

ROZDZIAŁ IV.

BADANIA JAKOŚCI WÓD GRUNTOWYCH.

1. Temperatura.

Woda przyjmuje temperaturę otoczenia, potrzebuje na to jednak dłuższego czasu, w zależności od wielkości zbiornika, a w strumieniu wody płynącej także od prędkości poruszania się cząstek wody i długości drogi w środowisku o tej samej temperaturze.

Wierzchnie warstwy gruntu mają temperaturę zmienną, ponieważ jednak zamarzanie nie dochodzi w strefie umiarkowanej do wielkich głębokości, przeto średnie wartości temperatury gruntu i zawartej w nim wody, różnią się od średniej temperatury powietrza i są naogół wyższe. W wysokich górach temperatura średnia źródeł jest niższa od średniej temperatury powietrza, dzięki zasilaniu ich, w porze letniej, przez wodę przesiąkającą z lodowców lub z obszarów wiecznych śniegów. W głębokości od 10 do 30 m woda gruntowa ma temperaturę stałą zbliżoną do średniej normalnej temperatury powietrza.

Ponieważ temperatura powietrza spada w miarę oddalania się od równika i wznoszenia się terenu nad poziom morza, przeto te same cechy można zauważyć w temperaturze gruntu i wód gruntowych. W środkowej Europie można w przybliżeniu przyjąć obniżanie się temperatury gruntu przeciętnie o 1°C na 2° szerokości geograficznej oraz na 150 do 200 m wzrostu wysokości ponad poziom morza. W niektórych źródłach alpejskich skonstatowano spadek temperatury o 1°C dopiero przy wzniesieniu się o 272 m. Temperatura tych źródeł jest skutkiem tego wyższą od średniej temperatury powietrza.

Na temperaturę wody mogą wpłynąć w kierunku jej podwyższenia procesy chemiczne, jakie się odbywają w zetknięciu z otaczającymi skałami, zaś w kierunku obniżenia, parowanie z warstw bliskich powierzchni terenu. Wraz z wzrostem temperatury ziemi,

w miarę posuwania się włąb, wzrasta również temperatura wody gruntowej według stopnia geotermicznego. Wielkość tego stopnia wynosi, jak wiadomo przeciętnie 1°C na 33 m *), ale waha się w bardzo obszernych granicach, bo od 10 m do 60 m na 1°C , w zależności od wzniesienia nad poziom morza, układu orograficznego, bliskości wulkanów lub sąsiedztwa pokładów powodujących procesy chemiczne.

Wyjątkowo zdarzają się wahania wielkości stopnia geotermicznego jeszcze większe, tak np. wiercenie w d'Ocala (Floryda), w głębokości 369 m , dało wodę o temperaturze $23,6^{\circ}\text{C}$, tj. wzrost o 1° na $145,8\text{ m}$, zaś w Payne Well (Kalifornia), w głębokości 196 m , woda miała $44,5^{\circ}\text{C}$, co odpowiada wzrostowi o 1°C na 5 m .

Na tej podstawie opierają się poszukiwania ciepłych źródeł na terenach, na których one dotąd nie występowały, jeżeli w odpowiedniej głębokości można spodziewać się zbiornika wody. W ten sposób uzyskano w Ciechocinku w r. 1930 w głębokości $1\,305\text{ m}$ solankę o temperaturze przy wylocie 35°C , jako wodę artezyską. O wiele trudniej określić temperaturę wód szczelinowych, w zależności bowiem od prędkości, z jaką woda płynie szczelinami, może ona posiadać temperaturę odmienną od temperatury otoczenia, a zgodną z temperaturą wody w jakimś większym zbiorniku podziemnym. Różnice z temperaturą otoczenia mogą być bardzo znaczne, jeżeli szczeliny znajdują się w pobliżu wulkanów, choćby obecnie nieczynnych.

Podobny wynik jak głębokie wiercenia, dały pomiary temperatury źródeł w długich tunelach. W tunelu Gothardzkim doszła temperatura wody i skał otaczających do $30,7^{\circ}\text{C}$ w odległości $5\,900\text{ m}$ od wlotu. W tunelu Simplon'skim osiągnęła woda temperaturę $44,5^{\circ}\text{C}$ w odległości $6\,700\text{ m}$ od wejścia północnego, w galerji południowej wzrost temperatury był mniej regularny dzięki żyłom zimnej wody.

Temperatury otoczenia nie przyjmują wody krasowe, płynące w obszernych przewodach podziemnych z wielką prędkością, o ile nie przechodzą przez obszerniejsze groty i pieczary, w których zatrzymują się dłużej.

Właściwą charakterystyką wody gruntowej, pod względem temperatury, jest skonstatowanie, czy średnia jej temperatura jest wyższą, czy niższą od temperatury powietrza w tej samej okolicy.

*) W Stanach Zjednoczonych liczą według nowszych głębokich wierceń 1°F na 72 stopy , co odpowiada 1°C na $39,2\text{ m}$. — (Przegląd górniczy i hutniczy 1933 r.).

Zasadniczo wszystkie wody o temperaturze stałej wyższej od temperatury średniej powietrza w danej okolicy, nazywamy ciepłymi, choćby ich temperatura była bliską 0°C . Praktycznie do źródeł ciepłych (term) zaliczamy wody, które w styczności z ciałem ludzkim nie sprawiają wrażenia chłodu. W Niemczech, jako granicę term, przyjęto w spisie źródeł leczniczych temperaturę 20°C .

Dla celów zaopatrzenia osiedli w wodę ważną jest stałość temperatury. Zmiany temperatury wód gruntowych zależą od zmian temperatury powietrza, są zatem, jak te ostatnie, zmianami okresowymi. Wobec długiego czasu, potrzebnego na przeniesienie się zmian temperatury powietrza w głąb ziemi, jedynie długookresowe zmiany mogą wpłynąć na temperaturę wody. To też różnice temperatury powietrza w ciągu poszczególnych dni wywierają minimalny wpływ, a różnice w ciągu jednego i tego samego dnia, mogą oddziaływać tylko na wody tuż przy powierzchni ziemi (bagna i torfowiska).

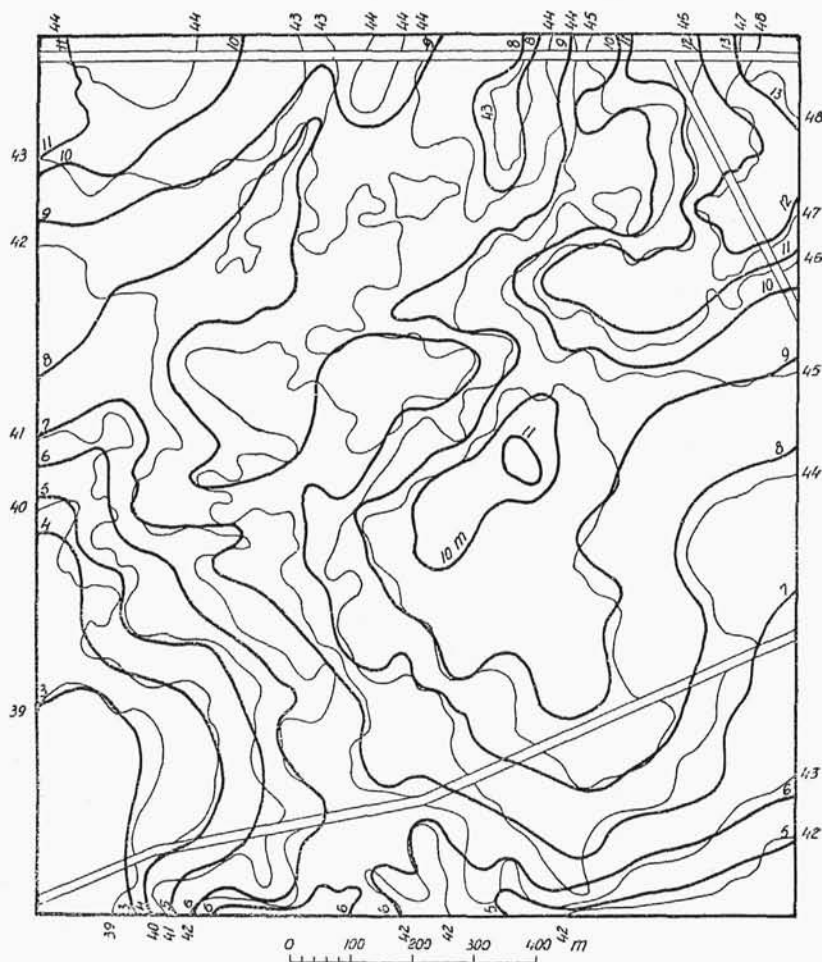
Zmiany przenoszą się w głąb ziemi ze znacznym opóźnieniem, skutkiem tego maleje też amplituda wahań. Wielkość opóźnienia zależy od głębokości pokładu wodonośnego, a przy dużej jego miąższości, od różnicy poziomów terenu i zwierciadła wody gruntowej. Wielkość amplitudy wahań zależy zarówno od głębokości, jak też od wielkości zbiornika, od obu w stosunku odwrotnym, to też zwykle im stałsza temperatura warstw wodonośnych, tem stałsza jest także ich wydajność. Wahania temperatury wód szczelinowych są najczęściej bardzo małe.

Keilhack³⁾ podaje ciekawy przykład dużych różnic w zmienności temperatury wody w głębszej na jednym i tym samym terenie, przedstawiony na rys. 92 i 93. Poziom wód gruntowych leży tam od 3 do 14 m poniżej poziomu terenu, w związku z tem wahania temperatury wody gruntowej wynoszą $6,5^{\circ}$ do $0,75^{\circ}\text{C}$, nadto opóźnienia dla maximum temperatury różnią się w skrajnych wypadkach bardzo znacznie, wynoszą bowiem pod przykrywką 3 metrową 18 dni, zaś pod przykrywką 14 metrową 292 dni. W dużej liczbie sond opóźnienie wynosi około pół roku.

Pomiar temperatury wykonujemy przy pomocy termometru, z podziałką, pozwalającą na odczyt z dokładnością $0,1^{\circ}\text{C}$, umieszczonego w naczyniu, do którego nabieramy wody ze studni, sondy lub źródła. Przy mierzeniu temperatury w ciągu pod ciśnieniem, termometr znajduje się w naczyniu o stałym przepływie wody, którą przepuszczamy tak długo, aż się położenie rtęci ustali.

Dla zbadania maximów i minimów wahań posługujemy się termometrami, podającymi skrajne wartości. Wyniki obserwacji podaje się przeważnie w postaci wartości średnich miesięcznych

i rocznych, oraz ciepłoty najwyższej i najniższej z podaniem dnia obserwacji. Wykres rocznych zmian w temperaturze wody gruntuwej w Poznaniu podano na rys. 72.



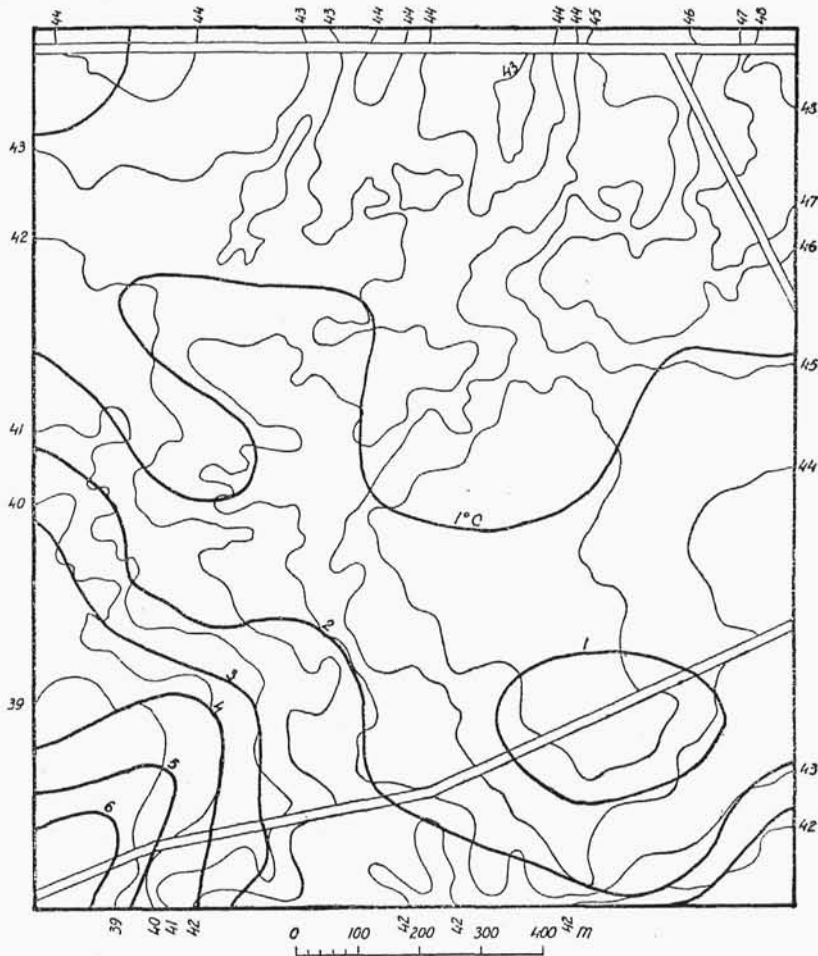
Rys. 92.

Warstwy terenowe (cienkie) i linie równej głębokości poziomu wody gruntuwej pod terenem (grube).

2. Przezroczność i zabarwienie wody.

Przezroczność wody gruntuwej jest najczęściej doskonała, wskutek filtrującego działania drobnoziarnistych pokładów, przez które woda przesiąka. Opalizowanie wód, występujących na powierzchni, jest w związku z zawartością żelaza lub manganu, natomiast

zmącenie, skutkiem niedokładnego przefiltrowania, zdarza się w źródłach zbliżonych charakterem do krasowych. W pierwszym wypadku wody mętnieją przy zetknięciu z powietrzem, skutkiem



Warstwice terenowe i linje równych wahań temperatury wody gruntowej.

tworzenia nierozpuszczalnych połączeń żelaza z tlenem, w drugim mętność zależy od zmian wydajności źródeł i wzrasta w czasie silnych opadów.

Dla pomiaru mętności ustalono w Stanach Zjednoczonych A.P. podział na 100 stopni zmaczenia, przyczem cyfrze 100 odpowiada zmaczenie 1 litra czystej wody 100-u miligramami sproszkowanej krzemionki. Przy takiej mętności błyszczący drucik platynowy

o średnicy 1 mm, umieszczony 100 mm poniżej zwierciadła wody jest niedostrzegalny dla obserwatora, którego oko znajduje się w wysokości 1,20 m nad temże zwierciadłem. Na tej zasadzie zbudowano przyrządy do pomiaru mętności, na których stopień zmętnienia odczytuje się w zależności od odległości drucika platynowego od zwierciadła wody.

Zabarwienie wody gruntowej jest również rzeczą bardzo rzadką, zawdzięcza się ją najczęściej związkom żelaza, pozatem wody wgłębne trzeciorzędu, formacji lignitowej, mają zabarwienie brunatne, pochodzące z wyługowania pokładów humusowych. Pomiar odbywa się przez porównanie koloru badanej wody z kolorem wody destylowanej, umieszczonej pod kolorową pokrywą szklaną, lub też z kolorem wody sztucznie zabarwionej.

3. Smak i zapach wody gruntowej.

Smak wody określa się jako słony, słodki, kwaśny lub gorzki. Ilość potrzebnych cząstek rozpuszczonych w wodzie dla rozpoznania smaku, jest bardzo różna dla różnych składników, po części jest też zależna od wrażliwości badającego.

Tabela 5 podaje ilość cząstek w mgr. na 1 litr wody dla kilku najważniejszych składników, wpływających na smak wody, przy których określenie smaku jest łatwe, trudne lub zupełnie niemożliwe.

TABELA 5.

	Smak łatwy do określenia	Trudny do uchwycenia	Nie do rozpoznania
Azotany	1 200	600	300 mg/l
Sól	600	300	150 „
Gips	205	102	51 „
Chlorek magnezu .	100	60	— „
Chlorek żelazawy .	30	15	7,5 „
Siarczan żel. i miedzi	7	3,5	1,75 „
Kwas siarkowy . .	4	2	1 „
Chlorek wapnia .	0,5	0,2	— „
Siarkowodor . . .	1,15	0,57	0,28 „
Chlor	0,1	0,05	— „

Zapach wody gruntowej pochodzi zwykle z obecności gazów, jak siarkowodoru, węglowodoru itp. Jest on często wtórnem zja-

wiskiem przy innych zanieczyszczeniach, np. zapach siarkowodoru towarzyszy stale wodom zawierającym żelazo.

Najsilniej działa na powonienie siarkowodór, gdyż wrażliwe osobniki odczuwają go przy zawartości zaledwie 0,002 mg w litrze wody. W wodach tuż przy powierzchni zapach jest następstwem gnicia części organicznych.

Na intensywność zapachu ma wpływ temperatura. Nieraz wody bez zapachu, zdradzają go po ogrzaniu do 40—50°C. Zapach niknie po dłuższym zetknięciu wody z powietrzem.

4. Przewodnictwo elektryczne i radioaktywność.

Woda chemicznie czysta jest złym przewodnikiem elektryczności, w miarę mineralizacji przewodnictwo zwiększa się bardzo szybko. Opór przy wodach o bardzo małej ilości składników może dojść do 16 000 *Ohmów* na centymetr odległości. W zwykłych źródłach z pokładów wapiennych wynosi około 2 000 *Ohmów*, w wodach mineralnych znacznie mniej. Opór ten nie jest stały, zmienia się wraz ze zmianą wydajności źródeł, a więc w czasie opadów, w razie zmieszania wody wgłębnej z zanieczyszczoną wodą powierzchniową, tudzież przy zmianach temperatury.

Skały wulkaniczne a po części i osadowe posiadają w różnych ilościach pierwiastki radioaktywne, jak rad, tor, uran. Emanacja radowa, torowa itp. może dostać się do wód gruntowych. Najsilniej radioaktywne są wody szczelinowe ze skał pochodzenia wulkanicznego, słabszą radioaktywność mają wody ze skał osadowych, zupełnie zaś pozbawione jej są wody ze skał wapiennych. Jednostką emanacji radowej jest *Curie*, odpowiadająca emanacji jednego grama radu (dla mikrona — milimicrocurie *mmc**). Radioaktywność źródeł podawana jest częściej w absolutnych jednostkach elektrostatycznych, względnie w t. zw. jednostkach Mache'go**).

W zwykłych, nie głęboko położonych podkładach wodonośnych emanacja radowa jest niesłychanie słaba, zwykle poniżej 0,05 *mmc/min* z litra wody, ponadto zależna jest od opadów i ciśnienia i zmniejsza się im dłużej zaczerpnięta woda pozostaje poza

*) 1 Curie jest to emanacja radu, utrzymująca w powietrzu o normalnej gęstości prąd $2,75 \times 10^6$ elektrostatycznych jednostek ($mmc = 2,75 \text{ el. j.}$).

**) Zawartość *n* jednostek Mache'go oznacza, że emanacja radowa w litrze wody, zmieszanej z powietrzem przy pełnym wykorzystaniu jej promieniowania powoduje jego jonizację, która może utrzymać prąd nasycenia o *n* tysiącznych jednostek elektrostatycznych ($n \times 3,3 \times 10^{-13} \text{ Amper}$)⁵⁸).

swem naturalnem środowiskiem. Jest to następstwem promienionowania i rozpadu emanacji, który postępuje według funkcji wykładniczej czasu. Imbeaux⁸⁾ przytacza badania według których radioaktywność spadła do połowy po 3 dniach a do 1/20 po ośmiu dniach od chwili pobrania próbki.

W wodach mineralnych, zwłaszcza pochodzenia głębinowego, radioaktywność jest znacznie silniejszą i pochodzi albo z samej wody albo też z gazów w niej zawartych. Zwykle jednak wody silnie gazowe wykazują mniejszą radjacyjność. Najsilniejszą emanację radową znaleziono w wodzie kopalnianej, w sztolni „Barbara“ w Joachimstal, obliczono ją na 3182 *mme* na minutę z litra wody. Źródło mineralne w Joachimstal daje 240 *mme*, w Gastein 80,74 *mme* w Baden-Baden 56,15 *mme* itp. Emanacje polskich źródeł radioaktywnych naogół niewielkie podane są w ustępie 10.

5. Zawartość bakteryj.

Woda przeznaczona do spożycia nie może posiadać zarazków chorobotwórczych, musi być zatem zbadana pod względem zawartości bakteryj. Badania bakteriologiczne przeprowadza się nie tylko przed budową urządzeń zaopatrujących osiedla ludzkie w wodę, ale powtarza się je stale w czasie eksploatacji pokładów wodonośnych.

Największą pewnością co do braku bakteryj mamy przy ujęciu wód szczelinowych, artezyjskich i wogólności wód, pochodzących z pokładów głębokich, bakterje bowiem wogóle, w szczególności chorobotwórcze nie mają w większej głębokości warunków istnienia. Niebezpieczne mogą być ujęcia wód w pokładach alluwjalnych i dyluwjalnych, nieoddzielonych od powierzchni wystarczająco grubą warstwą filtrującą, lub też wód, mających styczność z wodami powierzchniowymi.

Ponieważ celem badań jest sprawdzenie czy zachodzi wogóle możliwość dostania się bakteryj chorobotwórczych do danego pokładu wodonośnego, przeto nie poszukuje się różnych rodzajów bakteryj, których nieobecność może być przypadkowa, ale wystarczy sprawdzenie istnienia bakteryj choćby nieszkodliwych, lecz takich, które dają wskazówkę o możliwości dostania się innych, mających swe siedlisko w ciałach ludzkich lub zwierzęcych.

Takim sprawdzianem jest znalezienie *bacterium coli*, towarzyszącego zawsze wydzielinom ludzkim i zwierzęcym. Brak ich w badanej wodzie świadczy, że nie mogą się tam również do-

stać bakterie chorobotwórcze, w szczególności bakterie mające swą siedzibę w przewodach pokarmowych, jak zarazki tyfusu, cholery itp.

Oprócz tego liczy się ogólną ilość bakteryj, znajdujących się w wodzie. W zdrowej wodzie do picia ilość bakteryj jest zwykle mniejsza od 50 w 1 cm^3 a nie powinna przekraczać 100. Celem obliczenia ilości bakteryj hoduje się je na odpowiedniej pożywce (żelatynie), w temperaturze $20\text{--}22^\circ\text{C}$, w ciągu 48 godzin; z każdej poszczególniej bakterji wyrośnie w tym czasie kolonia, widoczna przez lupę. Ilość kolonij łatwo obliczyć przy pomocy szkła z siatką. Dla przeprowadzenia hodowli bierze się zwykle z próbki 0,1 i 0,5 cm^3 wody, zaś wynik podaje się przeliczony na 1 cm^3 . Tą metodą można obliczyć ilość bakteryj nie przewyższającą 10 000 w 1 cm^3 . Jeśli bakteryj jest więcej, wówczas rozpuszcza się wodę z próbki wodą sterylizowaną, w stosunku 1:10 lub nawet 1:100.

Wielka ilość bakteryj, znaleziona w wodzie, nie wyklucza jeszcze jej użycia, jeżeli nie ma w niej *bacterium coli*, nasuwa jednak podejrzenia o istnieniu procesów gnilnych w otoczeniu pokładu wodonośnego. Przekonać się o tem można badając czy w wodzie niema śladów amoniaku lub siarkowodoru.

W tym celu potrzebne są badania chemiczne wody gruntowej, które przeprowadza się bądź to w pełnym zakresie dla wszelkich składników zawartych w wodzie, bądź też w pewnym określonym kierunku dla zbadania przydatności wody do celów spożycia lub do celów przemysłowych.

6. Składniki wody gruntowej i ich pochodzenie.

Woda posiada części stałe zawieszone oraz rozpuszczone, nadto zawiera pewne ilości gazów. Przystępując do badania składu chemicznego wody należy ją przede wszystkim oczyścić z części zawieszonych przez doprowadzenie do osadu i przefiltrowanie. Osad, oraz pozostałości z wymycia filtru, osusza się przez ogrzanie do 110°C , poczem się je waży. Zawartość części stałych oznaczamy w gramach lub miligramach na litr wody, lub w odsetkach wagi.

Jeżeli w pozostałościach są cząstki organiczne, wówczas osad spala się i ponownie waży, różnica wagi przed i po spalaniu da ciężar domieszek organicznych, z którego można obliczyć odsetek w stosunku do ciężaru użytej próbki wody.

Chcąc otrzymać ogólną ilość części stałych rozpuszczonych w wodzie, ogrzewa się wodę oczyszczoną z zawiesin, aż do zupełnego odparowania i waży się pozostałość.

Absolutnie czystej wody w naturze nie spotykamy. Nawet woda opadowa posiada w chwili dostania się na powierzchnię ziemi nieco powietrza i bezwodnika węglowego (do 0,03%) i nieznaczne ilości części stałych z pyłu atmosferycznego. W miarę przesiąkania zwiększa się zarówno ilość gazów jak i części stałych rozpuszczonych w wodzie.

Do bardzo czystych zaliczamy wody gruntowe, które posiadają mniej niż 0,1 g składników stałych na litr wody, najmniej — ilość części stałych, jaką w wodzie gruntowej znaleziono, wynosiła 0,0078 g/l. Wody posiadające więcej składników stałych niż 1 g na litr nazywamy mineralnemi.

Jakość składników, znajdujących się w wodzie gruntowej, zależy od jakości pokładów, przez które woda przechodzi i od zawartych w nich związków rozpuszczalnych. Ilość zależy od łatwości chłonięcia danego związku przez wodę, od czasu w ciągu którego woda pozostaje w styczności z danym pokładem, od temperatury wody, ciśnienia, a bardzo często od obecności innych składników, umożliwiających reakcje chemiczne, jak np. bezwodnika węglowego.

Z wyjątkiem niektórych rzadko spotykanych składników, które znajdujemy w wodach mineralnych pochodzenia głębinowego, wszystkie inne otrzymuje woda w swojej wędrówce podziemnej z otoczenia, przesiąkając przez pokłady zawierające związki rozpuszczalne i rozpuszczając je w postaci roztworu lub też w następstwie reakcji chemicznych. Dla rozpuszczenia składników w ilości spotykanej w zwykłych wodach gruntowych wystarcza bezwodnik węglowy, który woda znajduje w wierzchnich, zhumusowanych warstwach ziemi. Powietrze w strefie nawietrzonej w zależności od stanu zhumusowania, zawiera 25 do 90 razy więcej bezwodnika niż powietrze atmosferyczne, to też wody gruntowe już w niewielkiej głębokości są nim silnie nasycone. (W Monachjum np. znaleziono na głębokości 4 m — 1,83% bezwodnika węglowego). Znaczniejsze ilości bezwodnika może znaleźć woda w większych głębokościach bądź to pochodzenia głębinowego, bądź też jako pozostałość procesów organicznych. Ilość bezwodnika jaką woda jest w stanie absorbować, zależy od temperatury i ciśnienia i wynosi np. przy normalnem ciśnieniu i temperaturze 10°C — 1,185 m³ gazu na 1 m³ wody, przy temperaturze 20°C spada ta ilość do 0,9 m³. Ponieważ jednak ilość absorbowanego gazu wzrasta z ciśnieniem, przeto w większych głębokościach, mimo wyższej temperatury, może woda posiadać bardzo duże jego ilości. Z innych gazów, spotykanych w wodach gruntowych, wymienić należy siar-

kwodór, występujący w płytkich pokładach w następstwie procesów gnicia cząstek organicznych, lub też przy związkach żelaza, oraz w pokładach głębszych węglowodory.

Z pośród składników stałych, najczęstszym, spotykanym w każdej wodzie gruntowej choćby w niewielkich ilościach, jest węglan wapnia, pochodzący z tak bardzo rozpowszechnionych w wierzchniej skorupie ziemskiej pokładów skał wapiennych, piaszczowców z lepiszczem wapiennym, margli itp. Do rozpuszczania się węglanu wapnia przyczynia się w znacznym stopniu bezwodnik węglowy, tworząc kwaśne węglany wapnia. Podczas gdy czysta woda o temperaturze 15°C jest w stanie rozpuścić $0,0316\text{ g}$ węglanu wapnia na litr, to w obecności np. $0,2\%$ bezwodnika węglowego ilość ta wzrasta do 1-go grama.

Obok węglanu wapnia pojawia się często w wodzie węglan magnezu, otrzymywany wówczas skoro woda przechodzi przez pokłady dolomitów. Wprawdzie dolomity znajdują się w naturze znacznie rzadziej i w mniejszej ilości niż wapienie, ale natomiast połączenia magnezowe należą do bardzo łatwo rozpuszczalnych. Ta sama ilość bezwodnika węglowego, umożliwia rozpuszczenie węglanu magnezu w ilości o 30% większej od ilości węglanu wapnia, zaś chlorki magnezu potrzebują do rozpuszczenia mniej wody, niż wynosi ich własna objętość.

Do częstych składników wód gruntowych należą łatwo rozpuszczalne sole, a przede wszystkim sól kuchenna. Ilość soli, potrzebnej do pełnego nasycenia, zależy od temperatury i wzrasta z 327 gramów na litr przy $+15^{\circ}\text{C}$ do 403 g przy $+109,7^{\circ}\text{C}$. Pełny roztwór chlorku potasu jest jeszcze silniejszy, bo wynosi 510 g na litr przy $+70^{\circ}\text{C}$. Składniki te znajduje woda w pokładach czystych soli w postaci krystalicznej, w łożach solnych, w solankach itp. Są to osady dawnych mórz, a stąd można znaleźć obok podstawowych soli sodowych i potasowych, także sole bromowe, jodowe itp.

Do łatwo rozpuszczalnych związków, choć rzadziej spotykanych, należą siarczany, jak sól Glauberska lub sól gorzka. Wpływ temperatury jest tu bardzo znaczny. Dla soli Glauberskiej pełne nasycenie wynosi przy 0°C 50 gramów na litr, zaś przy $32,7^{\circ}\text{C}$ dochodzi do 506 g , poczem spada do 426 g przy 100°C . Pełny roztwór soli gorzkiej wzrasta z 269 g na litr przy 0°C , do 738 gramów przy 100°C .

Znacznie mniejszą rozpuszczalność wykazuje siarczan wapnia (gips), bo 2 g na litr w czystej wodzie, zaś w obecności soli kuchennej $2,5$ do $8,2\text{ gramów}$. Ze styczności z gipsem pochodzi najczęściej zawartość siarkowodoru w niektórych wodach mineralnych.

Do bardzo częstych składników, należą związki żelaza. Obecność bezwodnika węglowego umożliwia wytworzenie się rozpuszczalnych związków. Przy ilości bezwodnika 0,2% rozpuści się 0,7 grama węglanu żelaza w litrze wody. Pochodzenie żelaza w wodzie może być bardzo rozmaite, w największej jednak ilości wypadków, zawartość żelaza w pokładach alluwialnych i dyluwialnych jest związana z sąsiedztwem ilów, bogatych w związki żelaza. W zależności od czasu, w ciągu którego woda znajduje się w styczności z temi pokładami i od ilości bezwodnika węglowego, obficie występującego w wierzchnich warstwach, zależy ilość żelaza rozpuszczonego w wodzie.

R. Rosłoński¹⁶⁾ znalazł, iż w Prałkowcach pod Przemyślem woda Sanu wchodzi w żwiry dyluwialne na górze zakola Sanu, płynie pod ziemią z prędkością około 0,66 m na dobę, w spadzie 0,70‰ i przebywa przestrzeń zakola 2000 m w ciągu około 8 lat. Żwiry dyluwialne spoczywają tu na ilach zastoiskowych, posiadających około 2—3% żelaza (45—70 kg żelaza w 1 m³ ilu), na skutek czego wody gruntowe w łóżysku Sanu z biegiem czasu i w miarę zrobionej drogi silnie się zażelaziają. Studnie założone wzdłuż drogi wody i w kierunku jej ruchu wykazują następujące wzrastające zawartości *FeO* w mg w litrze wody:

Studnia Nr.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
<i>FeO</i> mg/l	0,51	1,0	0,9	1,94	3,53	6,42	4,20	6,43	4,31	14,38	17,60
Studnia Nr.	14	15									
<i>FeO</i> mg/l	12,94	16,50 do 22,20									

Dolne warstwy wody, płynącej w bezpośrednim sąsiedztwie ilów, nasycają się silniej żelazem niż górne. Próby brane w studni Nr. 8 w głębokości 0,5 m niżej zw. depresji wykazały 1,44 mg *FeO* w litrze, w tejże samej studni próba wzięta w głębokości 6,50 wykazała zawartość 7,92 mg żelaza. Przenikanie żelaza w górę warstwy płynącej wody następuje zatem bardzo wolno.

Pozatem czerpie woda żelazo z niektórych krzemianów oraz ze skał wulkanicznych.

Przy związkach żelazowych występują bardzo często związki manganowe. Inne pokłady, z którymi woda jest w styczności w czasie swej drogi podziemnej, nie wykazują tej łatwości nasykania wody swemi składnikami.

Porządkując pokłady, najczęściej spotykane w głębi ziemi, według ich odporności na działanie wody, otrzymujemy następującą kolejność, rozpoczynając od skał, wykazujących odporność najmniejszą:

1. Sól kamienna.
2. Gips.
3. Wapień.

4. Dolomit.
5. Piaski, żwiry, piaskowce z lepiszczem wapiennem lub marglowem, margle.
6. Skały wybuchowe młodsze pochodzenia.
7. Iły i łupki iłowe.
8. Granity, gnejsy i inne skały krystaliczne.
9. Kwarcyty i piaskowce z lepiszczem kwarcytowym.

W ciągu krążenia pod ziemią, woda nie tylko nasycza się składnikami stałymi i gazowymi, ale także traci je, bądź to pod wpływem oziębienia, bądź dzięki filtrującym właściwościom drobnoziarnistych pokładów, bądź wreszcie skutkiem zetknięcia się z powietrzem. Zewnętrznym śladem są wypełnienia szczelin np. kalcylem, osady martwicy wapniowej, krzemionki lub siarki w grotach, pieczarach, szczelinach i przy źródłach, zabarwienia dna źródeł i odpływów wodorotlenkami żelaza itp.

7. Twardość wody gruntowej.

Stopień zmineralizowania wody gruntowej nazywamy twardością wody.

Ponieważ najbardziej rozpowszechnionym składnikiem wody jest węglan wapnia, a zawartość jego w dużej mierze wpływa na jakość wody i możliwość jej użycia do niektórych celów przemysłowych, przeto jako miernik twardości przyjęto ilość rozpuszczonych połączeń wapniowych w jednostce objętości wody.

Twardość wody oznaczamy stopniami, wykazują one bowiem stopień zmineralizowania wody. Jednemu stopniowi twardości odpowiada określona ilość węglanu wapnia (CaCO_3) względnie tlenku wapnia (CaO) na jednostkę objętości wody. Zarówno podział na stopnie, jak i definicja stopnia są różne w różnych państwach.

Francuska metoda badania przyjmuje jako określenie jednego stopnia twardości, stosunek wagi między ilością węglanu wapnia a wodą niespełna 1:100 000, dokładnie 10,3 miligramów CaCO_3 na litr wody. Ten sam stosunek przyjęto w Niemczech, ale dla tlenku wapnia (CaO).

W Anglii określa się twardość stosunkiem 1:70 000 dla węglanu wapnia, względnie 1:125 000 dla tlenku wapnia.

Stąd wzajemny stosunek stopni twardości:

100° francuskich = 56° niemieckim = 70° angielskim

100° angielskich = 80° „ = 143° francuskim

100° niemieckich = 125° angielskim = 178 $\frac{1}{2}$ ° „

Wody bardzo miękie posiadają zwykle wolny lub napół-związany bezwodnik węglowy, który w obecności wody chętnie się łączy z wapniem i metalami. Stąd pochodzi agresywne działanie wody miękiej na metale, na zaprawy, kamienie wapienne i beton. Tą własnością odznaczają się przedewszystkiem wody w pobliżu powierzchni ziemi. Nadmiar części stałych może być powodem tworzenia osadów, bądź to przy oziębieniu i zetknięciu z powietrzem, bądź jeszcze więcej przy odparowaniu. Stąd wody tego rodzaju nie nadają się w surowej postaci do zasilania kotłów parowych.

Twardość wody odróżniamy stałą i czasową. Czasową stanowią węglany ponieważ w miarę wzrostu temperatury woda tracąc bezwodnik węglowy osadza nieprzepuszczalne związki wapnia. Trwałą twardość zawdzięcza woda siarczanom, ponieważ utrzymują się one aż do doprowadzenia wody do stanu wrzenia.

Twardość wody można zmienić przez dodanie odpowiednich odczynników. Wody zbyt twarde zmiękczaemy przez dodanie mleka wapiennego (zawiesiny wapna gaszonego $Ca(OH_2)$), wody zbyt miękie, posiadające wolny bezwodnik węglowy mogą otrzymać wyższy stopień twardości przez dodanie węglanów wapnia.

Badanie twardości wody odbywa się przez dodawanie roztworu mydła, które jest solą sodową lub potasową niektórych kwasów organicznych. Gdy do twardej wody dodamy po kropli roztworu mydła, tworzy się osad soli wapniowej kwasu stearynowego, a woda się nie pieni. Dopiero gdy strącimy całą zawartość soli wapniowych lub magnezowych, wówczas mały nadmiar roztworu mydła wystarcza aby dać po skłóceniu wybitną i trwałą pianę.

Dla niemieckich stopni twardości potrzeba roztworu mydła do związania CaO w 100 cm^3 wody:

TABELA 6.

na 1°	5,4 cm^3	na 7°	28,0 cm^3
„ 2°	9,4 „	„ 8°	31,5 „
„ 3°	13,2 „	„ 9°	35,0 „
„ 4°	17,0 „	„ 10°	38,4 „
„ 5°	20,8 „	„ 11°	41,8 „
„ 6°	24,4 „	„ 12°	45,0 „

O ile w wodzie znajdują się większe ilości węglanów lub siarczanów, wówczas należy wodę naturalną rozcieńczyć, dodając wody destylowanej.

Próbki wody, przeznaczonej do badania pobiera się przy po-

mocy odpowiednich naczyń, umożliwiających czerpanie w określonej głębokości ze studni, sond, otworów wiertniczych lub źródeł.



Rys. 94.

Przyrząd do pobierania próbek wody gruntowej Spitt'a-Imhoff'a.

Keilhack podaje aparat przenośny Spitt'a-Imhoff'a, który umożliwia równoczesny pobór trzech próbek dla badania chemicznego, bakteriologicznego i zawartości gazu, a używany przez pruski instytut badawczy dla wodociągów i kanalizacji (rys. 94). Skutkiem działania wyporu, zanurzającego się naczynia *e*, zwalnia się ciężar *d* zawieszony na lince *c* i upadając tłucze szyjkę próbówki *b*, w którą wchodzi woda przeznaczona do badań bakteriologicznych. Do naczyń *a* wchodzi woda przez szyjki, a następnie przewodem — przez *g*, *f*, *h*, do naczynia *e*, z którego powietrze uchodzi rurką *i*.

Dla pobrania jednej próbki z sond wiertniczych, służy mały aparacik, w którym ciężar, opuszczony ręcznie, przesuwają się po łańcuszku, na którym aparat jest zawieszony i tłucze szyjkę próbówki, umożliwiając napełnienie jej wodą.

8. Inne badania chemiczne.

Obok określenia stopnia twardości, potrzebne mogą być badania chemiczne celem oznaczenia zawartości połączeń chlorowych, żelazowych i siarkowych.

Z chlorów najczęstszym składnikiem jest sól kuchenna, badania jednak wykonuje się zwykle tylko odnośnie do zawartości chloru w wodzie, bez względu na to, w jakim związku on występuje. Chlor strąca się przez dodanie do wody azotanu srebra, ze srebrem bowiem tworzy on nierozpuszczalny biały proszek. Ażeby jednak dokładnie uchwycić chwilę zupełnego strącenia chlorku srebra, zabarwia się przedtem wodę dwuchromianem potasu, który z azotanem srebra utworzy nierozpuszczalny brunatny osad. W ten sposób zmiana zabarwienia osadu, określa chwilę ukończenia reakcji z chlorem, a tem samem może być dokładnie oznaczona ilość azotanu srebra, jaka potrzebną była do strącenia chloru w określonej ilości wody.