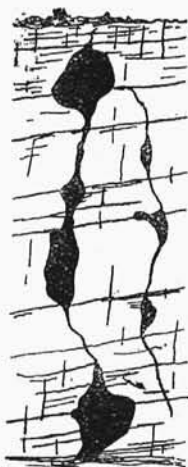
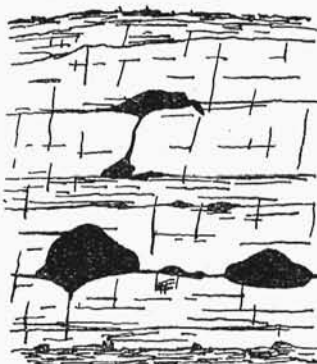


6. Wody Krasowe.

Zjawiska krasowe powstają, jeżeli w materiale łatwym do rozmycia przez wodę, wytworzą się większe wolne przestrzenie w postaci chodników, szybów, grot, jaskiń, pieczar, rozpadlin, w których woda może zupełnie swobodnie cyrkulować, ulegając tym samym prawidłom ruchu, jakie rządzą ruchem wód na powierzchni ziemi w korytach otwartych naturalnych i sztucznych, oraz w przewodach pod ciśnieniem. Według Keilhack'a, początkiem wytwarzania się tego rodzaju próżni, są istniejące w pokładach wapiennych szczeliny lub spękania poziome i pionowe. Na rys. 18 *a* i *b* przedstawiony jest schemat tworzenia się tego rodzaju próżni w obu wypadkach.



Rys. 18 *a*.



Rys. 18 *b*.

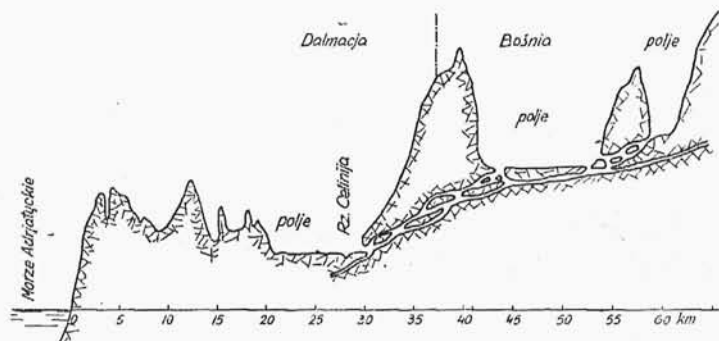
Tworzenie się zjawisk krasowych.

Ażeby mogły wytworzyć się zjawiska krasowe, próżnie te nie mogą być odosobnione, ale muszą stanowić wspólną sieć. Do sieci tej dostaje się woda z powierzchni ziemi bezpośrednio ze ścieków, ginąc w przewodach podziemnych, mających styczność z rzeką, albo też zbiera się w zakłębieniach terenu uszczelnionych osadami czerwonej gliny (*terra rossa*) i nie posiadających powierzchniowego odpływu z opadów, aby następnie przy pomocy pionowych studzien („ponory“ w Jugosławji, „avens“ we Francji) dostać się do podziemnej sieci wód. W tym ostatnim wypadku zachodzi też zjawisko odwrotne, a mianowicie w razie wypełnienia podziemnej sieci, woda wznosi się pionowymi szybami i zalewa

zakłębienia terenu (większe — polja, małe — doliny) w postaci czasowych jezior. Okres istnienia jezior łączy się ściśle ze stosunkami opadowymi danej okolicy.

Ruch wody pod ziemią odbywa się w najrozmaitszy sposób. Obok rzek podziemnych z kaskadami, bystrzami i naprzemian spokojnym prądem, spotykamy zbiorniki wód prawie stojących, coś nakształt jezior podziemnych, jak również przewody wypełnione wodą pod ciśnieniem.

Wody krasowe mogą po przebyciu swej drogi podziemnej wystąpić napowrót na powierzchnię ziemi (Dunajec w dolinie Kościeliskiej pod Pisaną. Poik w grotach Postojmy, występuje następnie jako Lublana) albo też znaleźć swe ujście bezpośrednio do morza pod jego zwierciadłem (rzeka Cetynja w Jugosławji rys. 19).



Rys. 19.

Schemat profilu podłużnego rzeki Cetynji.

Wody krasowe są również zasilane wodą opadową, przesiekającą bardzo łatwo wgląb za pośrednictwem drobnych szczelin, których tworzenie się jest ułatwione, wobec braku roślinności, istniejącego zwykle na tego rodzaju górotworach. Bezpośrednia bowiem łączność wód powierzchniowych z podziemnymi i łatwość jej przenikania przez przewody o dużych wymiarach, powoduje bardzo niski poziom wód gruntowych, a stąd nieurodzaj tych okolic mimo wielkich nieraz opadów. Tak np. Tryjest notuje opad roczny 1 800 mm, m-te Maggiore 3 000 mm, Krivoćie koło Cattaro 4 360 mm, natomiast poziom wód gruntowych znaleziono na Istrii w grocie della Marna dopiero na głębokości 450 m—studnia Bertarelli i 518 m—studnia Verco-Frioul.

W ostatnich latach rozpoczęto na większą skalę badania wód krasowych również poza Jugosławją. Najgłębszy poziom 637 m

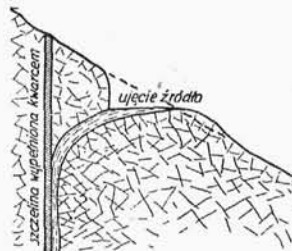
w pionowej studni znaleziono w okolicy Verony w „Spluga della Preta“, na wysokości 1 440 m nad poziomem morza *). W pokładach gipsu zjawiska krasowe nie występują tak wyraźnie, ponieważ gips nie występuje w tak rozległych złożach jak wapień. Zwykle następstwem wyługowania gipsu są tylko zapadnięcia terenu w postaci lejków (Podole).

7. Źródła.

Źródłami w najobszerniejszym tego słowa znaczeniu nazywamy wszelkie naturalne wystąpienia wód wgłębnych na powierzchni ziemi.

Źródła można dzielić podług ich pochodzenia, sposobu występowania na powierzchnię lub według jakości wody.

Pierwszy sposób podziału przyjął Imbeaux⁸⁾ dzieląc wszystkie źródła na 3 kategorie. Do pierwszej zaliczył źródła szczelinowe (sources filoniennes ou diaclasiennes), w których woda zwykle obfita w składniki mineralne wznosi się pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego lub też par i gazów. Bardzo często woda w tego rodzaju źródłach jest pochodzenia głębokiego. Najprostszy przykład powstania takich źródeł podaje Imbeaux dla źródła d'Évaux, gdzie woda (rys. 20) wytworzyła sobie drogę wzdłuż dawnej szczeliny w granicie, wypełnionej obecnie kwarcem. Wytworzeniu się źródeł szczelinowych sprzyjają uskoki jak np. w źródłach w Vichy, przedstawionych na rys. 21.



Rys. 20.

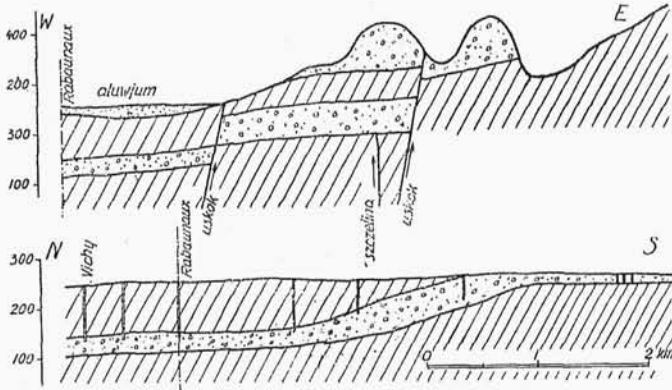
Źródło szczelinowe
w d'Évaux

Do drugiej kategorii t. zw. źródeł spływających (sources de déversement) zaliczył Imbeaux wszelkie źródła otrzymujące wodę przesiąkającą bezpośrednio z opadów atmosferycznych. Woda ta pod wpływem siły ciężkości przedostaje się na zewnątrz bądź to szczelinami w skałach, bądź też porami w pokładach luźnych. Do tego typu należą przede wszystkim źródła pojawiające się na stokach (rys. 22).

Do ostatniej kategorii należą źródła w dolinach, pochodzące z wód gruntowych (sources d'émergences), które powstają wów-

*) Martel¹³⁾.

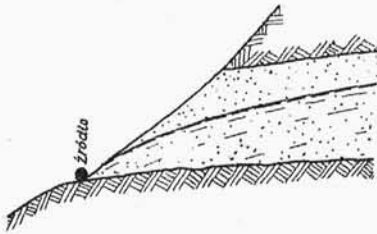
czas, jeśli wierzchni horyzont wód gruntowych (nappe phréatique) podniesie się do poziomu terenu. Miejscem ich wystąpienia jest przecięcie się warstw terenowych z warstwicami wody gruntowej (rys. 23).



Rys. 21.

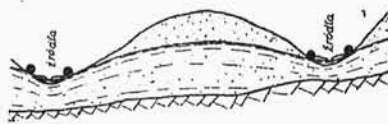
Źródła szczelinowe i uskokowe w Vichy.

Podział między dwiema ostatnimi kategorjami nie da się ściśle przeprowadzić, źródła bowiem występujące u stóp stoku, można zaliczyć zarówno do spływających jak i wypływających. To też Keilhack rozróżnia źródła tylko według kierunku ruchu wody, dzieląc je na źródła z wodą podnoszącą się (aufsteigende Quellen), równoznaczne właściwie z pierwszą kategorją podaną



Rys. 22.

Źródło spływające.



Rys. 23.

Źródło wypływające.

przez Imbeaux i źródła z wodą spływającą (absteigende Quellen), obejmujące dwie dalsze kategorje poprzedniego podziału. Zupełnie inny sposób podziału przyjął Heim, dzieląc źródła na rumowiskowe (Schuttquellen) i skalne (Felsquellen) i Gärtner¹⁴⁾ który rozróżnia źródła wysoko położone (Hochquellen), źródła w dolinach (Tiefquellen) i wtórne np. krasowe (sekundäre Quel-

len). Bardzo szczegółowy podział źródeł proponuje Kirk Bryan¹⁵⁾ przyjmując za podstawę zarówno pochodzenie wody, jak układ warstw, rodzaj przewodnika, topografię terenu itp., otrzymuje on w ten sposób 30 rodzajów występowania wód wgłębnych na powierzchni ziemi.

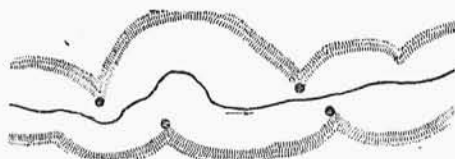
Jakkolwiek tak daleko posunięta klasyfikacja nie ma praktycznego znaczenia, to jednak pożądane jest nieco szczegółowsze omówienie różnych typów źródeł, zwłaszcza, że wyjaśni to zarazem różne przyczyny występowania wody na powierzchnię.

Przy źródłach podnoszących się, obok pochodzenia i jakości wody, najważniejszym momentem dla hydrologa jest przyczyna ruchu wody w kierunku przeciwnym sile ciężkości. Pod tym względem odróżniamy źródła artezyjskie, powstające wówczas gdy przeciętą zostanie terenem szczelina, w której woda znajduje się pod ciśnieniem hydrostatycznym, od źródeł, w których motorem ruchu jest para wodna lub gazy jak kwas węglowy, węglowodory itp. Para wodna przegrzana o wysokiej temperaturze, skutkiem ciśnień panujących w głębi ziemi, mieszając się z wodą wgłębną ogrzewa ją nieraz do punktu wrzenia i jako mieszanina pary z wodą, o znacznie zmniejszonym ciężarze gatunkowym, wydostaje się na powierzchnię. Para może być pochodzenia głębinowego, albo też powstać skutkiem silnego ogrzania wód wgłębnych, w wielkich głębokościach. Wytrysk będzie tem silniejszy im bardziej zwężony będzie kanał wypływowy w stosunku do szczeliny przewodzącej, np. skutkiem wydzielania się cząstek mineralnych z wody. W odpowiednich warunkach przy zmiennych przekrojach kanału, mogą wytwarzać się chwilowo większe ilości pary już w samym przewodzie i te powodują nagłe wyrzucanie na powierzchnię dużej masy wody. Obniżenie temperatury, jaka następuje skutkiem ponownego wiania się do przewodu wody wyrzucanej, wstrzymuje dalszy wypływ. Powstają w ten sposób perjodyczne wylewy wody, a źródła tego rodzaju nazywamy wybuchowymi. Przykład tego rodzaju źródeł stanowią gejzery na Islandji lub w parku Yellowstone w Stanach Zjednoczonych.

Obok pary wodnej mogą spowodować wytworzenie się źródła wybuchowego większe ilości kwasu węglowego, lub gazów węglowodorowych zawartych w wodzie (niektóre źródła w Krynicy). Zjawiska wybuchowe wystąpić mogą także przy czasowem zatkanie przewodów piaskiem czy namułem w zwykłych źródłach artezyjskich (źródło Paraszka w okolicy Lwowa).

Do przyczyn powodujących wytworzenie się źródeł spływających należy zaliczyć:

1. Zmniejszenie przepuszczalności lub rozmiarów przewodnika, prowadzącego wody wgłębne. Zmniejszenie przepuszczalności może być następstwem zmniejszenia się spadku warstwy podtrzymującej wodę. Tą drogą powstają liczne drobne źródelka, u stóp stoków, w okolicach górskich i podgórskich. Zmniejszenie pola przekroju warstw przewodzących wodę, skutkiem zwężenia doliny, może również spowodować utworzenie się źródeł w punktach nagłej zmiany przekroju, jako przykład tego rodzaju źródeł podaje Keilhack dolinę rzeki Töss w pobliżu Zurychu (rys. 24). Ten



Rys. 24.

Wpływ kształtu doliny na występowanie źródeł.

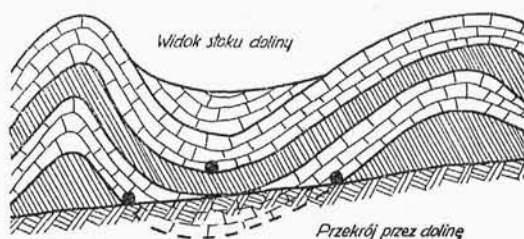
sam skutek pociągnie za sobą zmianę grubości lub układu ziarn, przy niezmienionem polu przekroju. Zmniejszenie prędkości, poruszających się cząstek, spiętrza wodę i zmusza ją do powiększenia pola przekroju. Jeśli warstwa wodonośna znajduje się niedaleko powierzchni terenu, wówczas drobnymi kanalikami przedostaje się woda na powierzchnię, tworząc bagna, a nierzadko i torfowiska. Zwłaszcza częste są tego rodzaju wystąpienia wody gruntowej na wielkich stożkach usypowych, w zwałach rumoszków, poniżej moren czołowych lodowców dawnych i obecnych (Wyżyna Bawarska, Islandja). Utwory tego rodzaju mają materiał najdrobniejszy u spodu, a coraz grubszy ku górze, stąd przepuszczalność pokładów zmniejsza się w dół, a równocześnie zmniejsza się zwykle i miąższość pokładów. Dla jednego i tego samego rumowiska, w tym samym łańcuchu górskim, odległość występowania źródeł od stoków gór utrzymuje się ta sama.

2. Drugą przyczyną, powodującą wystąpienie wody na zewnątrz, jest przecięcie powierzchnią stoku warstw lub szczelin przewodzących wodę. Należą tu źródła warstwowe, stokowe, źródła na stożkach usypowych i niektóre szczelinowe. W ich rozmieszczeniu i wydajności znajdujemy bardzo wielkie różnice, zależą one bowiem zarówno od właściwości przewodnika jak i od sposobu przecięcia się warstw wodonośnych z terenem. Najslabsze źródła występują przy poziomym układzie warstw i przy prostolinijnym przebiegu doliny. Jeżeli warstwice terenowe stoku przedstawiają

linię falistą, to najsilniejsze źródła pojawiają się we wklęsłościach stoku, najsłabsze w wybrzuszeniach.

W pofałdowanych warstwach utworzenie źródeł jest niemożliwe, jeżeli dolina erozyjna przebiegać będzie siodłem. Przy dolinie wciętej w bok fałdu, powstaną źródła jednostronne, zaś przy utworzeniu się doliny w łęku otrzymamy źródła po obu brzegach dna doliny.

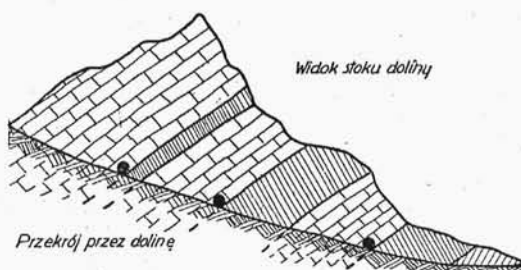
Jeśli dolina erozyjna przecina fałdy przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych warstw, to źródła, występujące na stoku, utworzą się w łękach (rys. 25), natomiast źródła na dnie doliny po-



Rys. 25.

Źródła w stoku doliny.

wstaną w punktach przecięcia profilu podłużnego doliny z linią upadu warstw podtrzymujących wodę (rys. 26).



Rys. 26.

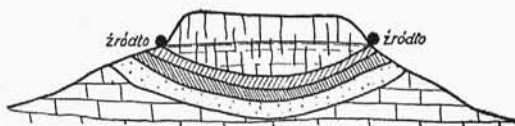
Źródła w dnie doliny.

Źródła warstwowe należą do najczęstszych zjawisk w okolicach górskich, lub w dolinach erozyjnych (jarach), wyżłobionych w płaskowzgórzach. Wydajność ich jest najczęściej niewielka, tem mniejsza, im większa ilość źródeł wypływa z tego samego pokładu wodonośnego. Wydajność ta jest również bardzo zmienna, zależy bowiem od opadów, temperatury, topnienia śniegów itp.

Źródła spływające szczelinowe powstają wówczas, jeśli stoki doliny erozyjnej odsłonią szczeliny przewodzące wodę, najczęściej w pokładach wapienia (niektóre źródła w Tatrach, w Górach Kieleckich, w Roztoczu Lwowsko-Rawskim itp.).

Źródła stokowo-rumowiskowe powstają skutkiem przecięcia stożków usypowych doliną erozyjną.

3. Większą jednostajnością odpływu odznaczają się źródła posiadające zbiornik wody gruntowej. Do tego typu należą źródła przelewowe, które powstają wówczas, skoro pokład nieprzepuszczalny tworzy nieckę, w której gromadzi się woda i przelewa się przez krawędź niecki po całkowitem jej wypełnieniu (rys. 27).

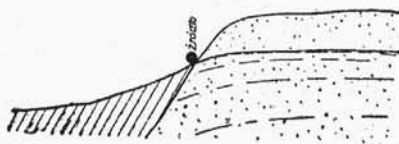


Rys. 27.

Źródła przelewowe.

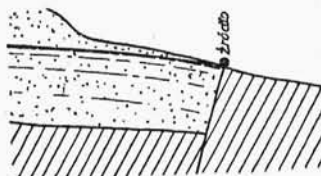
Zbiorniki takie działają podobnie jak jezioro na powierzchni ziemi ujednastniające odpływ. Często występują tego rodzaju źródła w obszarze moren polodowcowych, złożonych z warstw o różnej przepuszczalności i zwykle silnie pofałdowanych.

Podobne do przelewowych są źródła zatorowe, powstające wówczas kiedy warstwy nieprzepuszczalne zamkną wylot warstw wodonośnych, piętrząc wodę gruntową i zmuszając ją do wystąpienia na zewnątrz w postaci źródła (rys. 28). Odmianą źródeł zatorowych są źródła uskokowe, które powstają na linii uskoku pokładów geologicznych, powodujących zamknięcie drogi dla wody poruszającej się warstwą wodonośną; zwykle wchodzi ona w szczelinę utworzoną uskokiem i na linii uskoku występuje na powierzchnię ziemi. Warunkiem powstania źródeł uskokowych, jest takie przesunięcie pokładów, ażeby na przedłużeniu pokładu wodonośnego znalazł się pokład nieprzepuszczalny (rys. 29).



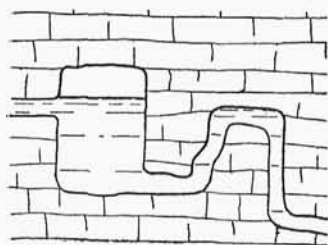
Rys. 28.

Źródło zatorowe.



Rys. 29.

Źródło uskokowe.



Rys. 30.

Źródło o wypływie przerywanym.

W utworach krasowych spotykamy się ze zjawiskiem źródeł perjdycznych. Powstają one wówczas skoro w ten czy inny sposób wytworzony zbiornik wody gruntowej otrzyma połączenie z powierzchnią ziemi przy pomocy szczeliny tworzącej lewar. Z chwilą podniesienia się poziomu wody w zbiorniku do wysokości wierzchołka lewara, zaczyna woda wypływać i stan ten trwa aż do chwili wypróżnienia zbiornika do poziomu wlotu lewara. Schemat źródła perjdycznego przedstawia rys. 30.

8. Bezpośredni spływ do morza.

Warstwy przewodzące wodę mogą dojść do koryta wód płynących, lub brzegów i dna morza i jezior, poniżej poziomu ich zwierciadła wody i zasilać je bezpośrednio w wodę. W tym wypadku woda zasilaająca musi znajdować się pod ciśnieniem większym niż ciśnienie hydrostatyczne wody powierzchniowej

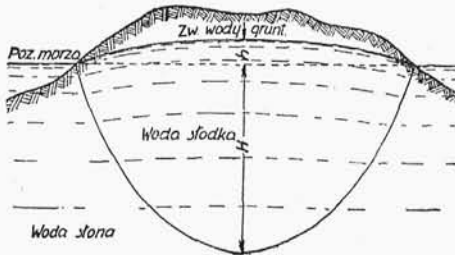
Przy spływaniu wód wgłębnych do morza zwrócić należy uwagę na ułożenie się granicy między wodą słodką i słoną, ma to bowiem znaczenie przy poszukiwaniach wody dla celów wodociągowych. Tereny nadbrzeżne, złożone z materiałów przepuszczalnych np. utwory wydmowe, mają swój własny obszar zasilania opadami atmosferycznymi. Teren ten jest jednak równocześnie przesiąknięty wodą morską, układającą się do średniego poziomu morza. Woda słodka, przesiąkająca w głąb, jako lżejsza, utworzy wierzchnią warstwę, której zwierciadło ułoży się w spadku, umożliwiającym spływ wody wgłębnej do morza. Ponieważ jednak równowaga hydrostatyczna wymaga wszędzie jednakowego ciśnienia, zatem w zależności od wzniesienia h poziomu wody słodkiej ponad poziom morza, musi obniżyć się poziom wód słonych o H , tak aby zadość uczynić równaniu:

$(H+h)\gamma_0 = H\gamma_m$ gdzie γ_0 i γ_m są to ciężary gatunkowe wody słodkiej i słonej.

$$\text{Stąd } H(\gamma_m - \gamma_0) = h\gamma_0 \text{ względnie } H = \frac{h\gamma_0}{\gamma_m - \gamma_0} = \frac{h}{\gamma_m - 1} \quad (1)$$

Najwyraźniej występuje to zjawisko na wyspach piaszczystych, tak np. Herzberg podaje dla Norderney podnoszenie się zwier-

ciadła wód wgłębnych do 1,40 m nad poziomem morza. Dla $\gamma_0 = 1,0$ i $\gamma_m = 1,027$, $H = \frac{1,4}{0,027} = 51,85 \text{ m}$, co dość dobrze zgadza się z przeprowadzonymi w naturze badaniami (około 53 m) (rys. 31).

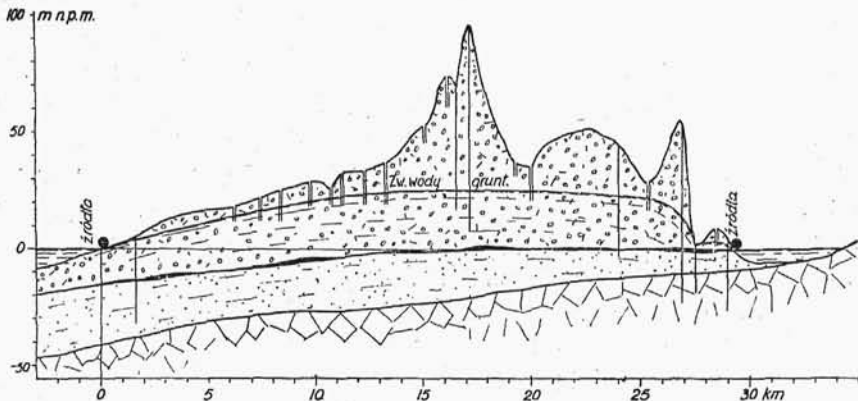


Rys. 31.

Zasięg wody słodkiej przy brzegu morza.

Pewną niedokładność spowodować musi zmienne poziomy morza, zmienne ilości przesiakających i odpływających wód wgłębnych, oraz zjawisko dyfuzji. Nad morzem Bałtykiem, wobec mniejszego ciężaru gatunkowego wody słonej, głębokości zasięgu wód słodkich będą jeszcze większe (Hel).

Utworzoną w ten sposób równowagę, bardzo łatwo zachwiać pompowaniem, depresja bowiem, obniżająca poziom wód słodkich, podnosi równocześnie poziom wód słonych, zmniejszając głębokość zasięgu wód gruntowych. Bardzo szczegółowe badania przeprowadzone w r. 1903 na wyspie Long Island dla zaopatrzenia w wodę Nowego Jorku, w istniejących 1045 studniach i nowych 333 wierceniach (rys. 32) wykazały, że zawartość chloru malała w mia-



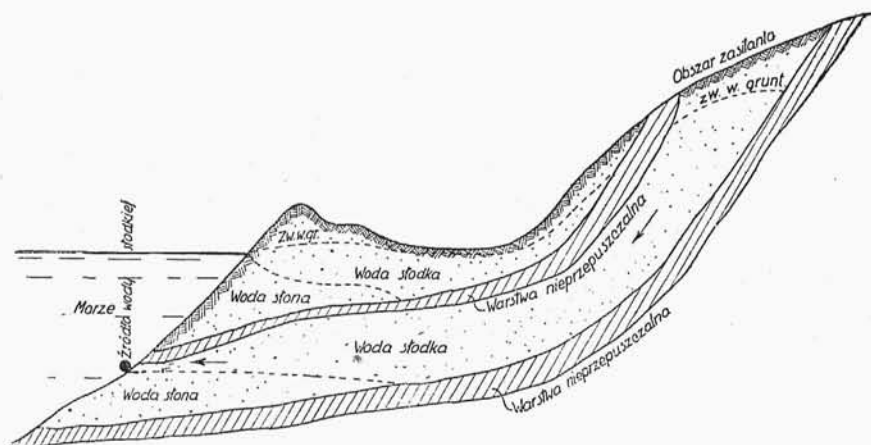
Rys. 32.

Pokład wodonośny na Long Island.

re oddalania się od brzegu morskiego. W grupie studzien oddległych o 2 mile (3,2 km) wahała się zawartość chloru od 8 do 670

miligramów na litr wody, w grupie odległej o $1\frac{1}{2}$ mili (2,4 km) w poszczególnych studniach wzrastała zawartość ta do 2,95 gr/l, natomiast wiercenia doprowadzone do piasków pod cienką przykrywą łu, wykazały wprawdzie brak zupełny soli, ale po 3 letniej eksploatacji ilość jej doszła do 400 mgr/l. W czasie przerw w pompowaniu spadała zawartość soli do 80 mgr/l.

Istnienie pokładów nieprzepuszczalnych zmienia warunki przedostawania się soli, która do wód pod ciśnieniem wchodzi tylko drogą dyfuzji. Na podstawie badań na wybrzeżu belgijskim, d'Andrimont podaje schemat układania się słodkich i słonych wód w sposób przedstawiony na rys. 33.



Rys. 33.

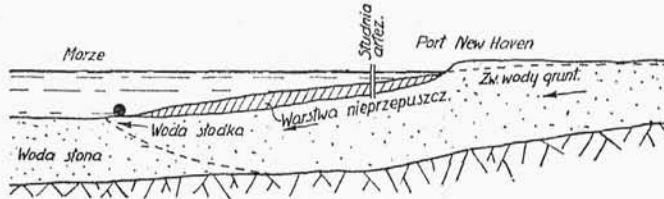
Schemat rozdziału wód słodkich i słonych.

Warstwa przewodząca górna, mieszcząca się w strefie nawietrzanej, posiada zwierciadło wody gruntowej wzniesione ponad poziom wody morskiej. Zasolenie odbywa się tylko drogą dyfuzji na odcinku bezpośrednio przytykającym do brzoa morskiego, w rozmiarach coraz szczuplejszych, w miarę oddalania się od brzoa. Tak samo wpływa sąsiedztwo wody słonej na warstwę wodonośną słodkowodną, znajdującą się pod ciśnieniem.

Drobny namuł, który niejednokrotnie osadza się na dnie morza przy brzoa, może już być powodem spływu wód gruntowych pod ciśnieniem, jak dowodzi tego przykład wierceń w porcie w New Haven (rys. 34).

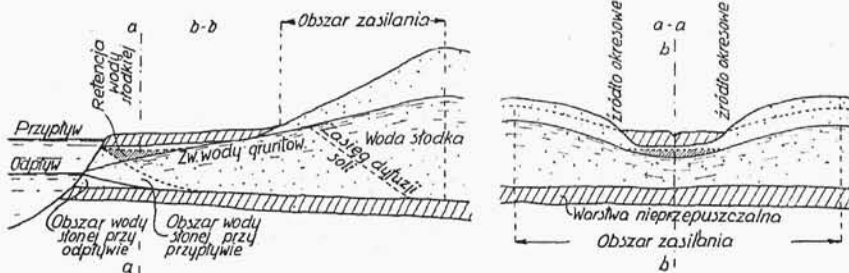
W pokładach szczelinowych, wymiana wody jest znacznie szybsza, granica zasolenia zmienia się w czasie przypływu i od-

plywu. Jako przykład podaje Imbeaux wodę w pokładach wapienia w okolicy la Rochelle (rys. 35).



Rys. 34.

Wpływ nieprzepuszczalnego dna morskiego.



Rys. 35.

Zasięg wody słonej w pokładach szczelinowych.

Studnie w odległości 3,5 km od brzegu wykazywały, przy silnym pompowaniu, zawartość do 5 gr/l soli, dopiero odsunięcie ujęcia o 2 km w górę doliny, pozwoliło na przekroczenie granicy dyfuzji.