

Jacek MOTYKA, Marek NIEĆ, Zbigniew WILK<sup>1</sup>

O PEWNYM ZASTOSOWANIU METODY ANALIZY  
TRENDU POWIERZCHNI W BADANIACH  
HYDROGEOLOGICZNYCH

(4 fig.)

*Certain application of trend surfaces analysis to geohydrology*

(4 Figs.)

Treść: Badano poziom wodonośny o charakterze naporowym. Dysponując gęstą siecią pomiarów ciśnienia piezometrycznego obciążonych błędami o nie znanej wielkości i znaku autorzy zastosowali metodę powierzchni trendów. Za podstawę interpretacji przyjęto powierzchnię 3 stopnia. Na tle tak określonego regionalnego układu pola hydrodynamicznego stwierdzono występowanie lokalnych „anomalii”. Analiza ich rozmieszczenia pozwoliła wykryć lokalne, nie znane uprzednio strefy zasilania lub drenażu badanego poziomu wodonośnego.

WSTĘP

W toku badań prowadzonych nad hydrogeologią rejonu olkuskiego zastosowano m. in. metodę modelowania analogowego (Motyka, 1975; Haładus i in., w druku) w celu wyjaśnienia warunków krążenia wód w triasowym piętrze wodonośnym. Niezbędna była do tego znajomość regionalnego układu pola hydrodynamicznego odpowiadającego nie istniejącym już naturalnym warunkom, nie zakłóconym działalnością kopalń i ujęć wodnych. Odwzorowaniem tego układu jest mapa piezometrycznego zwierciadła wody podziemnej występującej w skałach badanego piętra wodonośnego. Można ją było skonstruować na podstawie dużej ilości istniejących danych obserwacyjnych, co do których istniało jednak uzasadnione podejrzenie, że reprezentują zbiór informacji o nieznanym, lecz różnym stopniu dokładności i wiarygodności. Skonstruowanie takiej mapy wymagało więc obiektywnego uśrednienia lokalnych podzbiorów tych danych, które były przyporządkowane poszczególnym

<sup>1</sup> Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30.

fragmentom powierzchni badanego obszaru, tj. blokom obliczeniowym modelu analogowego. Aby osiągnąć ten cel, autorzy zastosowali do przetworzenia danych pomiarowych statystyczną metodę analizy powierzchni trendu.

W trakcie symulacji naturalnych warunków krążenia wód i konfrontacji uzyskanego na modelu układu zwierciadła piezometrycznego z danymi obserwacyjnymi zaszła konieczność korektury modelu. Wskazywała ona, że w pewnych wycinkach modelowanego obszaru występują dodatkowe źródła zasilania względnie drenażu triasu nie uwzględniane w dotychczasowych rozważaniach bilansowych. Autorzy niniejszej pracy doszli do wniosku, że w sformułowaniu hipotez dotyczących identyfikacji stref „zakłóceń” regionalnego strumienia wody podziemnej może być pomocna analiza rozkładu odchyłek powierzchni piezometrycznej opartej na punktowych obserwacjach od regionalnego tła reprezentowanego przez obliczoną statystycznie powierzchnię trendu. O ile autorom wiadomo, metoda ta nie była dotychczas stosowana w hydrogeologii.

#### ZARYS WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Warunki hydrogeologiczne rejonu olkuskiego zostały już opisane w kilku wcześniejszych publikacjach autorów (Wilk i in. 1971; Wilk, Zimny 1973; Wilk, Motyka, 1977), dlatego też poniżej scharakteryzowano wyłącznie tzw. główny triasowy poziom wodonośny (Wilk, 1960) i to tylko w bardzo zwięzły sposób.

Poziom ten reprezentowany jest przez serię wapienno-dolomitową górnego retu i dolnego oraz środkowego wapienia muszlowego około 100-metrowej miąższości. Ma on charakter szczelinowo-krasowy i odznacza się bardzo dobrą przepuszczalnością. Na ogół podścielony jest izolującymi osadami dolnego retu oraz bardzo słabo przepuszczalną serią lądowych osadów permskich, pod którymi występuje paleozoiczne piętro wodonośne (dolomity i wapień dewonu i dolnego karbonu). Nakryty zaś jest również izolującymi osadami kajpru, nad którymi występuje wodonośne piętro czwartorzędowe lub jurajskie.

W tych warunkach główny triasowy poziom wodonośny na przeważającej części badanego obszaru ma charakter ciśnieniowy, artezyjski lub subartezyjski.

Drogi krążenia wód podziemnych w rejonie olkuskim są bardzo skomplikowane. Wpływa na to złożona budowa geologiczna terenu i bardzo urozmaicone, często niezbyt dobrze rozpoznane warunki zasilania i drenażu poszczególnych pięter wodonośnych. Prócz tego piętra wodonośne pozostają ze sobą w bezpośredniej więzi hydraulicznej, której typy są bardzo różnorodne, a kontury stref kontaktów nie są znane poza nielicznymi wyjątkami (Wilk, Motyka, 1977). Niektóre typy kontaktów przedstawiono na mapie rozmieszczenia punktów obserwacyjnych, dokumen-

tujących stan naturalnego zwierciadła wody w węglanowych utworach triasu (fig. 1).

Na podstawie analizy rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego należy stwierdzić, że naturalne formy zasilania i drenażu głównego triasowego poziomu wodonośnego są w rejonie olkuskim silnie zróżnicowane. Na wychodniach zasilanie opadami atmosferycznymi ma charakter bezpośredni. W miejscach, gdzie węglanowe osady triasu są przykryte piaskami czwartorzędowymi, zasilanie triasu opadami odbywa się pośrednio, tzn. przez pokrywę osadów czwartorzędowych. W partiach terenu, gdzie badany poziom wodonośny jest nakryty osadami kajpru lub jury (fig. 1), jego zasilanie odbywa się pośrednio poprzez strefy kontaktów hydraulicznych. Przypuszczalnie istotną rolę odgrywają tutaj kontakty hydrauliczne triasowego z jurajskim i paleozoicznym piętrzem wodonośnym (Wilk, Motyka, op. cit.).

Naturalny drenaż wapienia muszlowego i retu odbywał się przeważnie za pośrednictwem rzeki Białej Przemszy i Sztoły oraz kilku znanych źródeł. W północnej części rejonu w okolicy Kluczy główny triasowy poziom wodonośny był drenowany przez strefy kontaktów hydraulicznych typu erozyjnego, czwartorzędowego z triasowym piętrzem wodonośnym (fig. 1).

#### KRYTYCZNA ANALIZA PODSTAWOWYCH DANYCH POMIAROWYCH

Regionalny układ naturalnego pola hydrodynamicznego w głównym triasowym poziomie wodonośnym odwzorowano na podstawie pomiarów zwierciadła wody w 375 punktach obserwacyjnych rozrzuconych na obszarze o powierzchni około 370 km<sup>2</sup>. Daje to w przybliżeniu przeciętne zagęszczenie w ilości jednego punktu obserwacyjnego na 1 km<sup>2</sup> (fig. 1). Na całość materiału obserwacyjnego składały się wyniki pomiarów zwierciadła wody w utworach triasu w otworach wiertniczych, piezometrach, studniach gospodarskich i ujęciach wodociągowych oraz w otworach wiertniczych w osadach czwartorzędowych leżących bezpośrednio na triasowym piętrze wodonośnym. Ilościowy i procentowy udział poszczególnych rodzajów punktów obserwacyjnych w ogólnym zbiorze danych podstawowych zestawiono w tabeli 1.

W zależności od sposobu i warunków pomiarów uzyskane informacje o stanie zwierciadła wody w poszczególnych rodzajach punktów obserwacyjnych są mniej lub bardziej wiarygodne. Najbardziej godne zaufania są z pewnością informacje uzyskane z badań stacjonarnych w piezometrach. Piezometry umożliwiają bowiem wykonanie wielu pomiarów w tym samym miejscu w długim przedziale czasu, dając tym samym możliwość częściowego wyeliminowania przypadkowych błędów i uwzględnienia naturalnych wahań zwierciadła.

Wyniki pomiarów stanu zwierciadła w otworach wiertniczych mogą być obarczone znacznym błędem, którego źródła mogą być bardzo różne. Może on powstawać np. jako rezultat niezupełnego oczyszczenia otworu

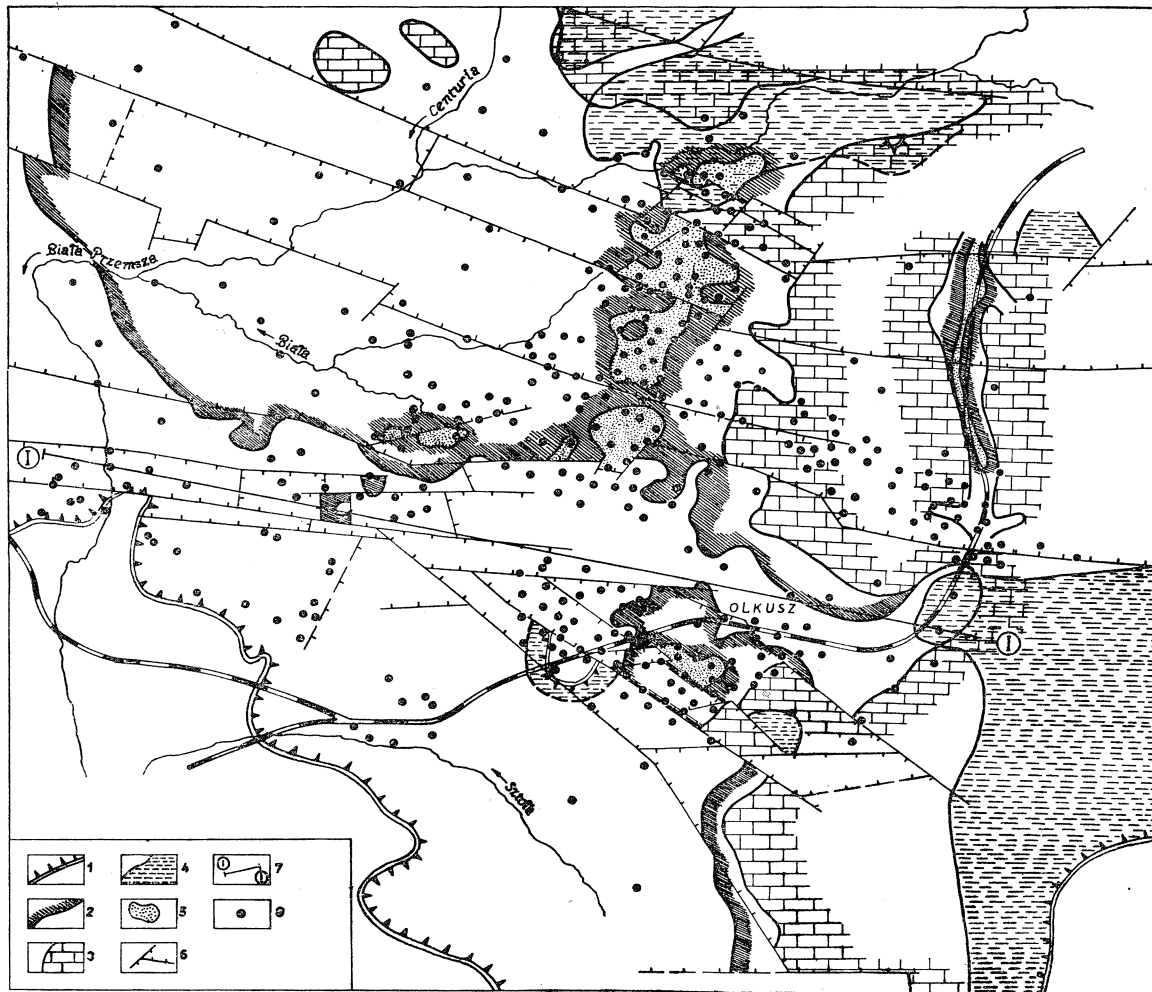


Fig. 1. Mapa rozmieszczenia punktów obserwacyjnych na tle sytuacji geologicznej badanego obszaru. 1 — zasięg utworów triasu pod czwartorzędem (zachód) lub jury (wschód); 2 — zasięg kajpru; 3 — zasięg jury; 4 — strefa sedimentacyjno-transgresywnego kontaktu hydraulicznego pomiędzy triasowym i dewońskim piętnem wodonośnym; 5 — strefa erozyjnych kontaktów hydraulicznych pomiędzy czwartorzędowym i triasowym piętnem wodonośnym w obrębie nieprzepuszczalnej pokrywy kajpru; 7 — linia przekrojowa; 8 — punkty pomiarów zwierciadła wody

Fig. 1. The map of the observation points distribution against a background of investigated surface geological situation. 1 — the range of Triassic under Quaternary (west) or Jurassic (east); 2 — the Keuper range; 3 — the Jurassic range; 4 — the zone of sedimentary and transgressive hydraulic contact between the Triassic and Devonian waterbearing horizon; 5 — the erosion zone of hydraulic contacts between Quaternary and Triassic waterbearing horizon within Keuper impermeable cover; 6 — faults; 7 — cross section line; 8 — points of water table measurements (observation wells)

Tabela 1

Udział poszczególnych rodzajów punktów obserwacyjnych

Rodzaj punktu	Wiek warstw, w których wyko- nano pomiary	Ilość	Procent ogólnej ilości
Piezometry		17	4.5
Otwory wiertnicze	trias (wapień muszlo- wy i ret)	242	64.6
Studnie ujęć		14	3.7
Studnie gospodarskie		33	8.8
Otwory wiertnicze	czwartorzęd le- żący bezpośred- nio na wapieniu muszlowym	69	18.4
Razem		375	100.0

z płuczki, istnienia słupa piany nad zwierciadłem wody, wykonania pomiaru głębokości zwierciadła wody przed jego całkowitym ustabilizowaniem się, a także w wyniku niesumienności pomiarów. Niezależnie od tego źródłem znacznych różnic wysokości zwierciadła w sąsiednich otworach wiertniczych może być nałożenie się naturalnych wahań ciśnienia piezometrycznego i nierównoczesności pomiarów. Jednorazowe bowiem pomiary w poszczególnych poszukiwawczych otworach zostały wykonane w kilkuletnim przedziale czasu. Możliwość uwzględnienia naturalnych wahań zwierciadła istnieje natomiast tylko wówczas, gdy dysponuje się serią odpowiednio częstych pomiarów w danym punkcie terenu. W przypadku otworów poszukiwawczych wierconych w rejonie olkuskim w różnych okresach czasu, a następnie likwidowanych, nie było takiej możliwości.

Błędy interpretacji pomiarów stanu zwierciadła wody w studniach gospodarskich i studniach wodociągowych wynikają stąd, że nie sposób uwzględnić ich w trakcie wahań zwierciadła wody spowodowanych jej poborem. Poziom zwierciadła wody w tych punktach może się zmieniać w krótkim czasie niezależnie od czynników klimatycznych.

Uwzględnienie wyników pomiarów stanu zwierciadła wody w utworach czwartorzędowych, leżących bezpośrednio na skałach wapienia muszlowego, podyktowane było generalnie słusznym założeniem dobrej, pionowej łączności pomiędzy czwartorzędowym a triasowym piętrzem wodonośnym. Lokalnie na skutek obecności w piaskach przewarstwień osa-

dów gorzej przepuszczalnych, łączność ta może być utrudniona lub całkiem wyeliminowana. Stąd też pomierzone wysokości zwierciadła wody w osadach czwartorzędowych mogą się różnić od rzeczywistych wysokości ciśnień piezometrycznych w węglanowych utworach triasu.

W podsumowaniu krytycznej analizy materiału obserwacyjnego należy stwierdzić, że stanowią one zbiór niejednorodnych i nierównocześnie danych o wysokości zwierciadła wody, obarczonych błędami o nieznanej wielkości i znaku.

#### METODYKA BADAŃ

Celem bezpośrednim naszych badań było wykrycie i opisanie ogólnych prawidłowości rozkładu ciśnień piezometrycznych w skali regionalnej. Obserwowane w danym punkcie ciśnienie traktujemy w związku z tym jako sumę składników wynikających z regionalnego rozkładu ciśnień i anomalii lokalnej spowodowanej bądź miejscowym źródłem zasilania o lokalnym znaczeniu, bądź lokalnym drenażem:

Zakładając, że tło regionalne rozkładu ciśnień wynika z przepływu wody w kierunku bazy drenażu, można przyjąć, że będzie je można opisać za pomocą funkcji współrzędnych położenia punktów, w których dokonuje się obserwacji:

$$z = f(x, y) + e,$$

gdzie  $z$  — obserwowane ciśnienie piezometryczne w danym punkcie,  
 $f(x, y)$  — funkcja opisująca regionalne zróżnicowanie jego wartości,  
 $e$  — anomalia lokalna i błędy obserwacji.

Funkcją  $f(x, y)$  powinien być wielomian pierwszego, drugiego lub trzeciego stopnia, ponieważ umożliwia on opis kierunkowych zmian wartości parametru (trend). Wielomiany wyższych stopni mają często na niektórych odcinkach przebieg okresowy i ujawniają taką zmienność okresową nie zawsze istniejącą, toteż w mniejszym stopniu nadają się do opisu kierunkowego zróżnicowania wartości parametru, którego oczekujemy w przypadku regionalnym zmian ciśnienia piezometrycznego. Aby wykryć regionalne prawidłowości jego zróżnicowania, trzeba przeprowadzić aproksymację danych obserwacyjnych za pomocą wielomianów

$$\hat{z} = \sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^k a_{ji} x^j y^i,$$

gdzie  $j + i \leq k$ ,  $k$  — stopień wielomianu aproksymującego. Funkcję opisującą trend aproksymuje się metodą najmniejszych kwadratów. Stopień zgodności funkcji aproksymującej z obserwowanymi wartościami parametrów określa współczynnik determinacji

$$\eta = \left(1 - \frac{S_k}{S_c}\right) 100\% ,$$

w którym

$S_k$  — suma kwadratów odchyłek wartości obserwowanych od aproksymowanych wielomianem stopnia  $k$ ,

$S_c$  — suma kwadratów odchyłek obserwowanych wartości parametru od wartości średniej.

Współczynnik  $\eta$  jest miarą udziału zmienności skoordynowanej (nielosowej) w całkowitej obserwowanej zmienności parametru. Z reguły rośnie on w miarę zwiększania stopnia wielomianu aproksymującego.

Miarą istotności trendu jest według Krumbeina i Graybilla (1965) stosunek wariancji wyjaśnionej przez trend do wariancji resztkowej

$$F_1 = \frac{(n-m-1)(S_c-S_k)}{m(S_k)}$$

$n$  — ilość obserwacji,  $m$  — ilość stopni swobody wielomianu aproksymującego (współczynników wielomianu)

Jeśli wartość  $F_1$  jest na zadanym poziomie istotności większa od krytycznej wynikającej z rozkładu Snedecora (1948), to przyjmujemy, że funkcja aproksymująca wyjaśnia zmienność nielosową (opisuje trend) w sposób statystycznie istotny.

Jeśli udowodnimy istotność trendu opisanego wielomianem stopnia  $k$ , wówczas w przypadku aproksymacji za pomocą wielomianu wyższego stopnia  $k+1$  interesuje nas na ogół, czy przez wprowadzenie nowych wyrazów wielomianu uzyskujemy dodatkową, statystycznie istotną informację o powierzchni trendu. Testujemy wówczas istotność wariancji dodatkowo wyjaśnionej przez trend wyższego stopnia w stosunku do wariancji resztkowej. Stosunek  $F_2$  ma postać:

$$F_2 = \frac{\{n - [(k+1)(k+2)/2]\} (S_k - S_{k+1})}{(k+1) S_{k+1}}$$

W naszych badaniach przeprowadzono aproksymację wielomianami od 1 do 6 stopnia. Do analizy stosunków hydrogeologicznych wykorzystano w myśl przedstawionych zasad tylko wielomiany stopnia 1 do 3, przy czym wielomian stopnia trzeciego uznano za najlepiej ilustrujący oczekiwane regionalne prawidłowości zróżnicowania ciśnienia piezometrycznego.

Dla interpretacji geologicznej matematyczna postać wielomianu jest mało interesująca, bowiem wartości współczynników wielomianu zależą od skali współrzędnych  $X$  i  $Y$  wziętych do obliczeń, a także od orienta-

cji siatki współrzędnych. Bardziej interesująca jest graficzna postać funkcji trendowej. Przedstawiamy ją w postaci mapy trendów, na której ułożenie funkcji trendowej w przestrzeni zilustrowano za pomocą izolinii (fig. 2). Częstokroć szereg informacji geologicznych dostarcza ponadto mapa odchyłek wartości aproksymowanych od wartości obserwowanych. W odchyłkach tych mieszczą się anomalie lokalne i nieuniknione zazwyczaj błędy obserwacji. Losowe błędy obserwacji zaznaczają się w dużych dodatnich lub ujemnych odchyłkach występujących w odosobnionych

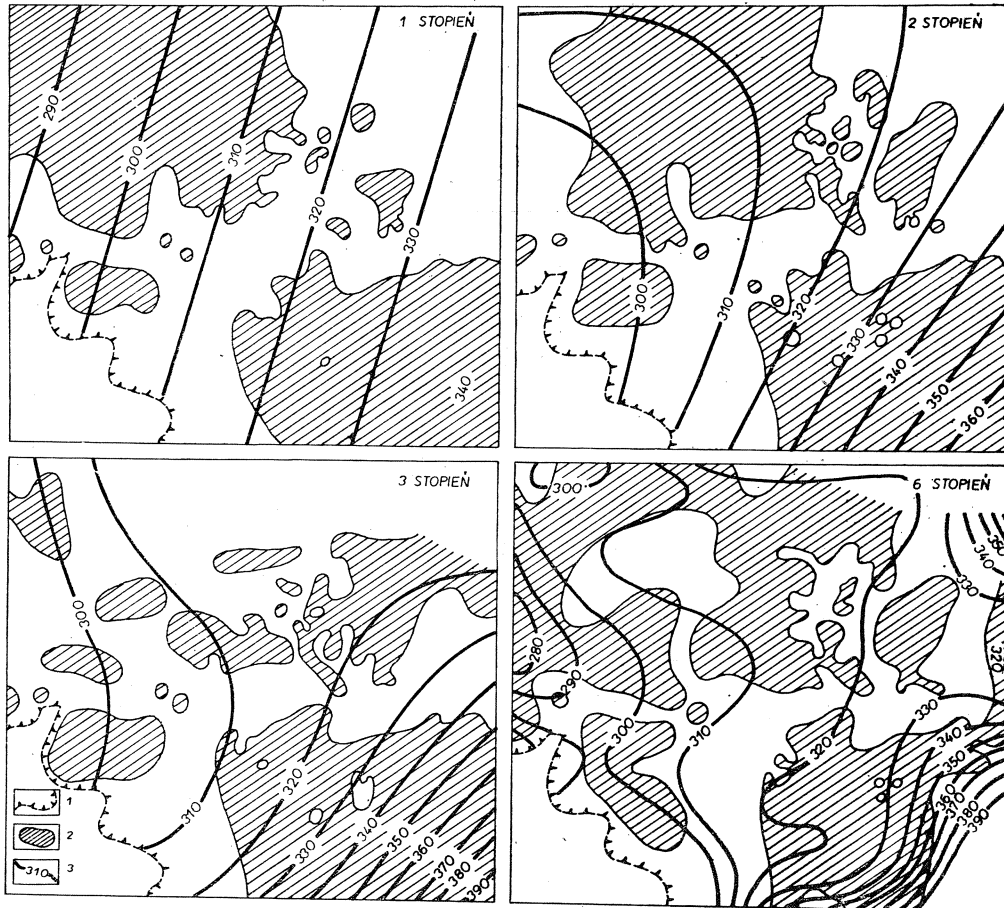


Fig. 2. Mapy powierzchni trendu 1-ego, 2-ego, 3-ego i 6-ego stopnia zwierciadła wody w utworach triasu rejonu olkuskiego. 1 — zasięg utworów triasu pod czwartorzędem; 2 — pola dodatnich odchyłek naturalnego zwierciadła od powierzchni trendu; 3 — izolinie powierzchni trendu; liczby oznaczają umowne jednostki wysokości (UJW)

Fig. 2. The maps of the trend surface of the first, second, third and sixth degree of piezometric surface in the Triassic of Olkusz area. 1 — the Triassic range under Quaternary; 2 — the fields of positive natural piezometric surface deviations from trend surface; 3 — trend surface isolines; the numbers design conventional elevation units (UJW)



punktach. Anomalie lokalne natomiast charakteryzuje najczęściej występowanie większych pól odchyłek dodatnich lub ujemnych.

Przy interpretacji zarówno map trendów, jak i map odchyłek należy jednakże pamiętać, że aproksymacja przeprowadzana za pomocą metody najmniejszych kwadratów ma charakter statystyczny, w związku z czym interpretacja może mieć tylko charakter jakościowy. Zmiana rozmieszczenia punktów obserwacyjnych może spowodować zmianę zarówno postaci trendu, jak i rozmieszczenia odchyłek. Przy dużej ilości punktów i równomiernym ich rozmieszczeniu zmiany takie są zazwyczaj niewielkie.

Obliczenia, których wyniki przedstawiamy poniżej, oraz wydruki map konturowych trendów i map odchyłek (resztek, reziduwów) wykonane zostały w Centrum Maszyn Matematycznych AGH w oparciu o program M. Leary'ego i in. (1966) adaptowany na EMC ODRA 1305 przez mgr M. Dolik. Wyniki analizy trendów zestawiono w tabeli 2 i na fig. 2.

Tabela 2

Wyniki analizy trendów

Stopień wielomianu aproksymującego	Współczynnik determinacji %	Stosunek		Wartość krytyczna $F_{0,05}$	
		$F_1$	$F_2$	dla $F_1$	dla $F_2$
pierwszy	20.4	44.66	47.88	3.0	3.0
drugi	22.5	21.43	3.23	2.2	2.6
trzeci	23.5	12.43	1.14	1.9	2.4
czwarty	23.9	8.07	0.41	1.7	2.2
piąty	24.7	5.81	0.65	1.6	2.1
szósty	25.4	4.37	0.44	1.5	2.0

#### INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ

Naturalny układ pola hydrodynamicznego w warstwie wodonośnej zależy od wielu czynników, z których najważniejszymi są: rozmieszczenie źródeł zasilania i drenażu warstwy wodonośnej, ich natężenie i ciśnienie strumienia zasilającego oraz jednorodność warstwy wodonośnej pod względem przepuszczalności i przewodności. W najprostszym przypadku, jakim jest jednorodna pod względem przewodności warstwa o zwierciadle naporowym i liniowym układzie warunków zasilania i drenażu, pole hydrodynamiczne można przedstawić w formie siatki prostokątnej, złożonej z równoległych linii ekwipotencjalnych i prostopadłych do nich linii prądu. Tego rodzaju układ pola hydrodynamicznego da się aproksymować powierzchnią pierwszego stopnia, tzn. płaszczyzną nachyloną od granicy zasilania ku granicy drenażu.

W praktyce hydrogeologicznej nie spotyka się jednak tak idealnych modeli warstw wodonośnych. Zwykle regionalne granice zasilania i dre-

nażu nie są liniami prostymi, warstwa wodonośna jest niejednorodna pod względem przewodności, a często pozostaje także w łączności hydraulicznej z innymi skałami wodonośnymi, co stwarza lokalne warunki jej zasilania i drenażu w strefach kontaktów hydraulicznych. W miarę wzrostu stopnia skomplikowania warunków zasilania, drenażu i niejednorodności warstwy wodonośnej, naturalny układ pola hydrodynamicznego staje się coraz bardziej nieregularny. Aproksymacja takiego układu pola płaszczyzną staje się wówczas bezzasadna i w tym przypadku należy stosować powierzchnie wyższych stopni.

W rejonie olkuskim główny triasowy poziom wodonośny budują wysoce niejednorodne pod względem przepuszczalności i przewodności węglanowe skały szczelinowo-krasowe, pozostające również w więzi hydraulicznej z innymi piętrami wodonośnymi (Wilk, Motyka, 1977). W związku z tym naturalny układ pola hydrodynamicznego w wodonośnych utworach triasu jest dość urozmaicony. Autorzy niniejszej pracy stanęli więc przed problemem wyboru powierzchni, która by spełniała wymogi generalizacji i nadawałaby się do interpretacji pod kątem lokalnych warunków zasilania i drenażu. Podstawowym kryterium wyboru jest istotność statystyczna danej powierzchni aproksymującej. W rozważanym przypadku powierzchni piezometrycznej w utworach triasu kryterium to spełniały powierzchnie od pierwszego do szóstego stopnia (por. tab. 2) i wobec tego żadnej z nich nie można było wyeliminować.

Pewną wskazówką ułatwiającą wybór powierzchni trendu do dalszej interpretacji był fakt, że powiększanie stopnia wielomianu powyżej 3 nie polepszało aproksymacji w sposób istotny, na co wskazują niewielkie przyrosty współczynników determinacji i korelacji (tab. 2).

Przy skomplikowanych warunkach krążenia wód podziemnych można z góry przewidzieć, że układ hydroizolinii w warstwie wodonośnej lepiej aproksymują powierzchnie wyższych stopni posiadające linie przegięcia charakterystyczne dla pola hydrodynamicznego. Warunek istnienia linii przegięcia przy jednoczesnym, możliwie najniższym stopniu wielomianu, spełnia powierzchnia trendu 3 stopnia, którą ostatecznie wybrano do bardziej szczegółowej interpretacji. Na powierzchni trendu wyższych stopni wpływają już ponadto niewielkie, lokalne podzbiory danych, przez co tracą się zasadniczy sens stosowania omawianej metody, tzn. generalizację niejednorodnych wyników pomiarów zwierciadła. Przykładem tego może być powierzchnia trendu obliczona wielomianem szóstego stopnia (fig. 2).

W wyniku aproksymacji badanego pola hydrodynamicznego wielomianem 1 stopnia otrzymano płaszczyznę (fig. 2) nachyloną w kierunku WNW i posiadającą spadek około 0.003. Kierunek nachylenia płaszczyzny odpowiada zarówno morfologii terenu, jak i przebiegowi głównego cieku drenującego badany obszar, tj. Białej Przemszy. Rzeka ta w północnej części obszaru płynie w kierunku EW i koło miejscowości Okra-

dzionów zmienia raptownie swój bieg na NS. Izolinie płaszczyzny trendu ciśnienia piezometrycznego są mniej więcej prostopadłe do dwusiecznej kąta, którego ramiona stanowi zakole rzeki.

Powierzchnia trendu obliczona wielomianem drugiego stopnia (fig. 2) dała obraz izolinii sugerujący, że oprócz głównego strumienia wód podziemnych o kierunku SE—NW w północno-wschodniej części pojawia się potok wód gruntowych skierowany ku południowemu zachodowi. Taki układ izolinii pozostaje w ścisłym związku z drenażem badanego obszaru przez Białą Przemszą płynącą w zachodniej części po wychodniach węglanowych skał triasowych.

Z układu izolinii powierzchni trendu obliczonej wielomianem trzeciego stopnia (fig. 2) wynika, że główny strumień wód podziemnych płynący z kierunku SE rozdziela się na dwa potoki: jeden o przebiegu niemal SN, a drugi skierowany ku WNW. Odpowiada to głównym kierunkom przepływu wód podziemnych, określonym na podstawie wyników pomiarów w punktach obserwacyjnych.

Pewne możliwości interpretacyjne natury hydrogeologicznej daje analiza obszarów występowania odchyłek naturalnej powierzchni piezometrycznej od obliczonej powierzchni trendu. Odchyłki te mogą wskazywać na błędne pomiary, a zatem otwory, które należy odrzucić przy konstruowaniu mapy hydroizolinii. Zostałyby wówczas spełniony jeden z celów stosowania metody analizy trendów powierzchni, a mianowicie selekcja materiału obserwacyjnego. Gdyby jednakże jedyną przyczyną występowania odchyłek były błędy pomiarów, wówczas odchyłki te powinny być rozrzucone przypadkowo na całym badanym obszarze. Występowanie skupionych pól odchyłek może świadczyć o tym, że na ich rozmieszczenie wpływają jeszcze inne czynniki, a nie tylko błędy pomiarowe.

W przypadku odwzorowania swobodnego zwierciadła odchyłki jednakowego znaku skupione na określonych częściach obszaru powinny odpowiadać rzeźbie terenu. Wynika to z prawidła współkształtności swobodnego zwierciadła z rzeźbą terenu.

W przypadku poziomów naporowych o regionalnym zasięgu w wewnętrznych strefach ich zasilania bądź drenażu winny następować zmiany rozkładu ciśnienia manifestujące się występowaniem skupionych pól dodatnich czy ujemnych odchyłek naturalnego zwierciadła wody od powierzchni trendu. Zatem analiza tych odchyłek względem powierzchni trendu stosunkowo niskiego stopnia powinna dać podstawę do formułowania hipotez o rozmieszczeniu stref zasilania bądź drenażu rozpatrywanej warstwy wodonośnej.

Analiza rozmieszczenia odchyłek powierzchni piezometrycznej względem powierzchni trendu 1 stopnia (fig. 2) nie prowadzi w zasadzie do żadnych wniosków hydrogeologicznych. Wynika to z istoty aproksymacji powierzchni wklęsłej bądź wypukłej za pomocą płaszczyzny. Przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów płaszczyzna będzie przebiegać

tak, że w przypadku powierzchni wklęsłej na peryferiach obszaru pojawia się skupione pola odchyłek dodatnich, przedzielone polem odchyłek ujemnych ułożonych w centralnej części obszaru. W przypadku powierzchni wypukłej na peryferiach wystąpią pola odchyłek ujemnych, a w centralnej części pola odchyłek dodatnich. Wydaje się, że analiza rozmieszczenia odchyłek względem powierzchni drugiego stopnia może prowadzić do błędnych konkluzji. Jeśli bowiem badana powierzchnia ma co najmniej dwie linie przegięcia, wówczas mogą się pojawiać dość duże pola odchyłek o jednakowym znaku (fig. 2), których rozmieszczenie wynika z przecinania tej powierzchni przez paraboloidę.

Jako podstawę interpretacji hydrogeologicznej autorzy ostatecznie przyjęli rozmieszczenie odchyłek badanej powierzchni piezometrycznej względem powierzchni trendu obliczonej wielomianem trzeciego stopnia (fig. 3). Duży obszar odchyłek dodatnich przekraczających 100 cm występuje w południowo-wschodniej części badanego terenu, w której może występować ukryte zasilanie horyzontu triasowego z dwu źródeł. Po pierwsze na obszarze tym węglanowe utwory triasu leżą bezpośrednio na wodonośnych skałach dewońskich (fig. 4). Te ostatnie mają swoje wychodnie na południowy wschód od badanego obszaru, powyżej rzędnych stabilizowania się zwierciadła wody w triasie. Wobec tego można wysunąć hipotezę, że wspomniany obszar odchyłek dodatnich sygnalizuje strefę ascenzyjnego zasilania triasu przez wody z utworów dewonu. Równocześnie dyskutowany rejon na znacznej części jest pokryty wapieniami górnej jury (fig. 1), która reprezentuje horyzont o swobodnym zwierciadle stabilizującym się powyżej poziomu wody w triasie. W tych warunkach w strefach kontaktów hydraulicznych obu pięter wodonośnych (Wilk, Motyka, 1977) może następować zasilanie triasu przez jurę, dając dodatnie odchyłki od aproksymującej powierzchni trendu. Prócz tego główny triasowy poziom wodonośny w tym rejonie jest przypuszczalnie zasilany pośrednio przez podziemny spływ wód z utworów jury.

Na uwagę zasługuje również obszar odchyłek dodatnich we wschodniej części terenu, który prawdopodobnie należy wiązać z descenzyjnym zasilaniem triasu przez jurę. Inny obszar dodatnich odchyłek w południowo-zachodniej części dyskutowanego rejonu pokrywa prawie zupełnie izolowaną hydrostrukturę o swobodnym zwierciadle wody i odpowiada morfologicznej wyniosłości.

Interpretacja rozmieszczenia odchyłek o ujemnym znaku jest dość trudna. Ogólnie można stwierdzić, że duże pola odchyłek ujemnych występują w tej części terenu, gdzie jest rozwinięta sieć hydrograficzna, a co za tym idzie, pośrednio lub bezpośrednio drenowane są utwory triasu. Na uwagę zasługuje obszar odchyłek ujemnych o wartości bezwzględnej powyżej 100 cm w zachodniej części terenu. Najprawdopodobniej mamy do czynienia z intensywnym drenażem utworów triasu zalegającego w rowie tektonicznym Bolesławia przez rzekę Białą Przemszę.

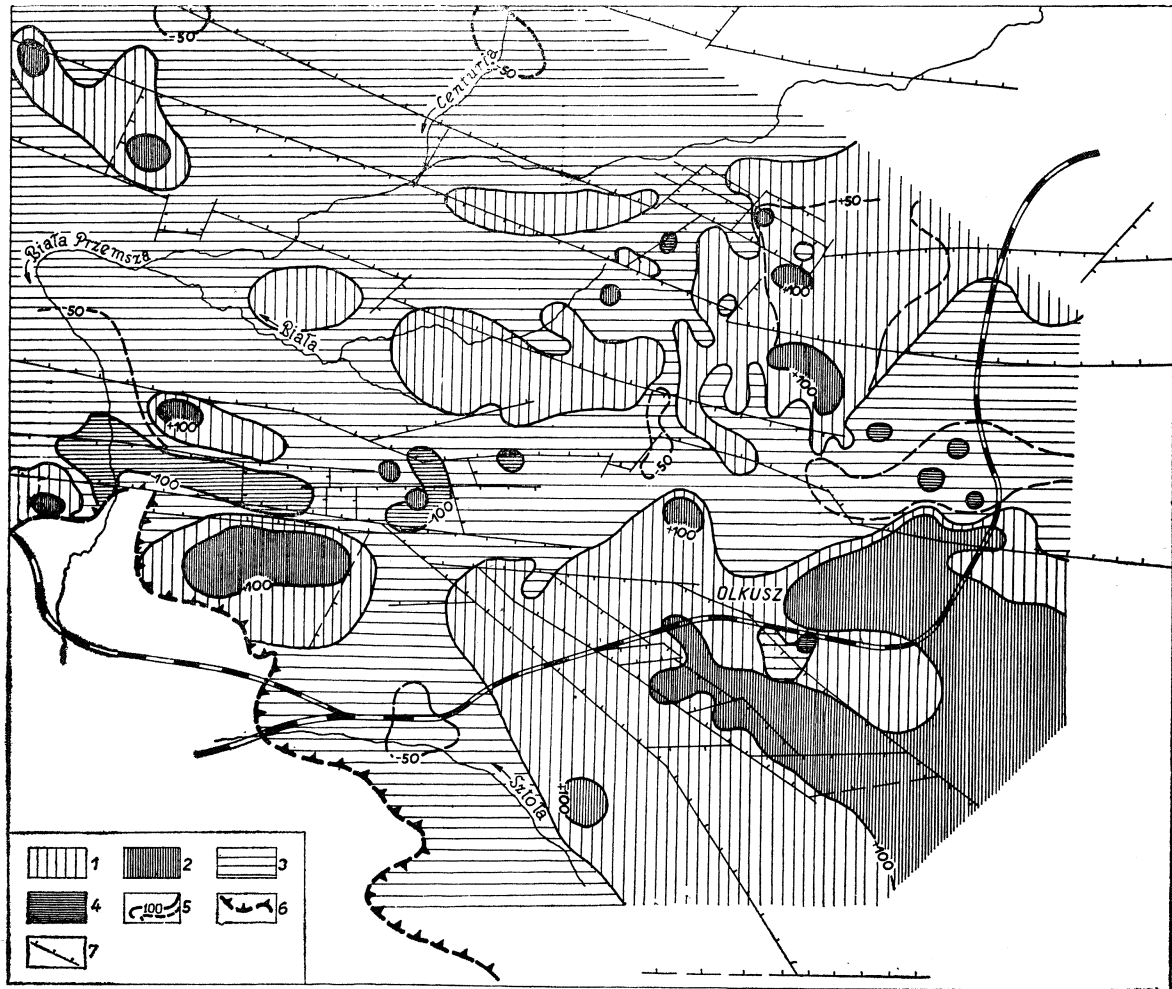


Fig. 3. Mapa rozmieszczenia odchyłek naturalnego zwierciadła od powierzchni trendu 3-go stopnia. 1 — pola odchyłek dodatnich od 0 do 100 cm; 2 — pola odchyłek dodatnich powyżej 100 cm; 3 — pola odchyłek ujemnych od 100 do 0 cm; 4 — pola odchyłek ujemnych większych od 100 cm; 5 — linie ograniczające pola odchyłek z podaną wartością odchyłki w cm; 6 — zasięg utworów triasu; 7 — uskoki

Fig. 3. The map of the actual piezometric surface deviations distribution from the trend surface of the third degree. 1 — the fields of positive deviations of the magnitude from 0 to 100 cm; 2 — the fields of positive deviations of the magnitude over 100 cm; 3 — the fields of negative deviations from 100 to 0 cm; 4 — the fields of negative deviations over 100 cm; 5 — contours delimiting the field of deviations with the given deviation value in cm; 6 — Triassic range; 7 — faults

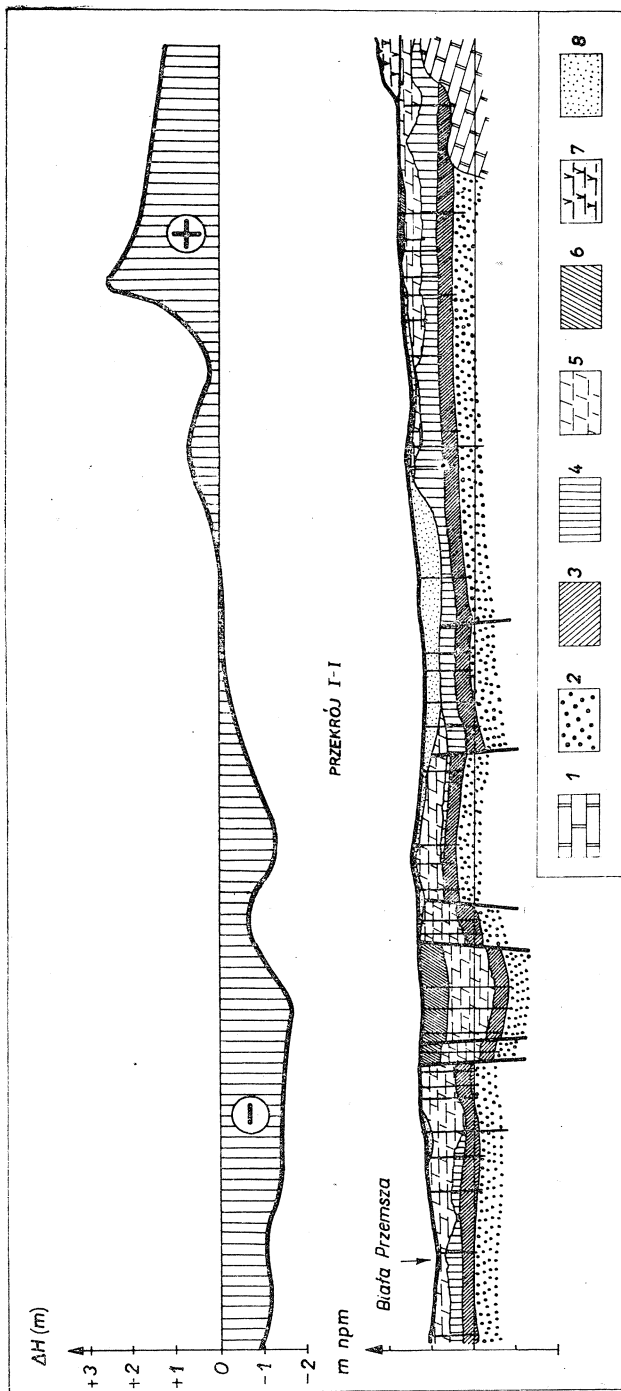


Fig. 4. Wykres odchyłek naturalnego zwierciadła od powierzchni trendu 3-go stopnia wzdłuż przekroju geologicznego I-I. 1 — dewon; 2 — perm; 3 — trias, ret; 4 — trias, wapień muszlowy, wapień; 5 — trias, wapień muszlowy, dolomity; 6 — trias, kajper; 7 — jura; 8 — czwartorzęd

Fig. 4. The graph of actual piezometric surface deviations from the trend surface of the third degree along the geological section I-I. 1 — Devonian; 2 — Permian; 3 — Triassic, Roethian; 4 — Triassic, Muschelkalk, limestones; 5 — Triassic, Muschelkalk, dolomites; 6 — Triassic, Keuper; 7 — Jurassic; 8 — Quaternary

Ciekawy z punktu widzenia interpretacji hydrogeologicznej jest obszar występowania odchyłek ujemnych o bezwzględnej wartości powyżej 50 cm, a lokalnie nawet 100 cm we wschodniej części terenu. Być może na tym obszarze w utworach triasu jest rozwinięta sieć kanałów krasowych, które mogą stanowić lokalną bazę drenażu dla otaczających ją obszarów. Potwierdzenie tej hipotezy wymaga jednak bardziej szczegółowych badań i analizy materiałów z wierceń.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że zastosowanie metody analizy trendów powierzchni do badania pola hydrodynamicznego w naporowej warstwie wodonośnej tam, gdzie jest ono uzasadnione dużą ilością punktów obserwacyjnych, pozwala na formułowanie hipotez dotyczących ukrytych źródeł zasilania warstwy wodonośnej. Ma to zasadnicze znaczenie dla opracowania właściwego modelu hydraulicznego warstwy wodonośnej w celu wykonania badań analogowych. W konkretnej sytuacji rejonu olkuskiego interpretacja rozmieszczenia ujemnych odchyłek naturalnego zwierciadła od powierzchni trendu obliczonej wielomianem trzeciego stopnia może mieć pewne znaczenie dla praktyki górniczej. Gdyby bowiem znalazła potwierdzenie sugestia, że pola ujemnych odchyłek o wysokich wartościach bezwzględnych występują na obszarach rozwiniętego krasu, to można by takie pola kwalifikować jako strefy o szczególnym zagrożeniu wodnym dla wyrobisk górniczych.

*Maszynopis nadesłano V 1977,  
przyjęto do druku VIII 1977*

#### LITERATURA

- Haładus A., Motyka J., Szczepański A., Wilk Z. (w druku), Prognozowanie metodą modelowania analogowego dopływów do kopalń pracujących w skałach szczelinowo-krasowych. Forecasting of ground-water inflow into mines operating in fissure-karst horizons by means of electric analog simulation method. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 48, 3/4 Kraków.
- Krumbein W. C., Graybill F. (1965), *An Introduction to Statistical Models in Geology*. New York.
- Motyka J. (1975), *Studia nad własnościami hydrogeologicznymi skał triasowych w rejonie olkuskich kopalń rud*. Praca doktorska, AGH Kraków.
- O'Leary M., Lippert R. M., Spitz O. T. (1966), FORTRAN IV and Map Program of Computation and Plotting of Trend Surfaces for Degrees 1 through 6. *Computer Contr.* No 3, Kansas.
- Snedecor G. W. (1948), *Statistical Methods*. 4 Ed., The Iowa State College Press, Ames.
- Wilk Z. (1960), Wpływ odtopienia kopalni Matylda na stosunki wodne w rejonie niecki chrzanowskiej. Effect of the dewatering of the Matylda mine on the hydrogeological conditions in the region of the Chrzanów basin (Upper Silesian Basin). *Inst. Geol. Biul.*, t. I, 88—117.
- Wilk Z., Motyka J., Niewdana J. (1971), Charakterystyka i klasyfikacja przejawów wody w wyrobiskach kopalni pracującej w szczelinowo-krasowym poziomie wodonośnym. The characteristics and classification of the discharges

- of ground-water in mine workings driven in the fissure-karst water-bearing horizon. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, z. 14, 43—62.
- Wilk Z., Zimny W. (1973), Problematyka związana z rozwojem górnictwa w rejonie olkuskim. Hydrogeological problems connected with development of the ore mining in the Olkusz area (Cracovian-Upper Silesian Region). *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, z. 17, 117—132.
- Wilk Z., Motyka J., 1977 — Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Contacts between water-bearing horizons (Olkusz ore mining region, near Cracow). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 47, 1, 115—143.

## SUMMARY

The object of author's investigations was the confined aquifer of Triassic period. The authors had at one's disposal the dense but irregularly distributed piezometric hydraulic head measurement system on an average one observation well per 1 km<sup>2</sup>. It was possible to suppose that in the measurements taken in observation wells could appear some faults of unknown but different quantity. In the farther investigations, which had to be conducted by means of the electric analog simulation method, the knowledge of local ground water flow pattern was indispensable. In order to attain it, they had to prepare, on the ground of measurement data, the maps of the piezometric surface in the considered aquifer. It was indispensable to determine the average values of local subpopulations of information regarding to hydraulic head, which corresponded with particular fragments of investigated surface, that is to say, the computing blocks of analog model. With the aim of attaining it the authors applied statistical method of trend surface analysis.

In this paper the authors describe the chief point of the matter and they give the reasons for bringing this method into practice in the particular case. They accepted that the local hydraulic head distribution background results of the groundwater flow within confined aquifer from recharge zone to discharge zone. This background could be described by means of the coordinate functions of points ( $x, y$ ) in which the observations take place (Fig. 1). The polynomial of the first, the second or the third degree has to represent the assumed function because it renders possible the description of direction changes of the trend value. The polynomials of higher degrees often reveal the local periodic trend change, which in fact, doesn't exist. Therefore, they are less serviceable for direction description of trend differentiation, which are expectable in case of local changes in piezometric hydraulic head.

In their investigations, the authors realized an approximation of the observation data with polynomials of the degree from the first to the sixth. The testing of these functions was realized through determination coefficient and trend significance level calculation (Table 2). On the hy-



hydrogeological interpretation the graphic form of the trend function, the distribution and deviation values from this surface are more interesting than mathematical form of polynomial. This interpretation is represented as a map in which the trend surface arrangement in space is illustrated with isolines (Fig. 2) and as a contour map of trend deviations (Fig. 3).

For calculation of approximation function trends and for contour maps printing the authors used Leary, Lippert and Spitz program (1966) adapted for EMC ODRA 1305 computer.

The authors realized the hydrogeological analysis and interpretation of these maps and they had motivated that the third degree trend surface represents the best way the local accordance of piezometric hydraulic differentiation. When there in the map the deviations from the trend surface appear and their location indicates that the accidental measurement errors can't cause them, there are the other factors that cause them. After discussing the theoretical reason the authors submit a proposition that the positive „anomalies” in the map of piezometric pressure correspond with hidden recharge zones, while the negative anomalies correspond with discharge zones of this confined aquifer.

On this ground, it was possible to note that the field of positive deviations in the eastern part of the area under consideration (Fig. 3) corresponds with the Triassic aquifer ascending recharge zone through Devonian limestones and dolomites forming its basement (Fig. 4). Their outcrops are situated hypsometrically higher. The field of positive deviations in the western part of the considered area corresponds with an isolated hydrostructure with the free water table which creates a morphological rise. The fields of negative deviations correspond with this part of surface, where there is a developed hydrographic system — or there is no impermeable cover. In both cases the Triassic aquifer is drained directly or indirectly.

In conclusion, the authors note that the application of the trend surfaces analysis method for the ground — water flow pattern description of confined aquifers is justifiable everywhere where the large number of observation points are at one's disposal. This method permits to decrease, in comparison with the visual method, measurement error consequences in the maps of the piezometric surface elaboration and it renders possible the detection and location of covered recharging and discharging zones of investigated confined aquifer.