

## PRZYKŁAD METODYKI OBLICZANIA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH NA TLE STOSUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH OKREŚLONEGO REJONU POLSKI

W CELU ZORIENTOWANIA się co do perspektywicznych możliwości zaopatrzenia w wodę danego ośrodka konieczną rzeczą jest wykonanie opracowania kompleksowego, dającego pogląd na całość stosunków geologicznych i hydrogeologicznych terenu. Ideałem takiego opracowania byłoby wykonanie pełnego bilansu hydrogeologicznego danej jednostki hydrogeologicznej, w której obrębie położony jest interesujący nas obszar. Jakkolwiek aktualny stan istniejących materiałów nie pozwala na wykonanie tak rozumianego bilansu, nie upoważnia to jednak do rezygnowania z analizy wszelkich danych, które charakteryzowałyby nawet pojedyncze parametry bilansu hydrogeologicznego. Dotyczy to szczególnie opracowań dokumentacyjnych w kat. „C”, które jak się wydaje, nie powinny poprzestawać na określeniu możliwości hydraulicznych warstwy, lecz dawać sugestie co do ilości wody, którą można eksploatować z warstwy lub zespołu analizowanych warstw. Należy zdać sobie sprawę z faktu, że w zależności od regionu i stopnia jego rozpoznania ostateczny obraz takiego opracowania musi się zmieniać w bardzo szerokich granicach.

Na przykładzie określonego rejonu przedstawiamy analizę hydrogeologiczną (ryc. 1), mającą na celu wyznaczenie perspektywicznych możliwości eksploatacyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych. Analiza ta oparta jest na materiałach zebranych przez autorów oraz H. Binaszewską — do opracowania wykonanego pod kierunkiem J. Gołąba w Katedrze Hydrogeologii Uniwersytetu Warszawskiego<sup>1</sup>.

Aby nie wykroczyć poza ramy niniejszego artykułu, ograniczymy się jedynie do stwierdzenia, że wykształcenie litologiczne utworów starszych od czwartorzędowego w obrębie opiniowanego terenu (szczególnie jeżeli chodzi o oligocen) jest raczej niekorzystne z punktu widzenia hydrogeologicznego.

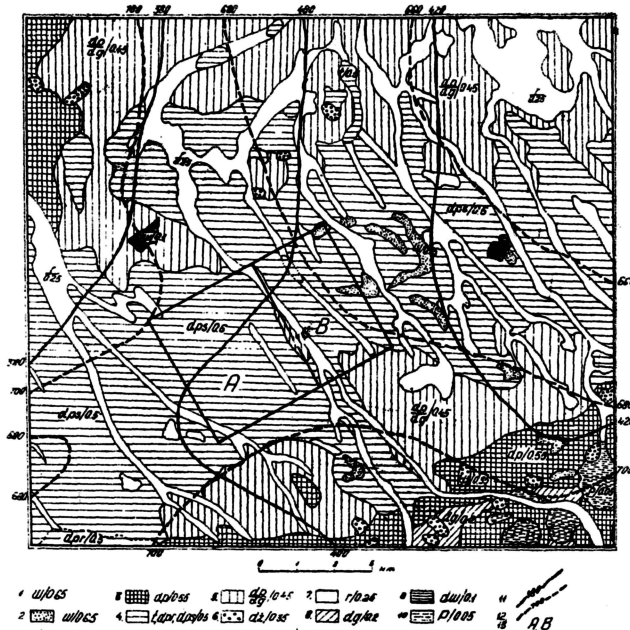
### CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA UTWORÓW CZWARTORZĘDOWYCH

Przy rozpatrywaniu warunków hydrogeologicznych utworów czwartorzędowych celowe wydaje się wspomnieć pokrótce o ukształtowaniu stropowej powierzchni pliocenu.

Głębokość jej zalegania stwierdzona w otworach wiertniczych wskazuje na duże analogie z trzeczsetką geologiczną Polski, jakkolwiek spotyka się też i wyraźne rozbieżności. Np. w południowo-zachodniej części omawianego terenu (ryc. 1 — obszar A) strop pliocenu występuje na głębokości ok. 70 m ppt, a nie ok. 20, jak to wskazuje mapa odkryta. Fakt ten przy rozpatrywaniu perspektywicznego zaopatrzenia ośrodka do wody ma szczególnie ważne znaczenie ze względu na ok. 2,5-krotne zwiększenie miąższości utworów czwartorzędowych. Nieco odmiennie kształtuje się też powierzchnia stropowa pliocenu w obrębie samego miasta, gdzie deniwelacje dochodzą do 25, a nawet 50 m. Fakt ten wywołany jest z jednej strony istnieniem głęboko wciętej pradoliny, prze-

biegającej przypuszczalnie zgodnie z dzisiejszym kierunkiem przepływu tej rzeki, oraz glacictektónica, która spowodowała przemieszczenie utworów zarówno w poziomie, jak i w pionie — o czym mogą świadczyć często spotykane płaszczyzny poślizgu. Mogą więc powstać nie tylko spekania i łagodne deniwelacje powierzchni, ale nawet zaburzenia typu łusek. J. Gołab: Hydrogeologia utworów czwartorzędowych. Rekopis).

Ze względu na wspomniane czynniki, a więc: erozję powierzchni przedczwartorzędowej oraz zaburzenia glacictektoniczne terenu, ogólna miąższość utworów czwartorzędowych w omawianym rejonie waha się w szerokich granicach (12 do 77 m). Skomplikowana budowa głębszych partii czwartorzędowego maskowana



Ryc. 1. Mapa wskaźników infiltracji i rozkładu opadów atmosferycznych (geologia wg S. Z. Różyckiego).

1 — charakter litologiczny utworów i odpowiadający im wskaźnik infiltracji, 2 — piaski wydymowe, 3 — piaski akumulacji lodowcowej, 4 — torfy, piaski rzeczne tarasów akumulacyjnych, piaski i żwirzy stożków napływowych, 5 — piaski akumulacji lodowcowej z głazami na glinie zwalowej, 6 — piaski i żwirzy ozów lub moreny czołowej, 7 — mady i piaski rzeczne, 8 — gliny zwalowe, 9 — ły wstęgowe, 10 — ły pstrę, 11 — izohiety 1959 r., 12 — izohiety 1960 r., 13 — obszary wydzielone do obliczeń

Fig. 1. Map of infiltration coefficients and of distribution of atmospheric precipitations (geology after S. Z. Różycki)

1 — lithological character of formations and infiltration coefficient corresponding with them, 2 — dune sands, 3 — sands of glacial accumulation, 4 — peats, river sands of built terraces, sands and gravels of alluvial cones, 5 — sands of glacial accumulation with boulders on the boulder clay, 6 — sands at gravels of oases or of end moraine, 7 — muds and river sands, 8 — boulder clays, 9 — varved clays, 10 — variegated clays, 11 — isochiets — 1959, 12 — isochiets — 1960, 13 — areas detached for computations

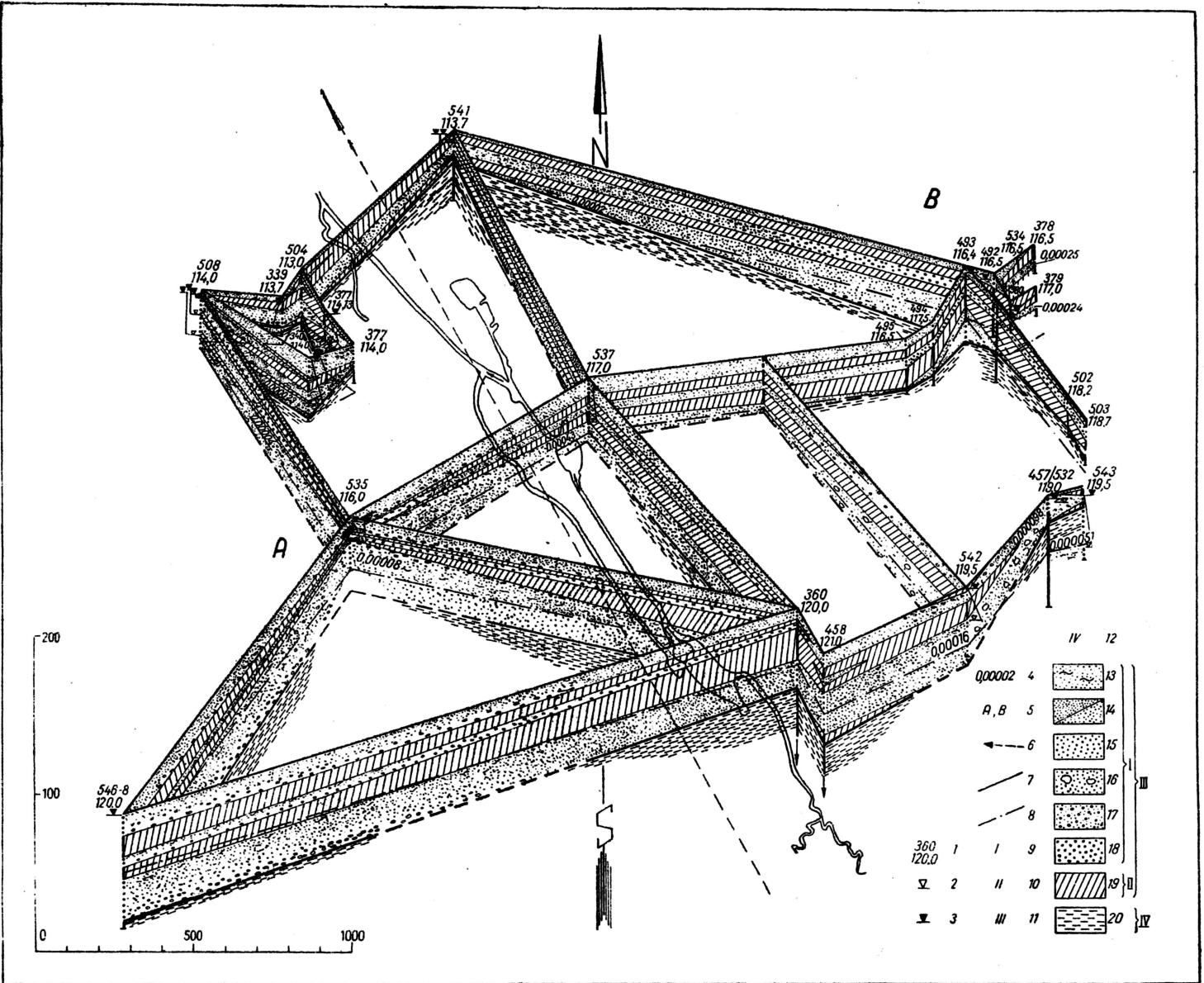
<sup>1</sup> Wykorzystano wszystkie dostępne materiały wiertnicze za czas od 1902 do 1960 r. (łącznie 547 otworów).

jest przez płasko leżące piaski stożka napływowego, które tworzą zwartą powierzchnię opadającą łagodnie ku NW. Miąższość tych utworów jest raczej mała i waha się w granicach 1—2 m w NE części stożka do 10 m na przypuszczalnej jego osi, natomiast w obrębie obszaru B, ryc. 1 ma przeciętnie od 2 do 6, rzadko powyżej 10 m.

Dla przestrzennego zilustrowania budowy geologicznej, a przede wszystkim stosunków hydrogeologicznych terenu<sup>2</sup>, celowe okazało się wykonanie

<sup>2</sup> Wg terminologii i systematyki jednostek hydrogeologicznych J. Gołąba, „jest to jednostka złożona, o hydrostrukturze równoległej nieciągłej, wielonurtowej, o charakterze laminarnym z infiltracją powierzchniową, boczną i podziemną. O wieku wód płytkich  $T_1 - T_3$ , 1 do 12 lat”.

schematycznego blokdiagramu, przy którego opracowaniu wzięto pod uwagę przede wszystkim charakter litologiczny utworów z rozbiem na warstwy: nieprzepuszczające i przepuszczające (ryc. 2). Do pierwszych zaliczono ility, gliny oraz utwory bardzo słabo przepuszczalne, trudne lub nawet niemożliwe do eksploatacji. Do drugich zaś utwory wodonośne, z zaznaczeniem ich granulacji, nawierconego i ustalonego zwierciadła wody oraz wartości współczynnika „k” wyrażonego w m/sek. Ponadto zaznaczono ogólny kierunek przepływu wód podziemnych, który pokrywa się z kierunkiem biegu rzeki. Podkreślić należy, iż konstrukcja blokdiagramu jest opracowana na zasadzie interpolacji i generalizacji szczegółów, które zaciemniałyby jedynie ogólny obraz warunków hydrogeologicznych. Dlatego też przedstawiony blok-



Ryc. 2. Schematyczny blokdiagram ażurowy.

1 — nr otworu, rzędna terenu, 2 — zwierciadło wody nawiercone, 3 — zwierciadło wody ustalone, 4 — współczynnik „k” w m/sek obliczony na podstawie próbnego pompowania, 5 — obszary wydzielone do obliczeń, 6 — kierunek przepływu wód podziemnych i granica między obszarami A i B, 7 — granica stropu pliocenu: a) pewna, b) niepewna, 8 — średnia arytmetyczna rzędnej występowania stropu pliocenu, 9 — I utwory przepuszczające, 10 — II utwory nieprzepuszczalne, 11 — III czwartorzęd, 12 — IV trzeciorzęd, 13 — piasek pylisty, 14 — piasek drobno- i średnioziarnisty, 15 — piasek gruboziarnisty, 16 — piasek z otoczkami 17 — pospółka, 18 — żwir, 19 — gliny, ility, pyły, 20 — ility pstre pliocenu

Fig. 2. Schematical transparent block-diagram

1 — number of bore-hole, ordinate of terrain, 2 — pierced water line, 3 — determined water line, 4 — coefficient k, in m/sec, computed on test pumping, 5 — areas detached for computations, 6 — direction of flow of ground waters and boundary between areas A and B, 7 — boundary of top of Pliocene: a) certain, b) uncertain, 8 — arithmetical mean of ordinate of Pliocene top, 9 — I permeable formations, 10 — II impermeable formations, 11 — III Quaternary, 12 — IV Tertiary, 13 — dust sand, 14 — fine and middle-grained sand, 15 — coarse-grained sand, 16 — sand with pebbles, 17 — sand-gravel aggregate, 18 — gravel, 19 — boulder clays, clays, dusts, 20 — variegated clays of Pliocene

diagram ma jedynie charakter przeglądowy i należy go traktować jako schemat. Wskazuje on, że na omawianym terenie w utworach czwartorzędowych zaznacza się równowaga lub nawet przewaga warstw przepuszczających nad nieprzepuszczającymi. Obliczenia wykazały, że w prawobrzeżnej części — B wartość ta jest mniejsza i wynosi 47% ogólnej miąższości utworów, natomiast dla lewobrzeżnej — A wzrasta do 64%. Fakt ten — przy jednocześnie większej miąższości czwartorzędu w południowo-zachodniej części miasta — stał się między innymi podstawą do uznania tego terenu za obszar stanowiący bazę dla perspektywicznego zaopatrzenia ośrodka w wodę.

W obrębie opiniowanego terenu można wyróżnić dwa główne poziomy wodonośne:

1. Związany z piaskami napływowymi stożka.
2. Związany z głębszymi partiami czwartorzędu, zaburzonymi glacictektonicznie.

Kształtowanie się stosunków hydrogeologicznych w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego jest przede wszystkim bezpośrednio związane z infiltracją wód opadowych, z odpływem przypowierzchniowym, parowaniem wody podziemnej oraz z infiltracją alimentującą głębsze poziomy czwartorzędowe. Najistotniejszym spośród wymienionych czynników jest infiltracja wód opadowych. Parowanie wody podziemnej ze zwierciadła pierwszej warstwy obliczone wzorem Léczfalvy'ego Sándora<sup>3)</sup> osiąga wartości małe (dla tego rejonu od 19 do 28 mm rocznie) i przy zagadnieniu bilansowania może być pominięte. Natomiast kształtowanie się stosunku między odpływem przypowierzchniowym a filtracją zasilającą głębsze warstwy wodonośne zależy od stopnia nasycenia tych ostatnich. Można więc powiedzieć, że wzrost eksploatacji wpływa korzystnie na zwiększenie infiltracji wgłębnej. Zjawisko to jest uwarunkowane istnieniem hydraulicznych powiązań między przypowierzchniowym a głębszym poziomem czwartorzędu. W obrębie pierwszego poziomu wodonośnego zwierciadło wody stabilizuje się na głębokości od 0 do 2 m dla dolin rzecznych i od 2 do 6 m dla utworów stożkowych. Drugi poziom wodonośny reprezentowany jest przez dwie warstwy; „międzymorenową” i spągową”.

Warstwa międzymorenowa ma miąższość ok. 6 m i charakteryzuje się korzystnym składem granulometrycznym, co w konsekwencji niekiedy pozwala uzyskać duże wydajności. Np.: wydajność jednostkowa ujęcia w północno-wschodniej części miasta dochodzi do 6,5 m<sup>3</sup>/h/m depresji. Podkreślić jednak należy, że warstwa ta pod względem hydrogeologicznym jest dość zmienna i w skali ogólnej tak dogodne warunki są raczej rzadko spotykane. Nawiercone zwierciadło wody występuje najczęściej na głębokości od 10 do 20 m, ustalone natomiast — od 3 do 5 m licząc od powierzchni terenu.

Warstwa spągowa mimo mniej korzystnego składu granulometrycznego osiąga przeciętną miąższość 14 m i dotychczas jest głównym źródłem zaopatrzenia ośrodka w wodę podziemną. Zwierciadło wody, występujące na głębokości od kilkunastu do 40 m, stabilizuje się na 3 do 8 m poniżej powierzchni terenu. Biorąc pod uwagę obie te warstwy można stwierdzić, że granulacja utworów klastycznych z punktu widzenia hydrogeologicznego jest bardziej korzystna po prawej stronie rzeki, ponieważ jednak miąższość bezwzględna tych utworów w lewobrzeżnej części miasta jest znacznie większa (stosunek jak 1 : 1,5), możliwości hydrauliczne obu terenów można uznać za jednakowe. Ogólnie najczęściej uzyskiwane wydajności wynoszą 6 m<sup>3</sup>/h, chociaż sporadycznie przekraczają nawet 30 m<sup>3</sup>/h.

$$3 \quad p = \frac{0,000175}{m} \cdot T^{1,42} \text{ m/godz.}$$

gdzie: m — głębokość do zwierciadła wody w m,  
T — temperatura powietrza w °C.

Charakterystyka fizyko-chemiczna omawianych warstw wodonośnych (oparta na 114 analizach wody) jest zbliżona do przeciętnej charakterystyki wód podziemnych z utworów czwartorzędowych na terenie Polski. Stwierdzić należy zwiększoną zawartość jonu Fe i Mn oraz lokalnie podwyższoną koncentrację chlorków (w dwu przypadkach powyżej dopuszczalnej normy dla wód pitnych). Przypuszczać należy, iż podwyższenie to wywołane jest zanieczyszczeniami powierzchniowymi, gdyż w warstwie spągowej ilość Cl' mieści się zawsze w dopuszczalnych granicach. Twardość wyrażona w stopniach niemieckich, zawarta jest przeważnie w granicach 6—20 stopni, chociaż niektóre analizy dotyczące próbek wody pobranych z otworów geotechnicznych wykazują wartości przekraczające 40 stopni niemieckich. Temperatura tych wód waha się około średniej rocznej temperatury powietrza omawianego rejonu.

## CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WIELKOŚĆ INFILTRACJI

Jak już wspomniano, czwartorzędowe warstwy wodonośne na terenie omawianego rejonu charakteryzują się przede wszystkim alimentacją lokalną. Z tego też względu przy rozpatrywaniu parametrów bilansowych należy uwzględnić poza litologią takie czynniki, jak: morfologia, opad, spływ, parowanie, kondensacja, a nawet czynniki natury kosmogenicznej.

Morfologia danego rejonu stwarza wybitnie korzystne warunki dla infiltracji wód opadowych. Jest to bowiem rozległy, płaski obszar stożka napływowego, o lekkim nachyleniu powierzchni w kierunku północno-zachodnim, ograniczony od SE wyraźną krawędzią przechodzącą w wysoczyznę (4, 7). W tej sytuacji zbocze wysoczyzny zbudowane z gliny zwalowej i pochylone w kierunku stożka stwarza dogodne warunki dla spływu wód opadowych — natomiast jego płaskie tereny sprzyjają intensywnej infiltracji. W obrębie omawianego rejonu można było wydzielić dwa obszary o różnym stopniu rozwoju sieci hydrograficznej. Pierwszy — położony na SW od rzeki, w którym przypada 0,5 km cieków na 1 km<sup>2</sup> terenu, oraz drugi — B po przeciwnej stronie rzeki, gdzie wartość ta wzrasta do ok. 0,9 km na 1 km<sup>2</sup> terenu. Podane liczby sugerują, iż pod względem infiltracyjnym pierwszy obszar można traktować jako korzystniejszy. W celu obliczenia konkretnych wielkości infiltracji należy dysponować szczegółowymi wartościami: opadów, parowania, spływu i kondensacji. Spośród wymienionych parametrów wielkości parowania i kondensacji są wartościami nieznanymi, ponieważ metodyka ich obliczeń stosowana przy bilansowaniu hydrologicznym — jest nie do przyjęcia dla rozwiązywania problemów hydrogeologicznych. Do takich wniosków skłaniają wyniki rzeczywistych wielkości eksploatacji, które z zasady wielokrotnie przekraczają wartości, jakie dopuszcza bilans hydrologiczny. W tej sytuacji ilość infiltrującej wody zdecydowano się określić jako iloczyn opadów i wskaźnika infiltracji<sup>4</sup>, przy czym ze względu na nierównomierny rozkład opadów oraz zmienność litologiczną utworów powierzchniowych obydwaj czynniki rozpatrywano jako funkcję przestrzenną. Przy analizie opadów uwzględniono również ich zmienność w czasie, przyjmując do obliczeń dane za lata (1959—1960) o skrajnych wartościach opadowych w ostatnim dziesięcioleciu. Okazało się, że średnia sum opadów za te lata ma tę samą wielkość, co średni opad roczny z wielolecia. Określenie wskaźników infiltracji dla poszczególnych utworów geologicznych, ze względu na brak systematycznych badań tego typu w Polsce, oparto

$$4 \quad K = \frac{H_w}{H_o} \quad \text{gdzie: } K \text{ — wskaźnik infiltracji danej skały}$$

H<sub>o</sub> — opad wyrażony w mm słupa wody  
H<sub>w</sub> — część opadu infiltrująca w skałę

na badaniach wykonanych przez K. Schubacha (11) na terenie Niemiec Środkowych. Dotyczyły one jednak dość wąskiego zakresu utworów geologicznych, w związku z czym nie wystarczały do rozwiązania interesującego nas problemu. Do obliczeń przyjęto więc wartości wskaźników infiltracji przetransponowanych i uzupełnionych przez J. Gołąba.

W celu uzyskania możliwie dokładnego obrazu rozkładu opadów atmosferycznych w obrębie omawianego rejonu przy wykonaniu mapy izohiet za lata 1959—60 uwzględniono dane z 34 stacji opadowych<sup>5</sup>. Tak otrzymane izohiety przeniesiono na mapę geologiczną (ryc. 1). W ten sposób badany teren został rozczłonkowany na szereg stref opadowych, dla których wartość opadu przyjęto jako średnią z wartości izohiet wyznaczających daną strefę. Uwzględniając jednocześnie zmienność litologiczną utworów powierzchniowych, charakteryzujących się różnym współczynnikiem infiltracji — sumaryczną ilość infiltrującej wody można określić wzorem:

$$W = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left( \sum_{j=1}^m K_j \cdot F_j \right) \dots \dots (1)$$

gdzie:  $W$  — ilość infiltrującej wody w rejonie objętym obliczeniami w  $m^3$

$Q_i$  — opad dla danej strefy wyrażony w metrach słupa wody (m)

$F$  — powierzchnia poszczególnych utworów litologicznych w obrębie strefy ( $m^2$ )

$K$  — wartość wskaźnika infiltracji poszczególnych utworów

$n$  — ilość stref opadowych

$m$  — ilość różnych litologicznie utworów tym obliczeniami w  $m^3$

Obliczona tym wzorem wielkość infiltracji dla omawianego rejonu wynosi ok. 43% ogólnej sumy opadów atmosferycznych. Pamiętać jednak należy, że są to tylko możliwości infiltracyjne, a nie wielkość rzeczywistej infiltracji, która w istotny sposób zależy od stopnia nasycenia utworów geologicznych, a więc między innymi — od intensywności eksploatacji wód podziemnych.

<sup>5</sup> Izohiety w roku suchym (1959) wykazują bezpośredni związek z morfologią terenu. Najniższe roczne sumy opadów występują w obszarach dolinnych, najwyższe zaś grupują się na wysoczyźnie. Omawiany teren położony na pograniczu tych dwu jednostek morfologicznych ma wartości pośrednie. W roku o maksymalnych wartościach opadowych (1960) współzależność rozkładu izohiet od morfologii jest mniej wyraźna, a rozkład opadów wykazuje inwersję.

Na podstawie przytoczonej analizy zestawiono tabelę I, która wskazuje na wyraźne zróżnicowanie obszarów położonych po prawej i lewej stronie rzeki.

Zestawienie zdecydowało o konieczności oddzielnego potraktowania obu obszarów przy obliczeniach hydrogeologicznych. Kształt i granice wydzielonych obszarów uwarunkowane są przede wszystkim kształtem strumienia wody podziemnej. Z pomiarów wykonanych w latach 1936 i 1958—59 wynika, że strumień wód podziemnych w tym rejonie można traktować jako równoległy, o kierunku  $331,5^\circ$  (ryc. 2). Dzięki temu obszary — lewobrzeżny „A” i prawobrzeżny „B” — mogą mieć kształt prostokątów.

Wielkość obszaru „B” została uwarunkowana granicami miasta, natomiast obszar „A” przy analogicznej długości określono w ten sposób, aby rejon lokalizacji projektowanego ujęcia znajdował się w centralnej strefie obszaru (ryc. 1).

## OBLICZANIE ZASOBÓW

Stan rozpoznania hydrogeologicznego omawianego rejonu pozwala jedynie na stwierdzenie możliwości występowania wód podziemnych w określonych ilościach, czyli w myśl obowiązujących przepisów — pozwala określić zasoby wód podziemnych co najwyżej w kat. C. Mimo iż w obszarze „B” istnieje wiele otworów studziennych, brak systematycznych badań hydrogeologicznych oraz różniczasowość poszczególnych obserwacji uniemożliwia dokumentowanie w wyższych kategoriach.

Zasoby statyczne. Obliczanie zasobów statycznych jest konieczne przy analizowaniu zbiornika wód podziemnych, natomiast w przypadku warstwy wody płynącej pozwala jedynie określić, jaki jest jej stosunek do aktualnie istniejącej eksploatacji. Ponieważ chodzi tu tylko o wartości szacunkowe, obliczenia zostały przeprowadzone jednym sposobem, na podstawie wzoru:

$$Q_s = \mu \cdot V \quad Q_s = \mu \cdot m_{sr} \cdot F (m^3) \dots (2)$$

gdzie:  $Q_s$  — zasoby statyczne

$\mu$  — współczynnik odsączalności = 0,18

$V$  — objętość warstw zawodnionych ( $m^3$ )

$m_{sr}$  — średnia miąższość warstw zawodnionych (m) dla  $A = 25$  m  
 $B = 16$  m

$F$  — powierzchnia rozpatrywanych obszarów ( $m^2$ )

Tabela I

Wyszczególnienie	Obszary	
	lewobrzeżny „A”	prawobrzeżny „B”
Stan zagospodarowania	teren w przewodzie pokryty lasem	teren o zwartej zabudowie
Nasilenie eksploatacji wód podziemnych	praktycznie brak eksploatacji	duża eksploatacja
Stopień rozpoznania terenu	bardzo słaby	średni
Rozwój sieci hydrograficznej	0,5 km/km <sup>2</sup>	0,9 km/km <sup>2</sup>
Przeciętna miąższość utworów przepuszczających	27 m	19 m
Procentowy udział utworów przepuszczających w stosunku do ogólnej miąższości czwartorzędu	64%	47%



Średnią miąższość warstw zawodnionych obliczono jako średnią arytmetyczną, ponieważ dawała ona mniejsze wartości od średnich ważonych, przy czym w obliczeniach pominięto miąższość tzw. warstwy suchej. Uwzględniając fakt, iż utwory czwartorzędowe występujące w obrębie omawianego rejonu charakteryzują się stosunkiem granulacji utworów gruboziarnistych do drobnoziarnistych, jak 1 : 1 — wartość współczynnika odsączalności przyjęto z tabel cytowanych w literaturze radzieckiej, równą 0,18 (9, 13).

Obliczenia wykazały, iż zasoby statyczne dla obszaru A + B przewyższają ponad 100-krotnie aktualną roczną eksploatację oraz ponad 30-krotnie zapotrzebowanie perspektywiczne. Wynika więc, że roczne, a nawet wieloletnie wahania w danym przypadku nie powinny wywierać decydującego wpływu na ciągłość eksploatacji.

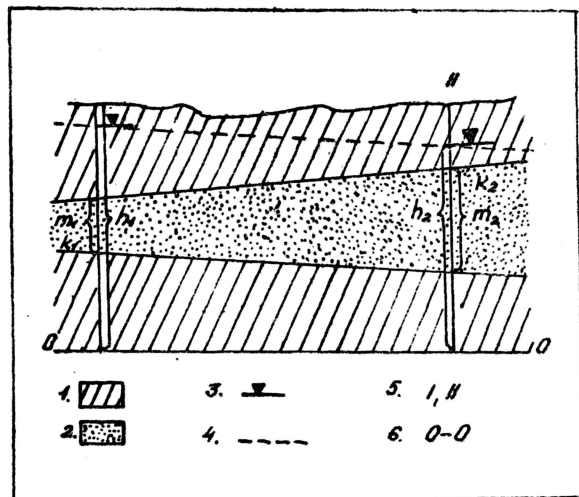
Zasoby dynamiczne określa ilość wody przepływającej przez warstwę wodonośną w jednostce czasu. Tak sformułowana definicja nie uwzględnia jednak zmienności tych zasobów w czasie, nie daje więc odpowiedzi, czy wielkość ich została ustalona np.: dla momentu przed rozpoczęciem eksploatacji warstwy wodonośnej czy w czasie trwania eksploatacji po ustaleniu się przepływów. Dlatego też przy określaniu wielkości zasobów dynamicznych konieczną rzeczą jest podanie czasu, dla którego obliczenia są aktualne.

Na podstawie istniejących materiałów dotyczących omawianego rejonu można było przyjąć równoległość strumienia wód podziemnych, wyznaczyć kierunek ich przepływu oraz wartość spadku hydraulicznego. Znajomość tych parametrów pozwala obliczyć zasoby dynamiczne jako iloczyn przepływu jednostkowego i szerokości frontu strumienia wody podziemnej (9, 13).

$$Q_d = q \cdot L \dots \dots \dots (3)$$

gdzie:  $Q_d$  — zasoby dynamiczne ( $m^3/h$ )  
 $q$  — przepływ jednostkowy ( $m^3/h/1 mb$ )  
 $L$  — szerokość frontu strumienia wody podziemnej (m)

W celu przeprowadzenia możliwie dokładnej i krytycznej analizy otrzymanych wielkości obliczenia wykonano czterema sposobami.



Ryc. 3. Objasnienia parametrów do wzoru Dawidowicza  
 1 — utwory nieprzepuszczające, 2 — utwory przepuszczające, zawodnione, 3 — zwierciadło wody ustalone, 4 — poziom piezometryczny, 5 — analizowane profile, 6 — poziom odniesienia

Fig. 3. Explanations of parameters to the formulae by Davidovicz

1 — impermeable formations, 2 — permeable formations, watered, 3 — determined water line, 4 — piezometric level, 5 — analysed profiles, 6 — datum horizon

1) Na podstawie wzoru Dawidowicza (12, 13). Wzór ten pozwala obliczyć przepływ między dwoma profilami o określonych współczynnikach „k” i miąższościach warstwy wodonośnej, jeżeli znany jest spadek hydrauliczny (ryc. 3).

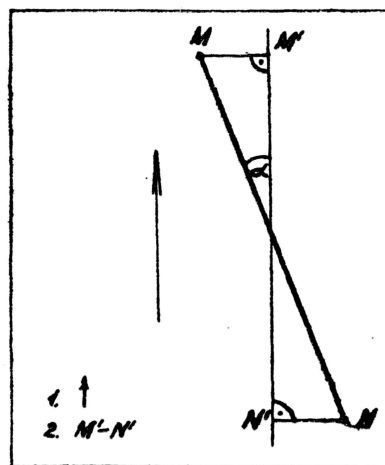
$$Q = I \cdot \frac{k_1 M_2 - k_2 M_1}{\ln \cdot \frac{k_1 M_2}{k_2 M_1}} \cdot L \dots \dots (4)$$

dla  $L = 1 m$

$$q = I \cdot \frac{k_1 M_2 - k_2 M_1}{\ln \cdot \frac{k_1 M_2}{k_2 M_1}} \cdot 1 \dots \dots (5)$$

gdzie:  $Q$  — przepływ strumienia wody podziemnej na całej szerokości frontu  
 $q$  — przepływ jednostkowy strumienia wody podziemnej ( $m^3/sek/mb$ )  
 $L$  — szerokość frontu strumienia wody podziemnej (m)  
 $I = \frac{h_1 - h_2}{l}$  spadek hydrauliczny, w danym przypadku  $I = 0,00425$   
 $h_1, h_2$  — rzędne zwierciadła wody podziemnej  
 $l$  — odległość między profilami (m)  
 $k_1, k_2$  — współczynniki wodoprzepuszczalności (m/sek)  
 $M_1, M_2$  — miąższość warstwy wodonośnej (m)

We wzorze tym tkwi założenie jednostajnej i ciągłej zmiany miąższości oraz współczynnika „k” warstwy wodonośnej. Przepływy jednostkowe między parami odpowiednio dobranych otworów obliczono przy założeniu, że na kierunku przepływu wód podziemnych spadek hydrauliczny jest stały. Jeżeli linia łącząca parę otworów nie była równoległa do tego kierunku, wówczas licząc wzorem Dawidowicza zakłada się, że warunki hydrogeologiczne panujące w strefie otworów M i N (ryc. 4) są odpowiednio analogiczne w punktach M' N'. Wielkość błędu wynikająca z tego założenia zależy od stopnia komplikacji budowy geologicznej, odległości między otworami i wielkości  $\angle \alpha$ . Ostateczne wartości przepływu jednostkowego dla obszaru „A” i obszaru „B”



Ryc. 4

1 — kierunek przepływu wód podziemnych, 2 — rzuty otworów M, N na linię równoległą do kierunku przepływu wód podziemnych

Fig. 4

1 — direction of flow of ground waters, 2 — projections of bore-holes M, N on the line parallel to the direction of flow of ground waters

obliczono jako średnią arytmetyczną z wyników uzyskanych dla dziewięciu par otworów.

$$q_{A,B} = \frac{\sum_{i=1}^n q_n}{n} \dots \dots \dots (6)$$

gdzie:  $q_{A,B}$  — średni przepływ jednostkowy dla obszaru A lub B  
 $n$  — ilość wybranych par otworów  
 $q_n$  — przepływ jednostkowy dla pary otworów.

Obliczone w ten sposób wartości wynoszą:  
 $q_A = 0,04435 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$       $q_B = 0,05367 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$   
 2) Na podstawie wzoru Darcy'ego.

$$V = k \cdot I \quad \text{dla } V = \frac{Q}{F} \quad Q = k \cdot F \cdot I$$

gdzie  $F = m \cdot l$       $q = k \cdot I \cdot m \cdot l \dots \dots \dots (7)$

gdzie:  $q$  — przepływ jednostkowy ( $\text{m}^3/\text{sek}/1 \text{ mb}$ )  
 $k$  — współczynnik wodoprzepuszczalności ( $\text{m}/\text{sek}$ )  
 $m$  — miąższość warstwy wodonośnej (m)  
 $I$  — spadek hydrauliczny  
 $l$  — 1 m — szerokość frontu strumienia (m)

Wzór powyższy obowiązuje jedynie przy założeniu stałej miąższości warstwy wodonośnej, poziomego jej ułożenia oraz stałej wartości „ $k$ ”. Zdając sobie sprawę z istotnych odchyłen od powyższych założeń, przepływ jednostkowy obliczono wzorem:

$$q = k_{sr} \cdot I \cdot m_{sr} \cdot l \dots \dots \dots (8)$$

Otrzymane wyniki przepływu jednostkowego,  $q_A = 0,05377 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$  i  $q_B = 0,03679 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$  potwierdzają rząd wielkości wyników ze wzoru Dawidowicza.

3) Na podstawie wzoru Płotnikowa (9). Według Płotnikowa, znając zasięg depresji studni przy da-

nej wydajności — przepływ dynamiczny strumienia wody podziemnej można określić wzorem:

$$Q_d = B \cdot e \cdot \frac{Q_{st}}{2R} \dots \dots \dots (9)$$

gdzie:  $Q_d$  — przepływ strumienia wody podziemnej ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $Q_{st}$  — wydajność studni ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $B$  — szerokość frontu strumienia (m)  
 $R$  — zasięg depresji przy wydajności  $Q_{st}$  (m)  
 $e$  — współczynnik poprawkowy, zmienny w zależności od rodzaju warstwy wodonośnej.

Przepływ jednostkowy obliczono przyjmując:  $B = 1 \text{ m}$  (wtedy  $Q_d = q_d$ ),  $e = 3$  — wartość przyjmowana dla utworów czwartorzędowych przez Płotnikowa i innych autorów (9, 13),  $Q_{st}$  — średnie wydajności z próbnych pompowań dla poszczególnych studzien,  $R$  — obliczono na podstawie wzorów Sichardta i Kusakina, przyjmując większą z otrzymanych wartości. Z wykonanych w ten sposób obliczeń dla kilkudziesięciu studzien uzyskano średni przepływ jednostkowy dla obszarów A —  $q_A = 0,1650 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$  i B —  $q_B = 0,2227 \text{ m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$ .

4) Z przeliczenia infiltracji. Ilość infiltrującej wody w obszarze A i B została określona na podstawie wzoru 1. Ponieważ woda ta bierze udział w przepływie podziemnym, wartość przepływu jednostkowego została obliczona jako stosunek ilości infiltrującej wody do szerokości strumienia wody podziemnej (tab. II).

Średni przepływ jednostkowy jest miarą nie tylko dla lat 1959, 1960, lecz także dla wielolecia, ponieważ średnia wartość opadu za te lata odpowiada średniemu opadowi rocznemu za wielolecie.

W tabeli III zestawiono wszystkie obliczone wartości przepływu jednostkowego, wyrażone w  $\text{m}^3$  na godzinę na 1 m bieżący oraz w procentach, przyjmując za 100 wartości otrzymane z wzoru Dawidowicza.

Przepływ obliczony wzorem Dawidowicza określa naturalny, aktualny przepływ dynamiczny w oma-

Tabela II

Obszar	Szerokość frontu w m	Infiltracja w $\text{m}^3/\text{h}$		Infiltracja w przeliczeniu na przepływ jednostkowy w $\text{m}^3/\text{h}/\text{mb}$		
		1959	1960	1959	1960	średnio
	L	$Q_1$	$Q_2$	$q = \frac{Q_1}{L}$	$q = \frac{Q_2}{L}$	$\frac{q_1 + q_2}{2}$
A	3100	253,4	435,6	0,08174	0,14052	0,1111
B	2230	176,4	298,0	0,07915	0,13363	0,1064

Tabela III

ANALIZA OTRZYMANYCH WARTOŚCI PRZEPIŁYWÓW JEDNOSTKOWYCH

Obszar	Szerokość frontu w m	Przepływy jednostkowe							
		wg Dawidowicza		wzorem: $q = k_{sr} \cdot I \cdot m_{sr} \cdot l$		wg Płotnikowa		Z przeliczenia infiltr.	
	$\text{m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$	%	$\text{m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$	%	$\text{m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$	%	$\text{m}^3/\text{h}/1 \text{ mb}$	%	
A	3100	0,04435	100	0,05377	121	0,1650	372	0,1111	251
B	2230	0,05367	100	0,03679	69	0,2227	415	0,1064	198

wianym rejonie ponieważ oparty jest na parametrach miarodajnych dla ostatnich lat, charakteryzujących się stosunkowo największą dokładnością. Szczegółowej analizy błędów przeprowadzonych obliczeń nie można przeprowadzić przy dotychczasowym stanie rozpoznania rejonu. Natomiast szacunkowe obliczenia wykazały, że błąd ten nie powinien przekroczyć + 40%.

Wartości otrzymane wzorem  $q = k_{gr} \cdot I \cdot m_{gr} \cdot 1$ , który zbyt mocno schematyzuje warunki hydrogeologiczne — potwierdzają jedynie rząd wielkości przepływów otrzymanych wzorem Dawidowicza.

Przepływy wynikające z przeliczenia infiltracji określają górną granicę naturalnych „nierabunkowych” przepływów. Można je wytworzyć kosztem zmniejszenia odpływów przypowierzchniowych wskutek odpowiedniego wzrostu eksploatacji wód podziemnych.

Przepływ obliczony wzorem Płotnikowa określa ilość możliwych do wytworzenia przepływów dynamicznych, czyli przedstawia możliwości hydrauliczne warstw. Otrzymane tym wzorem wartości znacznie przekraczają przepływy wynikające z przeliczenia infiltracji, nie są więc możliwe do wytworzenia na szerokim froncie i mają jedynie charakter lokalny.

Podsumowując powyższe na obecnym etapie rozpoznania hydrogeologicznego, ostatecznie do obliczeń zasobów dynamicznych (wzór 3) należało przyjąć jednostkowe przepływy otrzymane z wzoru Dawidowicza. Trzeba jednak zaznaczyć, że wskutek dalszych badań i obserwacji wartość zasobów dynamicznych może wzrosnąć nawet dwukrotnie, zgodnie z wielkością przepływów jednostkowych uzyskanych z przeliczenia infiltracji.

Zasoby eksploatacyjne. Ze względu na brak systematycznych badań i obserwacji hydrogeologicznych obliczenie zasobów eksploatacyjnych oparte na następującym rozumowaniu. Jeżeli aktualna eksploatacja w obszarze B stanowi ponad 85% obliczonych zasobów dynamicznych i jednocześnie nie wywiera żadnych ujemnych skutków, to wielkość jej można przyjąć jako dolną granicę zasobów eksploatacyjnych obszaru B. Istniejące analogie hydrogeologiczne między obszarami A i B pozwalają założyć, że zasoby eksploatacyjne obszaru A będą stanowić również co najmniej 80% wyliczonych zasobów dynamicznych tego terenu, czyli:

$$Q_{eB} = 0,85 \cdot Q_{dB} \text{ i } Q_{eA} = 0,80 \cdot Q_{dA} \dots (10)$$

ostatecznie więc  $Q_{eA+B} = Q_{eA} + Q_{eB}$

Obok zasobów eksploatacyjnych zbiornika lub warstwy wodonośnej istnieje równoległe pojęcie tzw. zasobów eksploatacyjnych ujęcia wody podziemnej. Przy obliczaniu tego rodzaju zasobów uwzględnia się parametry techniczne ujęcia, a wielkość ich wyraża się w m<sup>3</sup>/h przy określonej depresji. W związku z powyższym, poza obliczaniem bezwzględnej wartości zasobów eksploatacyjnych w rozumieniu definicji pierwszej, należy również określić wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęcia dla obszaru B i zaprojektowanego ujęcia w obszarze A.

Między wielkością zasobów eksploatacyjnych warstwy lub zbiornika wody podziemnej a zasobami eksploatacyjnymi ujęcia istnieje ścisła zależność, a mianowicie: zasoby eksploatacyjne ujęcia mogą być co najwyżej równe zasobom eksploatacyjnym zbiornika lub warstwy wodonośnej, czyli  $Q_e \text{ ujęcia} \leq Q_e \text{ warstwy lub zbiornika}$ . W rozpatrywanym przypadku oba rodzaje zasobów eksploatacyjnych są sobie równe. Dla obszaru B wynika to z przyjętego sposobu obliczeń zasobów eksploatacyjnych warstwy, natomiast dla obszaru A — ujęcie zostało zaprojektowane w ten sposób, aby można było szarpać całe zasoby eksploatacyjne warstwy.

W świetle powyższego dla pełnego określenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia należy jeszcze określić wartość depresji. Ponieważ w obszarze B eksploatacja trwa już od dłuższego czasu, przy obli-

czeniu depresji poza depresją lokalną — należało również uwzględnić depresję regionalną, która dla okresu 20 lat wynosi ok. 4,5 m. Depresję lokalną określono metodą Forchheimera (11, 12), zakładając współpracę istniejących studzien. W metodzie tej wykorzystując prawo ciągłości ustalonego ruchu wody zakłada się, że wzajemny wpływ współpracujących studzien sumuje się. Dla określenia wypadkowej depresji w danym punkcie, przy założeniu warunków artezyjskich — można stosować następujący wzór:

$$S = \frac{Q_1 \ln \frac{R_1}{x_1}}{2\pi kM} + \frac{Q_2 \ln \frac{R_2}{x_2}}{2\pi kM} + \dots + \frac{Q_n \ln \frac{R_n}{x_n}}{2\pi kM} \quad (11)$$

gdzie:  $S$  — wartość depresji w danym punkcie (m)  
 $Q_1, Q_2 \dots Q_n$  — wydajności poszczególnych studzien (m<sup>3</sup>/h)  
 $R_1, R_2 \dots R_n$  — zasięg depresji (m)  
 $x_1, x_2 \dots x_n$  — odległość poszczególnych studzien od danego punktu (m)  
 $k$  — współczynnik wodoprzepuszczalności warstwy (m/h)  
 $M$  — miąższość warstwy (m)  
 Wartość depresji obliczona tym wzorem wynosi ok. 2 m.

Ostatecznie więc zasoby eksploatacyjne ujęcia w obszarze B wynoszą  $0,85 \cdot Q_{dB}$  przy depresji ok. 6,5 m.

Dla obszaru A wielkość depresji obliczono na podstawie wzoru Muskata (1, 12) zakładając, że zasoby eksploatacyjne zostaną szcerpane za pomocą projektowanego ujęcia:

$$S = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \lg \frac{R_0^2}{4a^2 \cdot r_s}}{k \cdot M} \dots \dots \dots (12)$$

gdzie:  $S$  — depresja w obszarze ujęcia (m)  
 $Q$  — wydajność poszczególnych studzien (m<sup>3</sup>/h)  
 $M$  — miąższość warstwy wodonośnej (m)  
 $k$  — współczynnik wodoprzepuszczalności (m/h)  
 $2a$  — odległość między studniami (m)  
 $r_s$  — promień studni (m)

$$R_0 = R_1 + R_s; R_1 = \frac{2a}{\sqrt{3}}; R_s \text{ — zasięg depresji studni w metrach}$$

Obliczona w ten sposób depresja dla zasobów eksploatacyjnych ujęcia w obszarze A wynosi ok. 14 m. Nie uwzględniono tu depresji regionalnej, ponieważ zasoby zostały ustalone w czasie, kiedy terenu A nie eksploatowano. Depresję regionalną dla tego terenu można będzie określić najwcześniej po kilku latach pracy nowego ujęcia. Zgodnie więc z definicją, zasoby eksploatacyjne ujęcia w obszarze A wynoszą  $0,80 \cdot Q_{dA}$  przy 14 m depresji.

## WNIOSKI

W świetle niniejszego opracowania celowe wydaje się rozbić kat. C na C<sub>2</sub> i C<sub>1</sub>. Do kat. C<sub>2</sub> należałoby zaliczać zasoby ustalone na podstawie ogólnych przesłanek regionalnych oraz analogii z sąsiednimi terenami, których warunki są lepiej poznane. W przypadku tym najbliższy otwór studzienny może się znajdować w odległości kilku czy kilkunastu kilometrów od miejsca projektowanego ujęcia. Natomiast do kat. C<sub>1</sub> zaliczanyby zasoby określone na podstawie szczegółowych danych, które potwierdzają występowanie wód podziemnych, ale nie pozwalają jeszcze na zatwierdzenie zasobów w kat. B, jak to się dzieje w rozpatrywanym przypadku.

## LITERATURA

W opracowaniach, w których zachodzi konieczność określania zasobów eksploatacyjnych warstwy lub zespołu warstw wodonośnych (w odróżnieniu od zasobów eksploatacyjnych ujęcia), szczególnie określenie zasobów dynamicznych może w pewnym sensie zastąpić bilans hydrogeologiczny, ponieważ przepływ strumienia wody podziemnej jest jednym z najważniejszych — niejako wypadkowym parametrem bilansu.

Zasoby eksploatacyjne drobnych, pojedynczych ujęć obliczone na podstawie ogólnie znanych wzorów — sprowadzają się faktycznie do określania możliwości hydraulicznych ujęcia i traktowanie ich jako zasobów sensu stricto jest sprawą czysto konwencjonalną.

W celu uzyskania możliwie dokładnych wyników przy określaniu zasobów, obliczenia należy przeprowadzać kilkoma metodami, a w przypadku zasobów dynamicznych należy każdorazowo uwzględniać wielkość infiltracji.

Przy opracowaniach o charakterze bilansowym niezmienne ważną rzeczą jest znajomość wskaźników infiltracji. Celowe wydaje się więc podjęcie w tym kierunku systematycznych badań.

Odczuwa się potrzebę wydania szczegółowej instrukcji, która nakładałaby obowiązek przedstawiania całkowitych, dokładnych wypisów materiałów archiwalnych, załączanych przy opracowaniach hydrogeologicznych. W ten sposób zlikwidowałoby się zjawisko cytowania tego samego otworu w kilku różnych wersjach — co doprowadza często do powstania „nowych” faktycznie nieistniejących otworów.

## SUMMARY

The authors give the example of a hydrogeological elaboration carried out in a given region of Poland, taking into consideration, in particular, the method of computing the ground water resources.

The computations of static, dynamic and exploratory resources are presented and the discussion on the results obtained is given.

In their conclusions, the authors postulate as follows: when computing the ground water resources, the present category "C" should be divided into two categories —  $C_1$  and  $C_2$ ; in the hydrogeological elaborations all computations should be made by means of various methods; systematic study should be made on infiltration being a fundamental parameter necessary during determination of alimentation of ground waters.

1. Cristea N. — *Hydraulika subterana*. Bukaresti 1956.
2. Gołąb J. — *Zagadnienia gospodarki wodami podziemnymi*. „Wykonawstwo studzien” 1958, z. 2.
3. Léczfalvy Sándor — *A talajvíz párolgásának néhány kérdése*. „Hidrol. közlöny” 1959, nr 4.
4. Kondracki J. — *W sprawie terminologii i taksonomii jednostek regionalnych w geografii fizycznej Polski*. „Przegl. Geogr.” 1961, z. 1.
5. Lencewicz St. — *Dyluwium i morfologia Środkowego Powiśla*. Prace IG t. II, z. 3. Warszawa 1927.
6. Lewiński J. — *Hydrogeologia Niecki Warszawskiej*. Warszawa 1924.
7. Mizeria W. — *PIG Biul.* 39, str. 1—28. Warszawa 1947.
8. Olendcki W. — *Obliczanie zasobów eksploatacyjnych wód artezyjskich metodą leja depresyjnego*. „Przegl. Geol.” 1960, nr 3.
9. Płotnikow N. A. — *Ocenka zasobów podziemnych wod. Moskwa 1959*.
10. Scheidegger A. E. — *The physics of flow through porous media*. Toronto 1957.
11. Schneider H. — *Die Wassererschliessung*. Essen 1952.
12. Silin-Biekczurin A. I. — *Dynamika podziemnych wod. Moskwa 1958*.
13. *Sprawoznaczenie rurociągów hydrogeologicznych*. Leningrad 1959.

## РЕЗЮМЕ

Статья представляет гидрогеологическое описание определенного региона Польши с особенным учетом методики подсчета запасов подземных вод.

Описываются подсчеты статических, динамических и эксплуатационных запасов, и обсуждаются их результаты.

В выводах авторы выдвигают следующие предположения: при подсчете запасов подземных вод следует существующую категорию „С” разделить на категории „С<sub>1</sub>” и „С<sub>2</sub>”; всевозможные гидрогеологические подсчеты следует производить несколькими методами; необходимо приступить к систематическому изучению инфильтрации, как основного параметра, необходимого для определения водообильности подземных горизонтов.