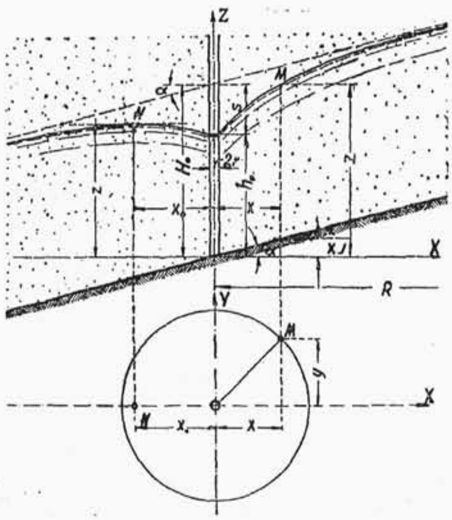
5. Studnia zapuszczona w warstwę wody płynącej o wolnem zwierciadle.

(Warstwa nieprzepuszczalna pochyła).

Przy warstwie nieprzepuszczalnej pochyłej przyjmujemy, że obniżone zwierciadło wody ma to samo położenie względem warstwy nieprzepuszczalnej, jak w wypadku zwierciadła poziomego, że zatem rzędne obniżonego zwierciadła będziemy odmierzać nie od poziomu, lecz od warstwy pochylonej.



Rys. 114.

Obniżenie poziomu wody przez studnię, zapuszczoną w warstwę wody płynącej o wolnem zwierciadle (warstwa nieprzepuszczalna pochyła).

W ten sposób otrzymamy powierzchnię zwierciadła, która nie odpowiada ściśle warunkom rzeczywistym, daje jednak dość dobre przybliżenie.

Możemy zatem korzystać z równania (44) z tem, że z jest mierzone od warstwy pochyłej, lub, wprowadzając układ współrzędnych jak na rys. 114, z zastąpimy przez $z - xJ$, a x przez $\sqrt{x^2 + y^2}$. Otrzymamy zatem:

$$(z - xJ)^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} + (z_1 - x_1 J)^2 \qquad (46)$$

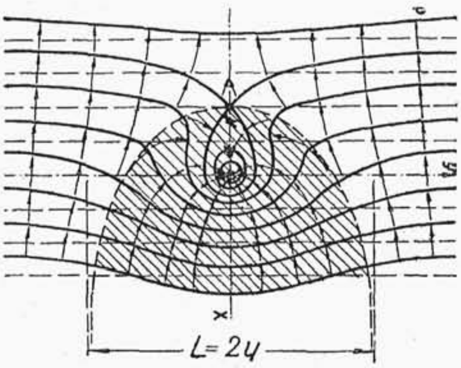
lub wstawiając $z_1 - x_1 J = H$, oraz $\sqrt{x_1^2 + y_1^2} = R$, przyczem przez R rozumiemy odległość od studni do punktu, gdzie depresja praktycznie się kończy, otrzymujemy:

$$(z - xJ)^2 = \frac{Q}{\pi k} \, ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R} + H^2 \tag{47}$$

Równanie krzywej przecięcia płaszczyzny poziomej o rzędnej c z powierzchnią zwierciadła będzie:

$$(c - x\,J)^2 = \frac{Q}{\pi k} \, ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R} + H_0^2 \tag{48}$$

Przy zmiennym parametrze c, równanie to daje rodzinę krzywych, przedstawiających warstwice zwierciadła wody (rys. 115).



Rys. 115.

Warstwice poziomów płynącej wody gruntowej, układających się wskutek poboru wody ze studni z pochyłej warstwy o wolnem zwierciadle.

Ilość wody, dopływającej do studni, możemy określić z równania (47), przyjmując dla $z - x\,J = h_0$, oraz $x^2 + y^2 = r$. Stąd:

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{ln \dfrac{R}{r}} \tag{49}$$

Wzór ten jest identyczny z (40) co wynika z przyjętych założeń.

Zasięg działania studni *) określamy z następujących rozważań:

*) Zasięg działania studni jest pojęciem różnem od zasięgu depresji R i stanowi granicę, od której strugi wody dopływają do studni.

Równanie krzywej zwierciadła w płaszczyźnie y, otrzymamy z równania (47):

$$(z - xJ)^2 = H_0^2 + \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{R} \qquad (50)$$

Krzywa ta posiada styczną poziomą w punkcie N (rys. 114), którego odciętą znajdujemy z równania $\frac{dz}{dx} = 0$

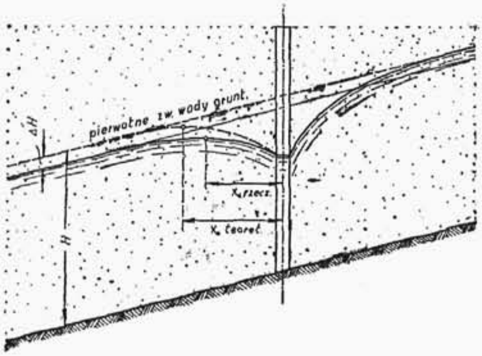
stąd otrzymamy x_0, odległość punktu N od osi studni:

$$x_0 = -\frac{Q}{2\pi k J \sqrt{H_0^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{x_0}}} \qquad (51)$$

Równanie to możemy również napisać w kształcie:

$$x_0 = -\frac{Q}{2\pi k J \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r}{x_0}}} \qquad (52)$$

Punkt N jest punktem granicznym zasięgu działania studni w kierunku $-x$, poza którym woda już nie dopływa do studni.



Rys. 116.

W rzeczywistości punkt, odpowiadający odciętej x_0, leży bliżej studni, niż z teoretycznego wyliczenia wypada, albowiem z powodu ubytku wody gruntowej, poza studnią zwierciadło obniża się. W dalszych dopiero punktach i na dłuższej przestrzeni zwierciadło z powrotem podnosi się, wobec dopływu wody ze strug bocznych, które studnię mijają. Podniesienie to nie może jednak osiągnąć pierwotnego napełnienia warstwy wodonośnej i będzie zawsze od niego niższe (rys. 116).

W kierunku $+x$ zasięg działania studni zgadza się z zasięgiem depresji i dąży do ∞.

W dostatecznie wielkiem oddaleniu od studni możemy przyjąć, że zwierciadło pierwotne nie uległo zmianie. Pasem szerokości $2y$ będzie wtedy przepływała ilość wody $q = 2\,ykJH$. Jeżeli za Q będziemy uważali wydatek studni, to otrzymamy wzór na zasięg działania studni w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu pierwotnego ($y\,z$):

$$L = 2y = \frac{Q}{k\,J\,H} \tag{53}$$

Wzór (53) możemy przedstawić w formie poniższej, podstawiając na Q wartość z równania 49:

$$L = \frac{\pi\,(H^2 - h_0^{\,2})}{JH\,ln\dfrac{R}{r}} \tag{54}$$

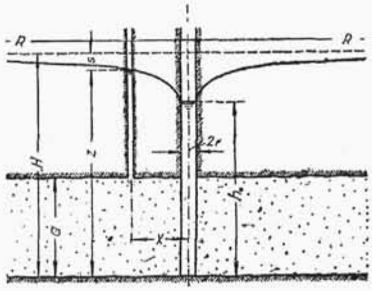
6. Studnia artezyjska zapuszczona w zbiornik wody stojącej.

W wypadku założenia studni w warstwie wody artezyjskiej o grubości a (rys. 117), przy założeniach jak uprzednio, zależności przedstawią się jak następuje:

$$Q = 2\,\pi\,x\,a\,v = 2\,\pi\,x\,a\,k\,\frac{dz}{dx} \tag{55}$$

gdzie z są wysokościami ciśnień, mierzonemi od warstwy nieprzepuszczalnej. Po scałkowaniu w granicach od $x = x_1$ do $x = x$ i od $z = z_1$ do $z = z$, otrzymujemy ogólne równanie krzywej zwierciadła:

$$z - z_1 = \frac{Q}{2\,\pi\,k\,a}\,ln\frac{x}{x_1} \tag{56}$$



Rys. 117.

Studnia artezyjska zapuszczona w zbiorni wody stojącej.

Podstawiając $z_1 = h_0$, $x_1 = r$ otrzymujemy:

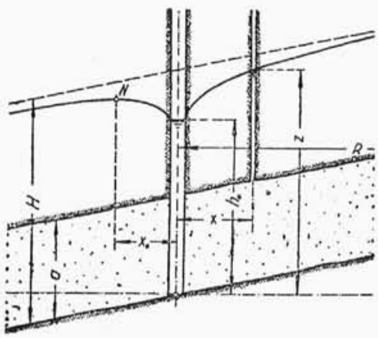
$$z - h_0 = \frac{Q}{2\,\pi\,k\,a}\,ln\frac{x}{r} \tag{57}$$

Wstawiając $z = H$, oraz $x = R$ możemy napisać:

$$Q = \frac{2\,\pi\,k\,a}{ln\dfrac{R}{r}}\,(H - h_0) \tag{58}$$

6. Studnia artezyjska zapuszczona w warstwę wody płynącej.

Rzędne wysokości ciśnień tworzą linję o spadzie J (rys. 118). Wprowadzamy oznaczenia jak na rysunku i korzystamy z równania (56), zastępując z przez $(z - xJ)$ i x przez $\sqrt{x^2 + y^2}$; odpowiada to założeniom omówionym w wypadku studni zwykłej, zapusz-



Rys. 118.

Studnia artezyjska zapuszczona w warstwę wody płynącej.

czonej w zbiornik wody płynącej. Otrzymujemy zatem ogólne równanie krzywej zwierciadła:

$$z - xJ = (z_1 - x_1 J) - \frac{Q}{2\pi k a} \, ln \frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{59}$$

Podstawiając $z_1 - x_1 J = H$, oraz $\sqrt{x_1^2 + y_1^2} = R$ otrzymujemy:

$$z - xJ = H - \frac{Q}{2\pi k a} \, ln \frac{R}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{60}$$

Ilość wody, dopływającej do studni, możemy określić z równania (60), przyjmując: $z - xJ = h_0$, $\sqrt{x^2 + y^2} = r$:

$$Q = \frac{2\pi k a}{ln \frac{R}{r}} (H - h_0) \tag{61}$$

Równanie krzywej przecięcia płaszczyzny poziomej o rzędnej $z=0$ z powierzchnią depresji będzie:

$$x = \frac{c - H}{J} + \frac{Q}{2\pi k a} \ln \frac{R}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{62}$$

Równanie krzywej zwierciadła w płaszczyźnie $x z$, tj. w płaszczyźnie ruchu wody czyli maximalnego spadu J otrzymamy, przyjmując $y=0$:

$$z - xJ = H - \frac{Q}{2\pi k a} \ln \frac{R}{x} \tag{63}$$

Odległość punktu N od osi studni, gdzie styczna będzie pozioma, otrzymamy z równania (63) przy założeniu $\frac{dz}{dx} = 0$; będzie ona:

$$x_0 = -\frac{Q}{2\pi k a J} \tag{64}$$

Jest to punkt graniczny zasięgu działania studni w kierunku — x. Przyjmując, że w dostatecznie wielkiem oddaleniu od studni warunki pierwotne nie uległy zmianie, możemy napisać:

$$Q = 2\, y k J a \text{ lub } L = 2\, y = \frac{Q}{kJa} \tag{65}$$

jako zasięg działania studni w kierunku prostopadłym do pierwotnego ruchu (rys. 115).
Podstawiając wartość Q z równania (61) otrzymamy:

$$L = \frac{2\pi (H - h_0)}{J \ln \frac{R}{r}} \tag{66}$$

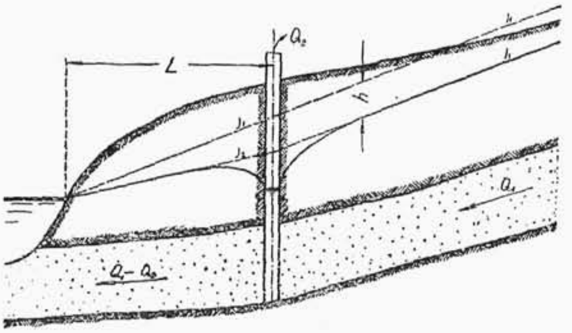
lub wartość Q z równania (64):

$$L = 2\pi x_0 \tag{67}$$

Jeśli powyżej studni płynie warstwą wodonośną ilość wody Q_1, a studnia pobiera ilość Q_2, poniżej studni płynie objętość $Q_1 - Q_2$. Jeśli dla przeprowadzenia ilości Q_1 potrzebny jest spad ciśnienia J_1, to dla mniejszej objętości $Q_1 - Q_2$ wystarczy mniejszy spad J_2. Poniżej studni ułoży się zatem spad ciśnienia mniejszy J_2, powyżej zostanie linja ciśnienia o spadzie J_1 lecz obniżona o różnicę h, normowaną różnicą spadu J_1 mniej J_2 na długości L oddalenia studni od punktu, w którym z jakichś powodów zwierciadło wody musi pozostać na ustalonym poziomie:

$$h = L\ (J_1 - J_2)$$

Punkt ten będzie naogół punktem wypływu wody gruntowej na powierzchnię terenu w formie źródła, lub bezpośredniego przenikania do koryta otwartego wypełnionego wodą (Rys. 119).



Rys. 119.

Zmiana położenia i spadu linji ciśnienia w wypadku czerpania wody przy pomocy studni z warstwy wody pod ciśnieniem.

O ile wydatek Q_1 warstwy wodonośnej jest bardzo znaczny w stosunku do poboru ze studni w ilości Q_2, tak, że różnica $Q_1 - Q_2$ mało różni się od Q_1, w pewnej odległości poniżej studni, dopływająca z boku woda przywróci prawie dokładnie pierwotny wydatek warstwy wodonośnej liczony na jednostkę szerokości. Nie mniej jednak zmniejszony spad ciśnienia J_2 ułoży się na pewnej długości niżej studni, i poziom zwierciadła wody powyżej studni o pewien wymiar opadnie. Przy studniach artezyjskich pobór wody ze studni wywołuje zatem zawsze obniżenie ciśnienia nawet w znacznej odległości od studni czynnej. W Cisowej koło Gdyni zauważono obniżenie ciśnienia w studni odległej o 2 *km* od studni, z której wodę zaczęto pobierać.

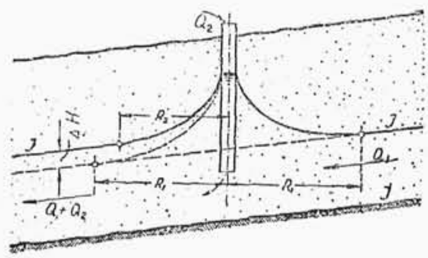
8. Zestawienie ważniejszych wzorów.

TABELA 12.

Do §	Odbiornik	Woda gruntowa.		Warstwa nieprzepuszczaln.	Ogólne równanie krzywej depresji.	Wydatek Q.
2	Kanał otwarty	O wolnem zwierciadle	stojąca	pozioma	$z^2 - z_1^2 = \frac{2q}{k}(x - x_1)$ (29)	$q = (z_1^2 - h_0^2)\frac{k}{2x_1}$ (31)
3	„	„	płynąca	pochyła	$J(x - x_1) = \frac{q}{kJ} 2{,}3026\, lg \frac{q - kJz_1}{q - kJz} + z_1 - z$ (33)	$q = kJH$ (35)
4	Studnia	„	stojąca	pozioma	$z^2 - z_1^2 = \frac{Q}{\pi k} 2{,}3026\, lg \frac{x}{x_1}$ (38)	$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{2{,}3026\, lg \frac{R}{r}}$ (40)
5	„	„	płynąca	pochyła	$(z - xJ)^2 = \frac{Q}{\pi k} 2{,}3026\, lg \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} + (z_1 - x_1 J)^2$ (46)	$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{2{,}3026\, lg \frac{R}{r}}$ (49)
6	„	artezyjska	stojąca	—	$z - z_1 = \frac{Q}{2\pi ka} 2{,}3026\, lg \frac{x}{x_1}$ (56)	$Q = \frac{2\pi ka}{2{,}3026\, lg \frac{R}{r}}(H - h_0)$ (58)
7	„	„	płynąca	—	$z - xJ = (z_1 - x_1 J) - \frac{Q}{2\pi ka} 2{,}3026\, lg \frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ (59)	$Q = \frac{2\pi ka}{2{,}3026\, lg \frac{R}{r}}(H - h_0)$ (61)

9. Studnie chłonne.

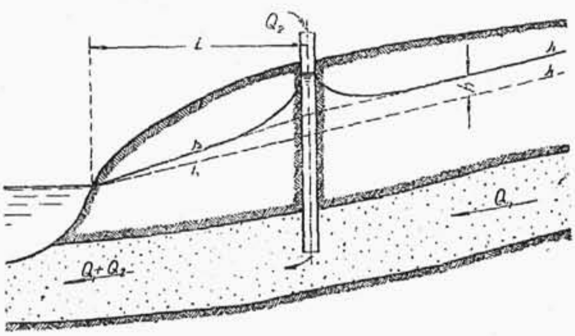
Przy studniach chłonnych o poziomem zwierciadle wody należy wprowadzić we wzory wysokość depresji ze znakiem ujemnym. Kształt krzywej zwierciadła wody będzie określony tem samem równaniem, co przy studni z której jest woda pobierana.



Rys. 120.

Studnia chłonna.

Przy zwierciadle leżącem w spadzie, grubość strugi poniżej studni wzrasta, następuje zatem zjawisko przeciwne temu jakie powstaje przy studniach z poborem wody, rzeczywista odległość R_2 poniżej



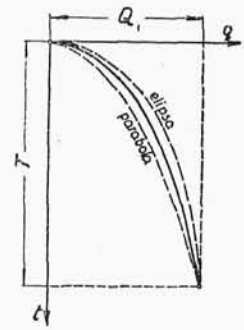
Rys. 121.

studni będzie mniejsza od odległości R_1 obliczanej wzorem (rys. 120). Przy studni artezyjskiej chłonnej, zwierciadło wody powyżej studni podnosi się o wymiar h, odpowiadający różnicy spadu $J_2—J_1$ oraz odległości L (rys. 121), $h=L\ (J_2-J_1)$.

10. Studnia niesięgająca do warstwy nieprzepuszczalnej.

Naogół wartość H (głębokość położenia warstwy nieprzepuszczalnej) jest rzadko kiedy znaną, względnie jest tak dużą, że nie jest możliwem opuścić aż do niej studnię. Wówczas wyżej wyprowadzone równania nie są słuszne. Popełnia się jednak mały błąd, przyjmując jako H odległość od pierwotnego zwierciadła wody gruntowej do dna studni. Jeśli warstwa wodonośna sięga bardzo głęboko niżej dna studni, Sichardt[44]) poleca zwiększyć o 20% objętość wody, określoną przy pomocy wyżej podanych wzorów.

Badania nad wydajnością studni, niesięgających do warstwy nieprzepuszczalnej, przeprowadzał Forchheimer[45]). Wydatek studni, przy przepuszczalnym płaszczu i czerpaniu z warstwy wodonośnej o określonej grubości, przy tem samem obniżeniu zwierciadła wody, będzie tem mniejszy, im płycej będzie zapuszczona studnia. Wydatek zmienia się, jak wskazuje rys. 122, gdzie t jest głębokością zapuszczenia studni poniżej zwierciadła wody w studni, Q — wydatkiem, zaś T — głębokością studni zapuszczonej aż do warstwy nieprzepuszczalnej. Krzywa wydajności leży pomiędzy dwiema krzywemi, z których jedna jest parabolą, druga elipsą. Równanie krzywej określił Forchheimer, przyjmując za rzędne krzywej średnią geometryczną rzędnych paraboli i elipsy.



Rys. 122.

Zależność między wydajnością studni, a głębokością jej zapuszczenia.

Dla paraboli będzie:

$$\frac{Q_1^2}{Q_2^2} = \frac{t}{T}$$

dla elipsy:

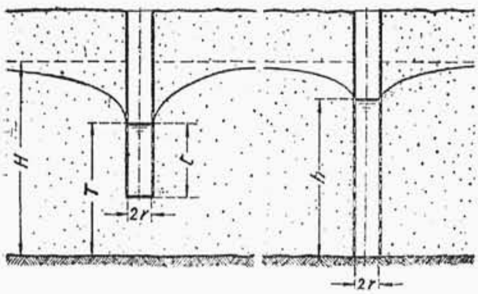
$$\frac{Q_1^2}{Q_2^2} = \frac{t}{T}\sqrt{\frac{2T-t}{T}}$$

zaś dla średniej geometrycznej:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{t}{T}}\sqrt[4]{\frac{2T-t}{T}} \tag{68}$$

Z powyższego wynika, iż, przy tym samym poborze wody z obu studzien obniżenie zwierciadła wody będzie większe przy płytkiej studni, mniejsze zaś przy studni, sięgającej aż do warstwy nieprzepuszczalnej.

Na zjawisko obniżenia zwierciadła wody w większej odległości od studni wpływa tylko położenie i czerpanie wody, a sposób wykonania studni nie ma znaczenia (tj. czy studnia pobiera wodę tylko przez płaszcz, czy tylko przez dno, czy też i przez płaszcz i przez dno). Wpływ ten okazuje się tylko w bliskiem sąsiedztwie studni. W wypadku swobodnego zwierciadła wody gruntowej i poziomej warstwy nieprzepuszczalnej, każde obniżenie można sobie wyobrazić jako złożone z dwu: jednego, które nastąpiłoby gdyby płaszcz studni sięgał aż do warstwy nieprzepuszczalnej i dodatkowego (rys. 123), które występuje gdy studnia nie sięga tak głęboko. Dla studni, niesięgającej aż do warstwy nieprzepuszczalnej, z płaszczem przepuszczalnym, lecz z zamkniętem dnem podaje Forchheimer[40]):



Rys. 123

$$\frac{H^2 - T^2}{H^2 - h^2} = \sqrt{\frac{T}{t}} \sqrt[4]{\frac{T}{2T - t}} \qquad (69)$$

przy otwartem zaś dnie:

$$\frac{H^2 - T^2}{H^2 - h^2} = \sqrt{\frac{T}{t + 0{,}5\,r}} \sqrt[4]{\frac{T}{2h - t}} \qquad (70)$$

Przy jednakowym poborze wody otrzymuje się tem większe obniżenie zwierciadła wody im płycej będzie założona studnia, nie wolno jednak przekroczyć maximalnych prędkości, określonych rodzajem gruntu. Według Forchheimer'a, studnia o określonej głębokości zanurzenia t dostarcza tę samą ilość wody co sięgająca do warstwy nieprzepuszczalnej, lecz posiadająca płaszcz przepuszczalny tylko na długości t. Przyczem nie ma znaczenia, czy przepuszczalna część płaszcza znajduje się przy górnej granicy zwierciadła wody, czy też u dołu studni.

11. Zasięg depresji.

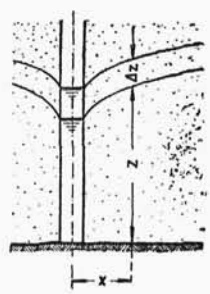
Przy rozwiązywaniu szeregu zagadnień obniżenia zwierciadła wody, w wielu wypadkach konieczną jest znajomość zasięgu depresji R. Wpływ wielkości zasięgu depresji na wydatek studni jest naogół niewielki, np. powiększenie wartości R o 100% powoduje zwiększenie wydajności studni o około 10%, ponieważ zaś ze względów praktycznych trudno jest określić współczynnik przepuszczalności k z dokładnością 10%, można się więc zadowolić przy określaniu R pewnem przybliżonem oszacowaniem. Za podstawę do oszacowania R może służyć empiryczna zależność, podana przez Sichardt'a, dla stanu ustalonego:

$$R = 3\,000\, s \sqrt{k} \tag{71}$$

gdzie s oznacza wartość obniżenia zwierciadła wody w studni w m, k współczynnik przepuszczalności gruntu w m/sek.

Weber[46]) podaje następującą metodę wyznaczenia R. Dla wypadku nieskończenie dużego zbiornika wody gruntowej, poziomej warstwy nieprzepuszczalnej i studni do niej sięgającej, musi istnieć następująca zależność pomiędzy pobraną ilością wody i wielkością stożka depresyjnego:

$$pV = \int_0^t Q\,dt \tag{72}$$



Rys. 124.

gdzie V jest objętością stożka depresyjnego, p porowatością przestrzenną, q pobieraną ilością wody w funkcji czasu t.

Jeżeli rozważymy dwa po sobie następujące stany depresji, to pobrana w międzyczasie objętość wody musi odpowiadać wyczerpanej z przestrzeni obniżonej. Nie jest wiadomem w jaki sposób rozdziela się, wzdłuż linji depresji, wyczerpywana woda tj. nie jest znaną wartość Δz (rys. 124). Przy rozważaniu, jak wyżej, dopływu wody przez powierzchnię koncentrycznych walców, można przyjąć że ilość wody Q_r, dopływająca przez powierzchnię walca o promieniu równym R, wynosi 0, podczas gdy przez powierzchnię walca o promieniu studni r płynie ilość wody, którą czerpie się ze studni $Q_r = Q$. Pomijając wartość promienia studni, jako niewielką, Weber podaje zależność:

$$Q_x = Q\left[1 - \left(\frac{x}{R}\right)^n\right] \tag{73}$$

a następnie wyprowadza wzór na wielkość zasięgu depresji pojedyńczej studni przy stałym poborze wody Q:

$$R = \sqrt{\frac{4\,(n+2)\,H k t}{n p}} \tag{74}$$

Oznaczając: $c^2 = \frac{4\,(n+2)}{n}$ otrzymamy:

$$R = c\sqrt{\frac{H k t}{p}} \tag{75}$$

Z badań praktycznych wynika, że wartość c waha się w granicach 2,82 — 3,2 i bez wielkiego wpływu na dokładność określenia R, można przyjąć średnią jej wartość równą 3,0.

12. Największy możliwy wydatek studni.

Poziom wody w studni możemy obniżać dowolnie przez pobór odpowiedniej ilości wody i dojść do warstwy nieprzepuszczalnej, a nawet poniżej, jeżeli wyobrazimy sobie, że studnia jest zagłębiona w spąg nieprzepuszczalny. Jest rzeczą jasną, że obniżenie zwierciadła wody w studni, poniżej warstwy nieprzepuszczalnej, pozostanie bez wpływu na wydatek studni. Wydatek, który osiągniemy przy poziomie wody w studni na rzędnej warstwy nieprzepuszczalnej, będzie granicą największego wydatku. Zwierciadło wody na zewnątrz płaszcza studni będzie wtedy na pewnej wysokości h_1, odpowiadającej największemu możliwemu obniżeniu zwierciadła wody gruntowej. Krzywa depresji przetnie płaszcz studni, mając spad graniczny. Sichardt[44]) ustalił doświadczalnie wartość tego granicznego spadu (rys. 125):

$$i_0 = \frac{1}{15\sqrt{k}} \tag{76}$$

a stąd maximalny możliwy wydatek studni:

$$Q_{max} = 2\pi r h_1 \frac{\sqrt{k}}{15} \tag{77}$$

wartość:

$$\varphi = \frac{Q}{h_1} = 2\pi r \frac{\sqrt{k}}{15} \tag{77a}$$

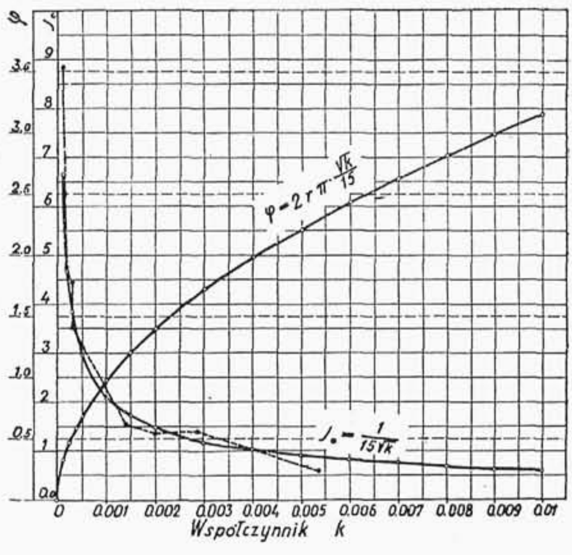
nazwał on współczynnikiem wydatku.

S i c h a r d t, wstawiając Q_{max} do (40) otrzymuje wyrażenie na:

$$h_1 = -\frac{r}{15\sqrt{k}} ln \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{r}{15\sqrt{k}} ln \frac{R}{r}\right)^2} \tag{78}$$

odpowiadające największemu obniżeniu krzywej depresji.

W ten sposób otrzymana wartość h_1 nie odpowiada wyżej wymienionemu warunkowi obniżenia zwierciadła wody, wewnątrz



Rys. 125.

Zależność między granicznym spadem i_0, współczynnikiem wydatku φ i wartością k (według Sichardt'a).

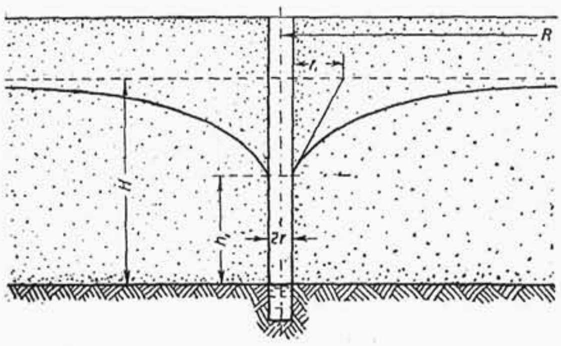
studni aż do warstwy nieprzepuszczalnej, a jest równoznaczna z poziomem wody w studni również na wysokości h_1. Dowodziłoby to, że maximalny wydatek studni nastąpi wcześniej przed obniżeniem całkowitem wnętrza płaszcza studni, z czem trudno się zgodzić, bo znajdująca się woda wewnątrz płaszcza zmusza, spływającą wodę do studni, do pokonania dodatkowego ciśnienia, którego niema przy obniżonym całkowicie poziomie wody w studni.

Kozeny[47]) znajduje na drodze teoretycznych rozważań:

$$Q_{max} = \frac{\pi k H^2}{ln \frac{R}{r}} \tag{79}$$

ogólnie (rys. 126):

$$Q = 2 \pi r k h_1 \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_{x=r} = 2 \pi r k h_1 \frac{H - h_1}{r_1} \tag{80}$$



Rys. 126.

Spad przy studni musi być wystarczający aby przeprowadzić Q_{max}. Przy danych r, R i H spad będzie minimalny, gdy r_1 osiągnie maximum; z (79) i (80) mamy:

$$r_1 = 2 r \frac{h_1}{H} (1 - \frac{h_1}{H}) ln \frac{R}{r} \tag{81}$$

Maximum r_1 będzie przy $\frac{h_1}{H} = \frac{1}{2}$, stąd spad graniczny przy płaszczu studni:

$$i_0 = \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_{x=r} = \frac{H}{r \, ln \frac{R}{r}} \tag{82}$$

zaś wartość h_1, dla całkowitego obniżenia zwierciadła wewnątrz studni będzie: $h_1 = \frac{H}{2}$. Tę graniczną wartość $\frac{H}{2}$ potwierdzają doświadczenia na modelach Ehrenberger'a [48]).

Dla przykładu obliczamy h_1 i Q_{max} dla $R = 1\,000\ m$
$r = 1{,}0\ m$ i $r = 0{,}1\ m$, przy $H = 20\ m$, $k = 0{,}004$

	według Sichardt'a			według Kozene'go		
	h_1	Q_{max}	i_0	h_1	Q_{max}	i_0
$r = 1{,}0$	14,23	$0{,}395\ m^3/sek$	1	$10\ m$	$0{,}800\ m^3/sek$	2,89
$r = 0{,}1$	19,10	0,053 „	1	$10\ m$	0,600 „	21,70

Na przykładzie tym widać, że wyniki obliczenia według Sichardt'a i Kozene'go bardzo się różnią, gdyż wzory Sichardt'a w wyższym stopniu uwydatniają wpływ promienia studni na wydatek. Przy małych promieniach studni otrzymujemy wzorem Kozene'go bardzo duże wartości spadu granicznego i_0, a co za tem idzie bardzo znaczne prędkości, które w praktyce nie mogą powstać. Wzory Sichardt'a, uzależniające spad graniczny, a zatem i prędkość od k wydają się bardziej prawdopodobne.

Jeśli teren otaczający studnie podzielimy na współśrodkowe pierścienie z osią leżącą w osi studni, silnem pompowaniem możemy wypłukać piasek najdrobniejszy z pierścienia najbliższego studni. Współczynnik k, a zatem i możliwa do uzyskania graniczna prędkość na tym pierścieniu wzrośnie, a gdy na następnym pierścieniu, jako mającym większy promień i większy obwód, panowała pierwotnie prędkość mniejsza niż graniczna, możliwem jest jej zwiększenie aż do prędkości granicznej, odpowiadającej k pierwotnego materjału. O ile wywołane prędkości spowodują wyniesienie i z tego pierścienia drobnych cząstek materjału, dopuszczalnem będzie zwiększenie prędkości na następnym, trzecim, pierścieniu itd. W rezultacie zatem w materjale, z którego wypłukać można drobne ziarenka piasku, i w ten sposób zwiększyć jego przepuszczalność możliwem jest zwiększenie granicznego wydatku studni przez odpiaszczenie jej forsownem pompowaniem. Zwiększenie wydatku studni jest możliwem zresztą tylko do pewnej granicy. Odwrotnie, jeśli przy płaszczu zostają osadzane cząstki materjału, np. na skutek strącania się związków żelaza, graniczna prędkość na płaszczu studziennym maleje, i maleje tem samem dający się osiągnąć max. wydatek studni.

13. Wpływ średnicy studni na wielkość depresji.

Wpływ średnicy studni na wielkość depresji jest tem większy, im mniejszą jest średnica studni. Dla punktów leżących na granicy zasięgu depresji, w odległości R od osi studni, średnica studni nie ma wpływu na stan wody. Obniżenie w studni wyraża się wzorem (41):

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k}(ln\,R - ln\,r)}$$

Dla 10-krotnej zmiany r, wartość logarytmu naturalnego zmienia się tylko 2,3 026 razy. Wpływ zmiany średnicy jest zatem nieznaczny, jak to jest zresztą widoczne z poniższego zestawienia. Zbyt małe średnice studzien nie mogą być jednak stosowane, ze względu na wytwarzanie się za dużych prędkości wody na obwodzie studni.

Np. obniżenie zwierciadła wody w studni przy poborze wody $Q = 30$ *l/sek*, grubości warstwy wodonośnej $H = 12{,}0$ *m*, współczynniku przepuszczalności $k = 0{,}002$ otrzymamy następujące wartości:

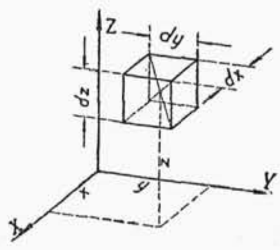
promień studni . . .	$r =$	1,0	0,50	0,25	0,125	*m*
obniżenie na studni . .	$s =$	1,07	1,22	1,38	1,54	*m*

14. Współdziałanie szeregu studzien.

Wzory Forchheimer'a[40]).

Zakładając stosowalność prawa Darcy $v = k\,i$, dla ruchu wody w gruncie, zakładamy tem samem ważność praw ruchu regularnego.

Jeżeli rozważymy w układzie współrzędnych prostokątnych (rys. 127) punkt o rzędnych x, y, z, wokół którego wyobrazimy



Rys. 127.

sobie kostkę gruntu o wymiarach dx, dy, dz, to będziemy mogli obliczyć dopływ i wypływ przez ściany kostki, przyjmując prędkość przepływu w kierunkach trzech osi równą: