna być oparta na dogłębnej analizie ma-

teriałów podstawowych i prawidłowej ich interpretacji aby mogła stanowić najwierniejsze odwzorowanie zwierciadła wód podziemnych.

W prostych warunkach hydrogeologicznych przy odpowiedniej ilości materiału badawczego, konstrukcja mapy nie napotyka na większe trudności i stanowi dość dokładne odwzorowanie powierzchni zwierciadła wód podziemnych.



Ryc. 1. Mapa hydroizohips wykonana metodą interpolacji.

1 — hydroizohipsy, 2 — doliny rzeczne i ciekłi, 3 — doliny suche (denudacyjne).

Fig. 1. Map of hydroisohyps made with the use of interpolation method.

1 — hydroisohyps, 2 — river valleys and creeks, 3 — dry (denudational) valleys.

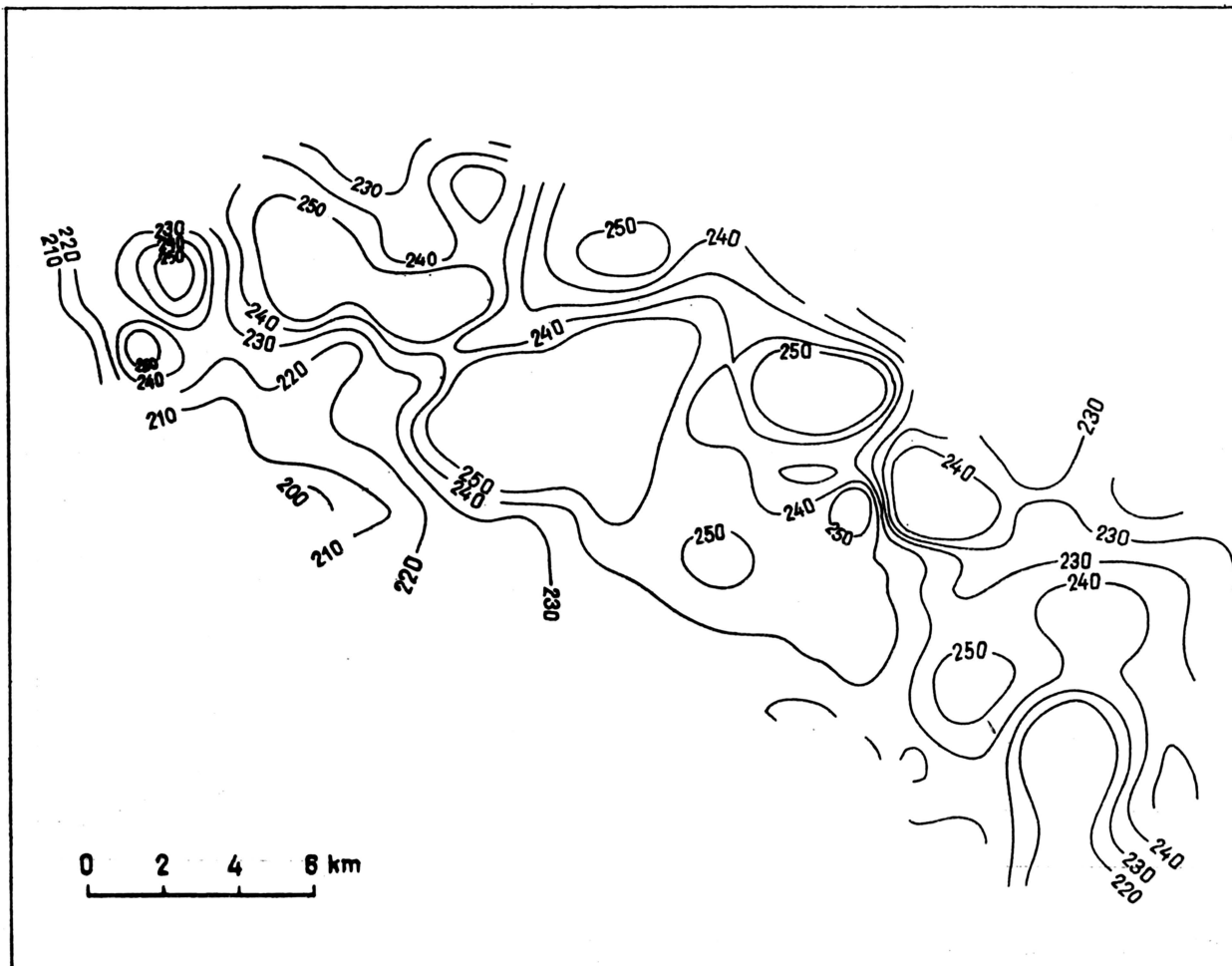
Natomiast w układach skomplikowanych, przy nieciągłym występowaniu poziomów wodonośnych, szczególnie w szczelinowym systemie krążenia wód podziemnych, sporządzenie takiej mapy jest bardziej skomplikowane, ponieważ identyfikacja poziomów jest utrudniona, gdyż drożne systemy szczelin różnie ukierunkowanych sprawiają, że przepływ wód jest skomplikowany. Obok bowiem przepływów o małej intensywności, występują strefy o dużych przepływach i dużych spadkach hydraulicznych, które zakłócają obraz powierzchni zwierciadła wód podziemnych, trudny niejednokrotnie do jednoznacznej interpretacji.

Od wielu lat można zauważyć, że do konstrukcji map ciągłych powierzchni geologicznych, a za taką należy uważać zwierciadło wód podziemnych, stosuje się coraz częściej metody elektronicznej techniki obliczeniowej. Mając na uwadze potrzebę szerszego stosowania tych metod w hydrogeologii, autorzy przeprowadzili próby konstrukcji mapy na obszarze o szczelinowym systemie krążenia wód podziemnych. Sieć rzeczna jest tu dość dobrze rozwinięta z licznymi źródłami o dużych wydajnościach, co świadczy, że teren jest silnie drenowany. Warstwy wodonośne są silnie i różnokierunkowo spękane. Liczne uskoki o małych zrzutach sprawiają, że lokalnie wody podziemne występują pod niewielkim ciśnieniem.

Na omawianym terenie zwierciadło wód podziemnych badano w około 100 studniach wierconych i kopanych oraz w około 100 źródłach. Po selekcji materiału uznano, że około 130 punktów jest repre-

zentatywnych dla charakterystyki powierzchni zwierciadła wód podziemnych. Na podstawie interpretacji tych punktów wykreślono mapę hydroizohips, ryc. 1. Jest to więc mapa wykonana metodą interpolacji wg zasad klasycznych. Z mapy tej wynika dość regularny układ powierzchni zwierciadła wód podziemnych. Wyraźnie widoczna jest drenująca rola cieków i spokojny przebieg hydroizohips. Mogłoby się więc wydawać, że mapa ta jest wierną ilustracją powierzchni zwierciadła wód podziemnych.

Dla uzyskania potwierdzenia wiarygodności tej interpretacji wykreślono komputerowe mapy hydroizohips, których wyniki przedstawiają ryc. 2 i ryc. 3. Mapa przedstawiona na ryc. 3 obrazuje generalne zmiany kształtu powierzchni wód podziemnych, natomiast porównanie map ryc. 1 i 2 wskazuje, że mapa druga (ryc. 2) wykazuje bardziej niespokojny przebieg hydroizohips, w strefach zasilania (wododziałowych), z czego można wnioskować o istnieniu niejednorodnych geologicznych warunków zasilania. Wyraźnie jest podkreślony drenujący charakter głównych cieków, natomiast drenaż ciekami małymi nie jest na tej mapie widoczny. Porównując obie mapy (ryc. 1 i 2) można przyjąć, że „niespokojny” przebieg hydroizohips spowodowany jest tym, że źródła położone w górnych odcinkach doliny (wysoko) drenują tylko niewielki obszar, co uwidacznia się w generalnym kształcie powierzchni zwierciadła wód podziemnych. Według interpretacji klasyczną metodą (ryc. 1) uchwycenie tych różnic jest prawie niemożliwe i wskutek tego uzyskuje się obraz zbyt idealny, sugerujący istnienie prostych stosunków hydrogeologicznych.



Ryc. 2. Mapa hydroizohips wykonana metodą ETO na podstawie zagęszczonej sieci punktów pomiarowych.

Fig. 2. Map of hydroisohyps made with the use of electronic computation method on the basis of dense network of measurement points.

Dlatego też posługiwanie się metodami matematycznymi przy sporządzaniu takich map może ułatwić niejednokrotnie rozwiązanie problemów hydrogeologicznych ważnych z punktu widzenia poboru wód, bądź potrzeb inżynierskich.

Teoretyczne podstawy sporządzania map trendu powierzchni geologicznych

Obliczenia i wykreślania map trendu ciągłych powierzchni geologicznych mają na celu ustalenie obrazu generalnych zmian kształtu tych powierzchni. Jeżeli rozpatrywana powierzchnia geologiczna może być uznana za powierzchnię ciągłą, a tak jest w przypadku powierzchni zwierciadła wód kredowych, to mapę trendu tej powierzchni można obliczyć za pomocą komputera stosując metodę, której główne założenia są podane poniżej. Jeżeli badana powierzchnia jest dana przez zbiór n (w naszym przypadku $n=209$) punktów pomiarowych rozmieszczonych w układzie współrzędnych prostokątnych XYZ, gdzie osie X i Y są osiami kartezjańskiego układu współrzędnych, a oś Z jest osią wartości cechy Z, to można w każdym punkcie pomiarowym „wydzielić” z wartości cechy Z część zdeterminowaną, określającą generalne zmiany kształtu powierzchni (trend) oraz część losową, zmienną w czasie i przestrzeni. Przyjmuje się więc, że jest spełnione założenie:

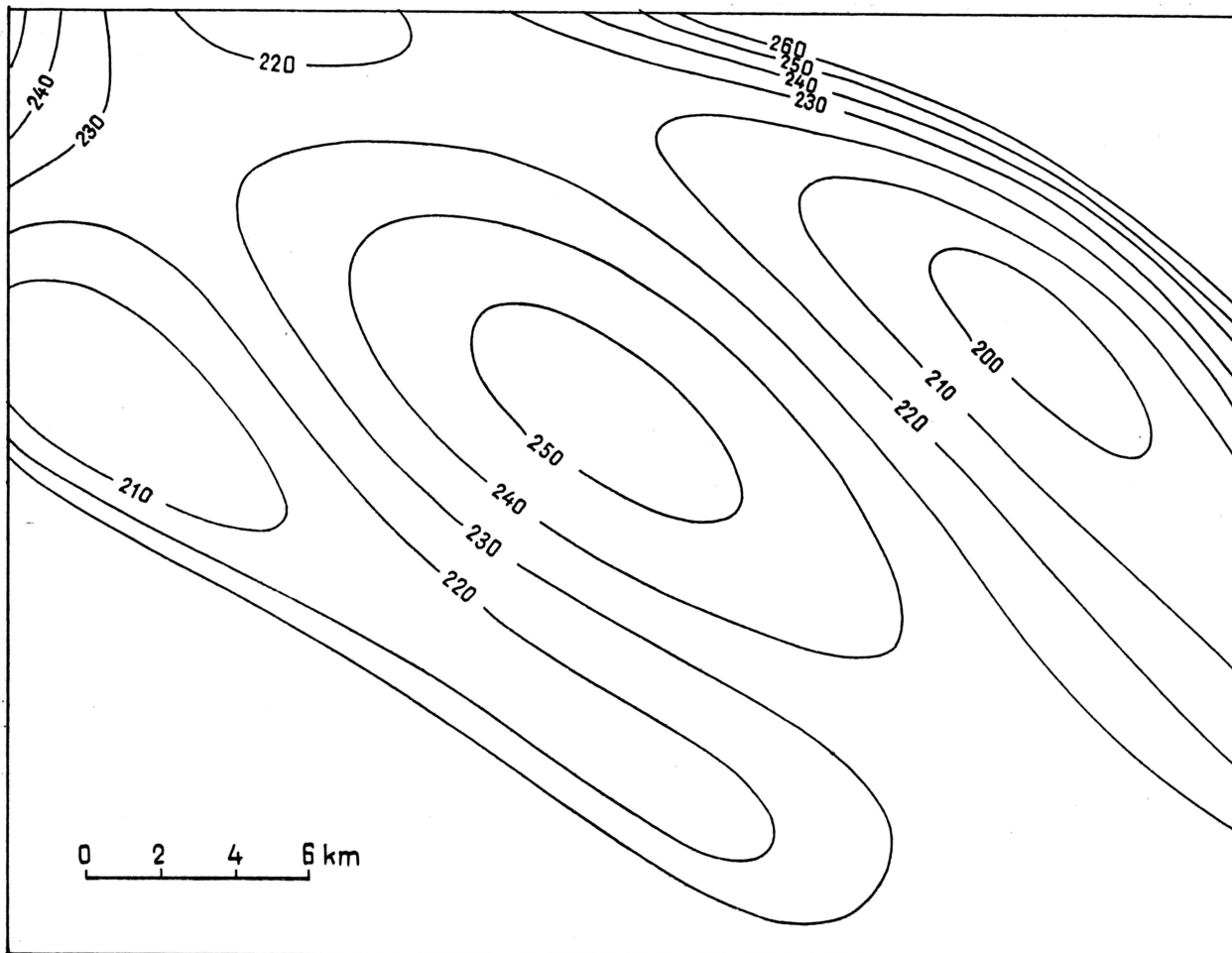
$$Z_i = Z_{itr} + \varepsilon_i$$

$i = 1, 2, \dots, n$, ε_i = czynnik losowy,

gdzie: i oznacza kolejny numer punktu.

Inaczej mówiąc, dla dowolnego (z pewnymi ograniczeniami) układu punktów x_i, y_i, z_i można otrzymać zbiór wartości Z_{itr} , dający w efekcie powierzchnię obrazującą generalne zmiany kształtu badanej powierzchni geologicznej. Określenie funkcji matematycznej, opisującej powierzchnię trendu, wykonuje się poprzez zastosowanie zmodyfikowanej aproksymacji rzeczywistej powierzchni geologicznej przez wielomiany potęgowe lub trygonometryczne. Tradycyjnie, aproksymacja wykonywana jest za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów, co a priori wymaga posługiwania się określonymi równaniami funkcji. Modyfikacja klasycznej metody aproksymacji polega na założeniu, że początkowe równanie funkcji aproksymującej może być zmienione poprzez eliminację z niego wyrazów nieistotnych statystycznie lub poprzez dołączenie do niego dowolnych funkcji elementarnych. Tak pomyślana procedura postępowania powinna zapewnić lepsze, niż w klasycznym przypadku, „dostosowanie” równania funkcji aproksymującej do kształtu rzeczywistej powierzchni geologicznej. Przyjęta metoda postępowania jest realizowana w następujących etapach:

Etap I — na podstawie przewidywanego lub znanego kształtu badanej powierzchni geologicznej wybiera się początkowe równanie aproksymujące. Można założyć, że będzie to funkcja z klasy wielomianów. W omawianym przypadku badania trendu powierzchni zwierciadła wód kredowych analizowano kształt tej powierzchni według mapy interpolacyjnej (ryc. 2). W wyniku analizy ustalono, że w sensie regionalnym (w skali obszaru), nie będzie na niej więcej aniżeli cztery obszary o wartościach ekstre-



Ryc. 3. Mapa hydroizohips wykonana metodą ETO na podstawie rozrzedzonej sieci punktów pomiarowych.

Fig. 3. Map of hydroisohypses made with the use of electronic computation method on the basis of dilute network of measurement points.

małych. Wniosek ten pozwala na przyjęcie jako funkcji aproksymującej wielomianu 5 stopnia, zgodnie z regułą:
 stopień wielomianu = ilość ekstremów + 1.
 Początkowe równanie funkcji aproksymującej będzie więc następujące:

$$Z = C(1) + C(2)x + C(3)y + C(4)x^2 + C(5)xy + C(6)y^2 + C(7)x^3 + C(8)x^2y + C(9)xy^2 + C(10)y^3 + C(11)x^4 + C(12)x^3y + C(13)xy^3 + C(15)x^2y^2 + C(16)x^5 + C(17)x^4y + C(18)x^3y^2 + C(19)x^2y^3 + C(20)xy^4 + C(21)y^5 + C(14)y^4 + \dots \quad [2]$$

Wartości współczynników $C(1) \dots C(21)$ są nieznane, znane natomiast dla każdego punktu pomiarowego są jego współrzędne x_i, y_i, z_i $i = 1, 2, \dots, n$ oraz ich iloczyny zgodnie ze wzorem [2].

Wartości współczynników $C(1) \dots C(21)$ mają być takie by jednocześnie suma kwadratów różnic pomiędzy rzeczywistą i aproksymowaną powierzchnią była minimalna oraz by różnice te były losowe. Związek poszczególnych wyrazów równania [2] z kształtem badanej powierzchni geologicznej jest następujący:

Współczynnik $C(1)$	Zmiany kształtu powierzchni nie ma wpływu na kształt powierzchni
$C(2), C(3)$ $C(5)$	liniowe wzdłuż osi X i Y
$C(4), C(6)$ $C(7), C(10), C(11)$	paraboliczne wzdłuż osi X i Y nieliniowe stopni 3, 4, 5 wzdłuż osi X i Y

$C(14), C(16), C(21)$
 $C(8), C(9), C(12)$ nieliniowe różnych stopni skośne
 $C(13), C(15), C(17)$ w stosunku do osi X i Y
 $C(18), C(19), C(20)$

Etap II — Obliczenie za pomocą zmodyfikowanej metody najmniejszych kwadratów wartości współczynników $C(1) \dots C(21)$. Obliczenie to wykonuje program komputerowy zawarty w [1]. W wyniku otrzymano równanie:

$$Z = 4011 - 3102x - 3895y + 956x^2 + 2526xy + 1429y^2 + 140x^3 - 564x^2y - 717xy^2 - 212y^3 + 10,3x^4 + 49,9x^3y + 79,5xy^3 + 7,89y^4 + 111x^2y^2 - 0,33x^5 - 1,38x^4y - 5,29x^3y^2 - 6,61x^2y^3 - 2,61xy^4 + 0,528y^5 \quad [3]$$

Równanie to odzwierciedlałoby trend badanej powierzchni zwierciadła wód kredowych, gdyby wszystkie zawarte w nim rodzaje zmian kształtu (patrz tabela) istniały w rzeczywistości. Ponieważ nie wiemy czy tak jest należy przeprowadzić modyfikację tego równania.

Etap III — Modyfikacja równania [3] opiera się na założeniu, że każda zmiana kształtu, reprezentowana przez odpowiednie wyrazy równań [2] i [3] może mieć miejsce w rzeczywistości. Podejście takie pozwala potraktować poszczególne wyrazy równania [3] jako swego rodzaju zmienne niezależne, a to z kolei upoważnia do zastosowania metody regresji wielorakiej do eliminacji zmiennych (a więc i zmian kształtu) nieistotnych statystycznie, czyli nie mających znaczenia przy rozpatrywaniu kształtu badanej powierzchni.

Dla każdego wyrazu równania [3] stawia się hipotezę statystyczną $H_0: C_j = 0$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1: C_j \neq 0$ $j = 1, 2, \dots, 21$, czyli bada się kolejno czy współczynniki równania [3] są, czy też nie są statystycznie różne od zera. Gdy współczynnik nie jest statystycznie różny od zera, zmienna jest statystycznie nieistotna, a zmiana kształtu powierzchni opisywana przez ten współczynnik nie występuje w rzeczywistości. Test istotności dla tej hipotezy jest następujący:

$$F = \frac{C_j}{S^2 d_{jj}}$$

gdzie:

- F — test F-Snedecora
- C_j — kolejny badany współczynnik $j = 1, 2, \dots, 21$
- S — oszacowanie wariancji wektora ε_i
- d_{jj} — kolejny element diagonalny macierzy $[D]^{-1}$

Jeżeli F , obliczone dla współczynnika C_1 , jest $\leq F_{\text{tabl.}}$ dla $n-k$ stopni swobody, to na przyjętym poziomie ufności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , czyli C_j nie jest statystycznie istotny i może być usunięty z równania [3].

Po wykonaniu obliczeń w efekcie końcowym otrzymamy równanie:

$$\begin{aligned} Z = & 2398 - 1631x - 2188y + 439xy^2 + 1261xy + 753y^2 - \\ & - 48,8x^3 - 242x^2y - 316xy^2 - 94y^3 + 1,86x^4 + \\ & + 15,1x^3y + 25,1xy^2 + 43x^2y^2 - 1,66x^3y^2 - \\ & - 1,82x^2y^3 + 0,557y^5 \end{aligned} \quad [4]$$

Z porównania równań [3] i [4] wynika, że postać końcowa powierzchni trendu jest uproszczona w stosunku do postaci początkowej.

Część nieliniowych zmian kształtu wyższych stopni została wyeliminowana, co jest o tyle prawdopodobne, że charakter powierzchni zwierciadła wód wyklucza obecność skomplikowanych kształtów tej powierzchni. Realizacja równania [4] w postaci mapy izolacji została zamieszczona na ryc. 3.

Założenia interpretacyjne mapy trendu są następujące:

- ponieważ mapa trendu powierzchni geologicznej jest obrazem zgeneralizowanych zmian kształtu tej powierzchni, obraz ten należy rozpatrywać w określonej wymiarach obszaru skali regionalnej. Wszystko to, co na mapie trendu odbiega od obrazu mapy interpolacyjnej (ryc. 1) powinno być traktowane jako zjawisko „lokalne” w skali obszaru. Obraz przedstawiony na mapie trendu musi być zgodny z budową geologiczną terenu; układ kierunków trendu, oraz głównych, kierunki największych spadków, a także samo ukształtowanie izolacji powinny wynikać ze stopnia złożoności budowy geologicznej i stosunków hydrogeologicznych.

Opracowanie wiarygodnej mapy trendu wymaga więc współpracy geologa i matematyka. Ponieważ mapa trendu jest mapą aproksymacyjną ważne jest ustalenie układu współrzędnych X, Y (współrzędna „ Z ” pozostaje bez zmiany), w którym wykonana będzie aproksymacja. Drugą istotną informacją, niezbędną do prawidłowego wykonania mapy trendu, jest zdefiniowanie przez geologa „modelowego” kształtu badanej powierzchni geologicznej, co umożliwi dobór równania funkcji aproksymującej. Zestaw danych XYZ punktów pomiarowych oraz rodzaj równania funkcji aproksymującej są wymagane przy wykonaniu opracowania mapy trendu powierzchni geologicznej. Metodyka opracowywania i kreślenia map trendu została podana w [1].

Zasady konstrukcji mapy hydroizohips za pomocą systemu MAPART

W celu wszechstronnej analizy powierzchni zwierciadła wód podziemnych przeprowadzono badania zmierzające do zastosowania konstrukcji map hydroizohips nowych metod realizowanych za pomocą elek-

tronicznej techniki obliczeniowej. Do doświadczeń wykorzystano maszynowy system opracowywania geologicznych map konturowych MAPART, który został zaprojektowany w Zakładzie Informatyki Instytutu Geologicznego.

Ponieważ proces opracowywania map konturowych za pomocą systemu MAPART istotnie różni się od stosowanego tradycyjnie, warto przedstawić krótką jego charakterystykę. W procesie tym można wyodrębnić dwa podstawowe etapy:

- 1) numeryczna rekonstrukcja badanej funkcji, którą jest powierzchnia zwierciadła wód podziemnych;
- 2) graficzne przedstawienie wyników obliczeń.

Numeryczna rekonstrukcja funkcji dwóch zmiennych jest rozumiana jako proces określania jej wartości w węzłach pewnej siatki kwadratowej, tzw. siatki podstawowej. W badaniach geologicznych funkcje (powierzchnie) również zadane są numerycznie z tą różnicą — że w zbiorze nierównomiernie położonych punktów obserwacyjnych. Tak pojęta numeryczna rekonstrukcja badanej funkcji może być utożsamiana ze zmianą struktury danych. Jej celem jest dostosowanie struktury danych do struktury maszyny cyfrowej. Co więcej, rozmiar siatki podstawowej jest na tyle mały, że wartości funkcji obliczone w węzłach tej siatki reprezentują wszystkie istotne tendencje zmian kształtu badanej powierzchni. Stąd też, ta zmiana ma charakter również jakościowy. W systemie MAPART do numerycznej rekonstrukcji badanej funkcji używana jest metoda aproksymacji w siatce dodatkowej [2]. Podstawowe zasady tej metody można przedstawić w następujący sposób: w badanym obszarze wprowadzana jest pomocnicza siatka kwadratowa, tzw. siatka dodatkowa, która wyznacza w nim pewien podział; w otrzymanych podobzszarach badana funkcja aproksymowana jest wielomianami niskich stopni, a specjalna funkcja waga powoduje, że w wyniku złożenia wielomianów z poszczególnych podobzszarów otrzymuje się funkcję ciągłą.

W systemie MAPART użytkownik ma możliwość ingerencji w trakcie numerycznej rekonstrukcji badanej funkcji w sytuacjach, gdy brak danych może skutecznie zastąpić wiedza i doświadczenie geologa opracowującego mapę. Jest to realizowane przez wprowadzanie do obliczeń hipotetycznych punktów pomiarowych. Przy określaniu wartości funkcji w tych punktach pomocna jest analiza trendu.

Opracowanie mapy interpolacyjnej za pomocą programów systemu MAPART wymaga współpracy geologa i matematyka. Współpraca ta wynika z konieczności zdefiniowania takich danych, jak: w etapie I (numeryczna rekonstrukcja powierzchni geologicznej):

- orientacja osi układu współrzędnych XY (współrzędna Z pozostaje bez zmian),
- ustalenie początku układu współrzędnych XY i jednostek opisu osi X i Y ,
- ustalenie długości boku siatki podstawowej i boku siatki pomocniczej, w etapie II (kreślenie mapy):
- ustalenie skali kreślenia i wynikających z niej parametrów, jak np.: długość w mm boku siatki podstawowej, wielkości w mm opisu cyfr i liter itp.,
- ustalenie minimalnej i maksymalnej wielkości Z dla izolacji oraz przyrostu wielkości ΔZ dla kolejnych izolacji,
- ustalenie rodzajów opisu mapy, np. wykreślenie: siatki współrzędnych, punktów pomiarowych, opis punktów itp.

Postać mapy wykonywanej za pomocą programów systemu MAPART zależy od ustaleń przyjętych przez geologa i matematyka na etapie numerycznej rekonstrukcji powierzchni geologicznej. Rekonstrukcja ta zależy od wielkości boku siatki podstawowej i sposobu jej „nałożenia” na rzeczywisty układ punktów pomiarowych (wierceń). Siatka kwadratowa jest z definicji „sztywne”, tak więc jej rozmiar jak i sposób „nałożenia” na rzeczywisty układ punktów pomiarowych ma wpływ na obliczenie wartości powierzchni geologicznej w jej węzłach. Z wielkości boku siatki podstawowej i sposobu jej „nałożenia” wyini-

kają podstawowe dane wymagane przez programy systemu MAPART, czyli: współrzędne X, Y punktów pomiarowych, współrzędne naroży prostokąta opisanego na skrajnych punktach pomiarowych oraz współrzędne wpisanego w ten prostokąt wielokąta wypukłego, wewnątrz którego „istnieje” zrekonstruowana powierzchnia geologiczna.

Obecnie w Zakładzie Informatyki IG prowadzi się prace mające na celu ograniczenie wad wynikających ze „sztywnego” charakteru siatki kwadratowej.

Wartości funkcji w węzłach siatki podstawowej wykorzystywane są do konstrukcji mapy konturowej kreślonej automatycznie przez pisak xy typu DIGIGRAF. Jest to drugi etap w procesie opracowywania mapy. W systemie MAPART do tego celu używana jest specjalna metoda — sklejanie funkcji interpolacyjnych. Umożliwia ona wykreślenie mapy konturowej składającej się z ciągłych i gładkich linii konturowych. Polega ona na określaniu, w poszczególnych kwadratach siatki podstawowej, pewnych funkcji w taki sposób, aby funkcja otrzymana z ich połączenia — sklejenia — (jest ona określona w całym badanym obszarze) — była funkcją ciągłą i gładką (funkcja dwóch zmiennych jest funkcją gładką jeżeli jej pochodne cząstkowe rzędu pierwszego są ciągłe).

Technika kreślenia izolinii jest następująca. Izolinia jest „dzielona” na jednostkowe odcinki, które będą kreślone przez DIGIGRAF. Dla każdego jednostkowego odcinka program komputerowy wylicza zestaw danych, z których podstawowymi są współrzędne x, y początku odcinka oraz przyrosty wzdłuż osi X i Y. Zestaw danych dla odcinka jednostkowego tworzy wydzielony blok informacji wyprowadzanych z komputera na taśmę papierową. Tak więc izolinia jest przedstawiona jako ciąg bloków informacji dotyczących poszczególnych odcinków jednostkowych. Sam proces kreślenia izolinii odbywa się automatycznie po wczytaniu do DIGIGRAFU taśmy papierowej, będącej wynikiem działania programu komputerowego. DIGIGRAF kreśli sekwencyjnie odcinek po odcinku (ryc. 2).

SUMMARY

The paper presents the method of mapping of groundwater table with the use of electronic computation techniques on the example of an area with groundwater circulation system. For this area were prepared hydroisohypse maps with the use of both the above mentioned method (Fig. 2) and the interpolation method (Fig. 1). The comparisons showed that the former gives more reliable image of groundwater table pattern.

Attention is drawn to the fact that mapping of the groundwater table with the use of electronic computation techniques is purposeful and highly useful in the case of small hydrogeological units with large number of very carefully selected measurement data. The image obtained with the use of a limited number of data (Fig. 3) is highly generalized and not usable for hydrogeological purposes. The discussed method may be, therefore, recommended as highly useful for tracing changes of groundwater table in areas of well intakes and controlling the influence of mining drainage and artificial water reservoirs on their surrounding.

Na podstawie porównania map powierzchni zwierciadła wód podziemnych wykonanych metodą klasyczną i za pomocą technik matematycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przy stosowaniu metod matematycznych do konstrukcji mapy hydroizohips wymagany jest stosowany dobór materiałów i taka selekcja punktów, aby ilość zakwalifikowana mogła być uważana za reprezentatywną. Niewielka ilość punktów podstawowych daje obraz bardzo zgeneralizowany, przy skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych. Przykład mapy opartej tylko na wierceniach przedstawia ryc. 3. Zbyt idealny przebieg hydroizohips nie odzwierciedla rzeczywistego układu, jaki w przybliżeniu ilustruje mapa ryc. 1. Bardziej dokładnie ilustruje to mapa na ryc. 2.

2. Podczas gromadzenia materiału terenowego wymagana jest dokładna niwelacja otworów i źródeł. W omawianym przykładzie rzędne źródeł odczytano z mapy topograficznej przy zachowaniu bardzo dużej staranności, niemniej wydaje się, że błąd wynosi tu 1—2 m, co mogło mieć wpływ na przebieg izohips.

3. Stosowanie metod matematycznych do kreślenia powierzchni zwierciadła wód podziemnych jest najbardziej przydatne przy powierzchniach niewielkich, do 100 km². Metody te mogą mieć największe zastosowanie przy opracowywaniu map zwierciadła w strefie ujęć wód podziemnych. Szczególne znaczenie mogą mieć jako metody kontrolne w różnych obszarach eksploatacji ujęć, zwłaszcza w skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych. Dużą przydatność tych metod można także widzieć przy kontroli wyników odwodnienia kopalń odkrywkowych i wpływu sztucznych zbiorników wodnych na otoczenie.

4. Dla potrzeb regionalnych przydatność metod matematycznych dla określenia map hydroizohips ma zastosowanie mniejsze nawet przy dużej ilości danych obserwacyjnych, co oczywiście nie wyklucza przeprowadzania dalszych studiów w tym kierunku.

РЕЗЮМЕ

В статье описан метод разработки поверхности зеркала подземных вод при помощи электронно-вычислительной техники в избранном районе с трещинной системой циркуляции подземных вод. Для этого района была составлена методом интерполяции карта гидроизогипс (фиг. 1). Проведено сравнение этой карты с картой составленной методом электронно-вычислительной техники (фиг. 2). Со сравнения видно, что карта на фиг. 2 представляет более достоверное расположение зеркала подземных вод.

Обращено внимание на то, что составление карт расположения зеркала подземных вод методом электронно-вычислительной техники является целесообразным для небольших гидрогеологических единиц, в случае распоряжения большим количеством измерений. При небольшом числе данных получается очень обобщенное изображение, непригодное для гидрогеологических целей.

Описываемый метод является пригодным для наблюдения изменений зеркала подземных вод в зонах водозаборных сооружений, для контроля влияния шахтных водоотливов и влияния искусственных водных резервуаров на окружающую среду.