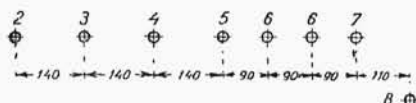


i) Wydajność studzien zszeregowanych*).

Włączono w lewar studnie Nr.: 2, 3, 4, 5 i 8 podług schematu jak na rys. 164.

W układzie tym można uważać studnię 8 za odosobnioną, gdyż odległość między studniami 5 i 8 wynosi w linii prostej ponad 400 m; studnie 2 do 5, o rozstawie po 140 m, uważać należy za zszeregowane, których możliwe oddziaływania należało zbadać.



Rys. 164.

Przed rozpoczęciem pompowania zmierzono zwierciadła wody w studniach w odniesieniu do zaniwelowanych znaków stałych, poczem o 9-tej rano rozpoczęto pompowanie stałą ilością obrotów na maszynie parowej, uregulowaną możliwie dokładnie, przy wydajności pompy równej 44,68 l/sek, wyrachowanej z ilości obrotów w czasie trwania pomiarów. W południe w odstępie godzinowym kontrolowano depresję w studniach dla sprawdzenia, czy zwierciadła wody ustaliły się na tyle, aby podczas mającego nastąpić pomiaru, trwającego mniejwięcej godzinę można uważać je za stałe.

Kierując się tym względem, rozpoczęto pomiary depresji w studniach o godzinie 15-ej i znaleziono:

$$h_2 = 2,72, \quad h_3 = 2,63, \quad h_4 = 2,53, \quad h_5 = 2,51, \quad h_8 = 2,49 \text{ m.}$$

Równocześnie spostrzeżono, że w studni Nr. 6 (wyłączonej), odległej od studni 5 o 90 m, zwierciadło wody od pomiaru ranego opadło ogółem tylko o 8 cm, w studni zaś Nr. 6, odległej o 180 m od studni 5, żadnej zmiany nie zauważono. Wobec tego nie należało się spodziewać znacznego, wzajemnego oddziaływania studzien 2, 3, 4 i 5, co rachunek potwierdził.

Ponieważ ilość wody, czerpanej z pojedynczych studzien, musi być w stanie równowagi równą ilości wody pompowanej, przeto musi być:

$$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = Q - q_8$$

gdzie Q stanowi ilość wody pompowanej i jest równe 44,68 l/sek.

Biorąc pod uwagę wzór: $q = A \frac{h}{C}$ i pisząc przy studniach

*) R. Rosłoński¹⁶⁾.

(2, 3, 4 i 5) jako zszeregowanych zamiast charakterystyki A charakterystykę A' , gdyż A liczone było dla studzien odosobnionych, z powyższego równania otrzymamy:

$$A' \left(\frac{h_2}{C_2} + \frac{h_3}{C_3} + \frac{h_4}{C_4} + \frac{h_5}{C_5} \right) = Q - A \frac{h_8}{C_8}$$

Podstawiając za $h_2 \dots h_8$ wartości pomierzone, za $C_2 \dots C_8$ wartości odpowiednie miana przepuszczalności *), za A wartość 133, otrzymujemy:

$$A' (0,0617 + 0,0533 + 0,1031 + 0,0961) = 44,68 - 133 \times 0,02924$$

stąd:

$$0,3142 A' = 40,791$$

Ponieważ $\frac{A'}{A} = \frac{129,82}{133}$ zatem $A' = 0,98 A$, co oznacza, że wielkość oddziaływania studzien zszeregowanych (2, 3, 4 i 5) o rozstawie 140 m, wyrażona w procentach studni odosobnionej wynosi zaledwie 2%, jak to było do przewidzenia.

Ilość wody, jakiej dostarczała w danym przypadku każda pojedyncza studnia, włączona w lewar, otrzymuje się przez pomnożenie ilorazu $\frac{h}{C}$ przez cechę 129,82 dla studzien zszeregowanych i przez 133 dla studni odosobnionej (Nr. 8) więc:

$$129,82 (0,0617 + 0,0533 + 0,1031 + 0,0961) + 133 \times 0,02924 = 44,68$$

czyli $q_2 = 8,01$, $q_3 = 6,92$, $q_4 = 13,39$, $q_5 = 12,48$, $q_8 = 3,88$ l/sek.

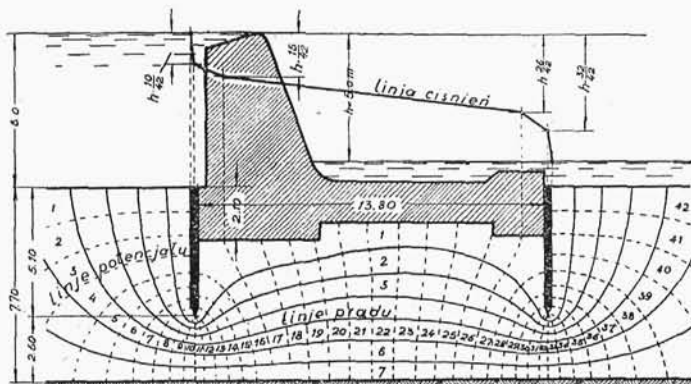
k) Sposób wykreślny obliczenia przepływu wody pod jazem.

Uważamy ograniczenie spodu fundamentu za najwyżej położoną linię prądu i kreślimy poniżej, w pewnej od niego odległości, najbliższą nową linię (Rys. 165).

Otrzymany pasek pomiędzy przeciągniętą nową linią i spodem fundamentu dzielimy w przybliżeniu na kwadraty. Przeciągnięcie boków kwadratów, odpowiadających liniom potencjalnym, prostopadłe do wykreślonej pierwszej linii prądu, umożliwia wykreślenie następnych linii prądu i podziału otrzymanych nowych pasków na przybliżone kwadraty. Postępując tak dochodzimy do

*) Obliczenie podane w rozdziale VII ustęp 2a.

krzywej prądu, która w ogólnym wypadku nie zejdzie się z linią warstwy nieprzepuszczalnej. Wówczas dopóty probujemy przesuwac pierwszą linię prądu, aż ostatnia zejdzie się z linią warstwy nieprzepuszczalnej. Dokonawszy tego podziału możemy obliczyć przepływ wody pod fundamentem.



Rys. 165.

Wykreślony sposób wyznaczenia przepływu pod jazem.

Jeżeli otrzymaliśmy z podziału, pomiędzy fundamentem i warstwą nieprzepuszczalną, m pasków przepływu, a między dnem rzeki od strony górnej i dolnej wody n kwadratów, to przy różnicy stanów wody górnej i dolnej równej h wyniesie strata ciśnienia w jednym kwadracie $h:n$, a więc przy długości boku kwadratu s , spadek wynosi $h:ns$. Na jednostkę szerokości przepływu wobec tego przez kwadrat objętość $ks h:n s = k h:n$. Ponieważ przestrzeń między fundamentem i warstwą nieprzepuszczalną podzielono na m części, więc całkowity przepływ wyniesie: $q = m k h:n$.

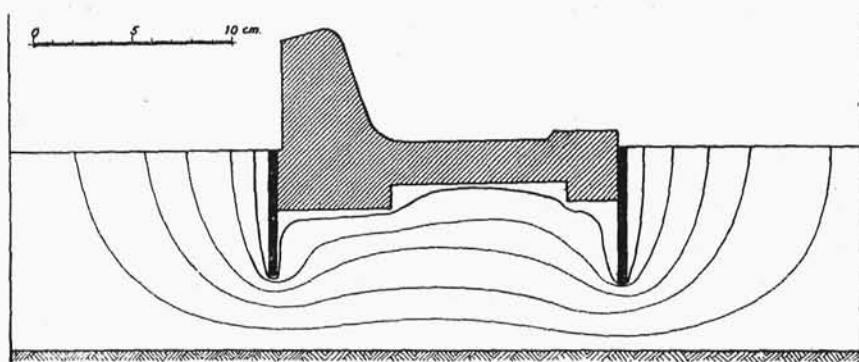
Odpowiednio do rysunku podzielono przestrzeń pod fundamentem na 7 pasków przepływu i 42 kwadraty. Przy różnicy poziomów górnej i dolnej wody $h = 5 m$, oraz współczynnika przepuszczalności $k = 0,001 m/sec$, ilość wody, przesiąkającej na 1 mb szerokości fundamentu wyniesie:

$$q = \frac{5,00 \times 0,001 \times 7}{42} = 0,00083 m^3/sec$$

Prawdziwość teoretycznego przebiegu drogi strug pod fundamentem sprawdzono zapomocą doświadczenia w Laboratorium Wodnym Politechniki Warszawskiej. Pomiędzy dwoma szklanymi

taflami (rys. 166), wstawiono model jazu wycięty z płatk gumy, 1 mm grubości wraz ze ściankami szczelnymi, i w ten sam sposób zaznaczono położenie warstwy nieprzepuszczalnej. Uszczelnivszy następnie pole nad modelem, z dwu zbiorniczków blaszanych przepuszczono wodę pod model, przy tak małej różnicy ciśnień, aby przejście odbywało się ruchem regularnym.

W zbiorniczek górny, powyżej jazu, były wstawione ołówki chemiczne, które rozpuszczając się w wodzie, barwiły strugę, znacząc wyraźnie jej drogę pod modelem. Fotografia (rys. 166) przedstawia trzy takie strugi. Rysunek 167 zdjęty z modelu przy

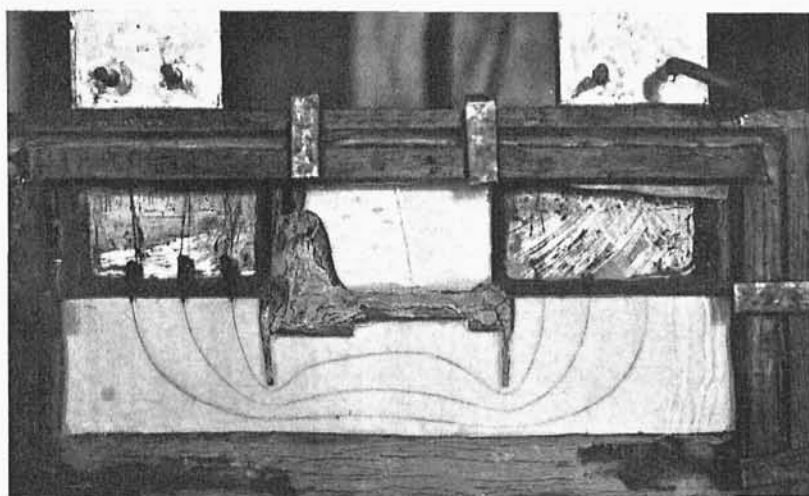


Rys. 167.

Wynik doświadczeń nad przebiegiem strug wody pod fundamentem. (Laboratorium Wodne Polit. Warsz.).

innem ustawieniu ołówek przedstawia pięć położań strug wody. Na rysunku widać wyraźnie, że ołówek, pozostawiony przy samej ścianie piętrzącej, znaczy drogę prawie dokładnie obchodzącą cały zarys ścianek i jazu. Przy głęboko leżącej warstwie szczelnej, (rys. 168), droga tej pierwszej strugi nie podnosi się tak znacznie pod fundament. Między ściankami i fundamentem znajduje się warstwa wody prawie w spoczynku, droga strugi zbliża się do położenia drogi najkrótszej, łączącej dolne końce ścianek. Następne strugi mają przebieg coraz bardziej płaski, i przy bardzo znacznej głębokości warstwy nieprzepuszczalnej dążą do położenia poziomego, równoległego z linią warstwy nieprzepuszczalnej. W głębokich warstwach zatem pierwotny ruch wody gruntowej skutkiem piętrzenia jazem nie jest już zakłócony. Na modelu wpływ zabliskich bocznych ścian ramy odchyła strugi ku pionowi, i zniekształca w ten sposób linję strugi.

Na rys. 165 zaznaczono linję spadu ciśnienia strugi przechodzącej najkrótszą drogą pod fundament.

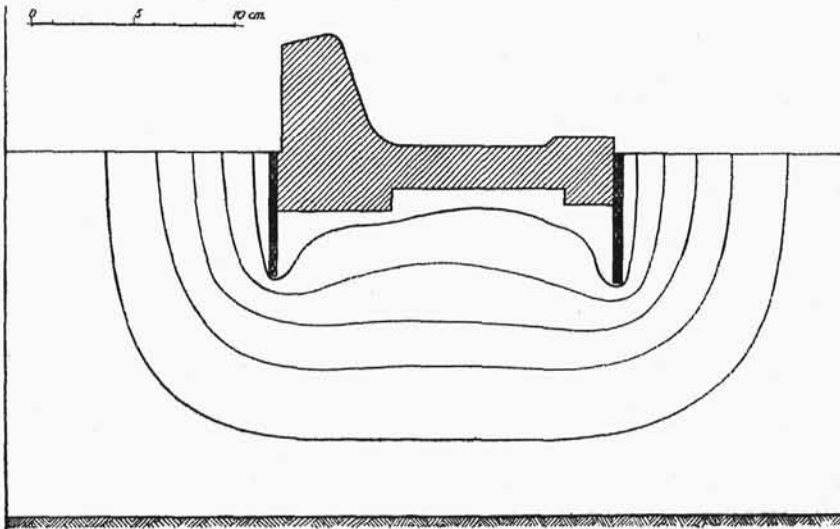


Rys. 166.

Doświadczenie wykonane w Laboratorium wodnym Politechniki Warszawskiej
nad przebiegiem strug wody pod fundamentem jazu.

Linja spadu ciśnienia pod jazem czy też przez groblę ziemną zbiornika, nie może przekraczać pewnej wartości, odpowiadającej takiej prędkości przepływu, przy której grunt zacznie być rozmywany.

Przez wypłukanie najdrobniejszych cząstek gruntu rozszerzają się drogi dla wody, rośnie prędkość przepływu, zostają porwane grubsze cząstki, przez co droga dla wody bardziej się rozszerza, w końcu pod ciśnieniem hydrostatycznym zostanie wypchnięty cały pozostały materiał grobli czy fundamentu jazu. Odwrotnie, przy małych prędkościach grunt się „zasysa”, tj. na skutek zjawiska adsorpcji osadzają się w nim z płynącej wody najdrobniejsze cząstki, nawet koloidalne, zwężają się drogi wody, i grunt



Rys. 168

Wynik doświadczeń nad przebiegiem strug wody pod fundamentem.
(Laboratorium Wodne Polít. Warsz.).

staje się coraz mniej przepuszczalnym. Doświadczeniem stwierdzono największe dopuszczalne spadki ciśnienia, które wynoszą:

w błocie i mule	1:18	Jaz w Narora, Ganges	spad 1:14
w miążkim piasku	1:15	„ na Delcie Nilu	„ 1:17
w grubszym piasku	1:12	„ Zifta na Nilu	„ 1:12*)
w piasku ze żwirem	1:9		
w utworach lodowcowych	1:9 do 1:5		

*) Mackenzie⁵⁶).

Doświadczenia Amerykańskie (Proc. of the A. S. of C. E. April 1933) dowodzą, że w utworach polodowcowych, żwirach, piaskach częściowo przemulonych, spad ciśnienia nie może przekroczyć 1:5

Cząstka gruntu zostanie wypłukana prądem wstępującym wody wtedy, gdy cząstka ta będzie utrzymana w zawieszeniu przeciw sile ciężkości.

Graniczną i niedopuszczalną już największą prędkość można obliczyć na podstawie następującego rozumowania:

Ciśnienie na cząstkę gruntu przy prędkości wody v będzie:

$$P = \frac{\gamma_w a v^2}{g}, \text{ gdzie } \gamma_w \text{ jest ciężarem gatunkowym wody, } a \text{ po-}$$

lem przekroju ziarna, v prędkością, g przyspieszeniem ziemskim. Cząstka będzie w równowadze niestałej wtedy, gdy ciężar jej w wodzie zrówna się z parciem wody ku górze, przy prędkości granicznej v_{gr} . Przyjmując że cząstka gruntu ma kształt kulisty i ciężar gatunkowy — γ_m otrzymamy prędkość graniczną:

$$v_{gr} = \sqrt{\frac{gP}{\gamma_w a}} = \sqrt{\frac{4\gamma_m d^3 g}{6\gamma_w d^2}} = \sqrt{\frac{2}{3} g d \frac{\gamma_m}{\gamma_w}} \quad (157)$$

Dla ciężaru gatunkowego wody 1,0, ciężaru gatunkowego skały 2,5 a po potrąceniu wyporu 1,5, otrzymamy wzór na prędkość graniczną

$$v_{gr} = \sqrt{\frac{2}{3} \times 1,5 \times 9,81 d} = 3,13 \sqrt{d} \quad (158)$$

Np. dla najdrobniejszych cząstek gliny, o średnicy 0,002 mm, lub 0,000 002 m, prędkość graniczna będzie: $3,13 \sqrt{0,000 002} = 0,0 044 \text{ m/sek}$, lub 380 m/24 godz .

Obliczona prędkość jest wystarczającą do podtrzymania w zawieszeniu cząstki gruntu przy prądzie wody pionowo w górę wstępującym. W rzeczywistości chodzi nam jednak o wypadek wysunięcia cząstki gruntu w kierunku poziomym, a zatem przewyższenie nie siły ciężkości, lecz znacznie mniejszych oporów tarcia i przyczepności między cząstkami. Rzeczywiste prędkości przy których grunt będzie z najdrobniejszych swych cząstek wyługowywany są wobec tego znacznie mniejsze niż obliczone wzorem powyższym.

l) Obliczenie przesiąkania przez groblę.

Grobla o wymiarach jak na rysunku 138 zbudowana jest na poziomej warstwie nieprzepuszczalnej. Zwierciadło górnej wody

jest na wysokości 22,95 *m* nad warstwą nieprzepuszczalną. Od strony dolnej wbudowano poziomy drenaż. Odległość od górnej wody do drenażu wynosi 35,30 *m*. Współczynnik przepuszczalności gruntu *k* wynosi 0,0 004.

Linje prądu według (107) wyrażą się:

$$\Psi = k \sqrt{(r_0 - L)(r - x)}$$

Wstawiając wartości $r_0 = 42,10$ i $L = 35,30$ otrzymujemy:

$$\Psi = k \sqrt{6,80(r - x)}$$

Linja prądu przechodząca przez punkt *A* jest linią zwierciadła. Równanie jej otrzymujemy podstawiając współrzędne punktu *A*:

$$\Psi = k \sqrt{6,80(42,10 - 35,30)} = 6,80 k$$

stąd: $6,80 k = k \sqrt{6,80(r - x)}$

i ostatecznie: $\sqrt{(r - x)} = \sqrt{6,80}$ lub $r - x = 6,80$

Z równania tego wyliczamy punkty krzywej zwierciadła:

<i>x</i>	−3,40	−2,00	−1,00	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
$v = 6,80 + x$	3,40	4,80	5,80	6,80	11,80	16,80	21,80	26,80	31,80	36,80
$y = r^2 - x^2$	0,00	4,36	5,71	6,80	10,69	13,50	15,82	17,84	19,64	22,29

Linje potencjału według (106) wyrażą się:

$$\Phi = k \sqrt{(r_0 - L)(r + x)}$$

lub wstawiając wartości r_0 i L :

$$\Phi = k \sqrt{6,80(r + x)}$$

Górną linię ograniczającą otrzymujemy jako przechodzącą przez punkt *A*. Równanie jej będzie:

$$\Phi = k \sqrt{6,80(42,10 + 35,30)} = 22,95 k$$

Dla wykreślenia całej siatki linii prądu i potencjału, przyjmujemy stałą różnicę parametrów dla obu rodzin $= 0,85$.

Przepływ określamy z (112):

$$q = k(r_0 - L) = 0,0004 \times 6,80 = 0,00272 \text{ m}^3/\text{sek i m/szer}$$

m) Obliczenie przesiąkania przez groblę o dwu warstwach jednorodnych.

W grobli złożonej z dwu pionowych warstw o grubości $L_1 = 5 \text{ m}$, $L_2 = 20 \text{ m}$ i współczynniku przepuszczalności pierwszej warstwy $k_1 = k$ i drugiej $k_2 = 10k$. Wysokość wody $H = 20,0 \text{ m}$. W pierwszym przybliżeniu znajdujemy z (105):

$$BG = \sqrt{20^2 + 5^2} - 5 = 15,62 \text{ m}$$

skąd: $q = 15,62 k_1$ i dalej: $AD = \frac{q}{k_2} = \frac{k_1}{k_2} \times 15,62 = 1,56 \text{ m}$

oraz: $BE = \sqrt{(20 + 1,56)^2 - 20^2} = 8,05 \text{ m}$

Znajdujemy poprawioną wartość BG :

$$BG' = \sqrt{L_1^2 + (H - 8,05)^2} - L_1 + 8,05 = 16 \text{ m}$$

oraz z (112a): $q = k_1 \frac{H^2 - 16^2}{2L_1} = k_1 \frac{20^2 - 16^2}{10} = 14,4 k_1$

skąd: $AD = \frac{q}{k_2} = \frac{14,4 k_1}{k_2} = 1,44 \text{ m}$

$$BE = \sqrt{(20 + 1,44)^2 - 20^2} = 7,72 \text{ m}$$

Znajdujemy powtórnie poprawioną wartość:

$$BG'' = \sqrt{5^2 + (20 - 7,72)^2} - 5 + 7,72 = 15,97 \text{ m}$$

i po przeliczeniu znajdujemy z dostatecznym przybliżeniem:

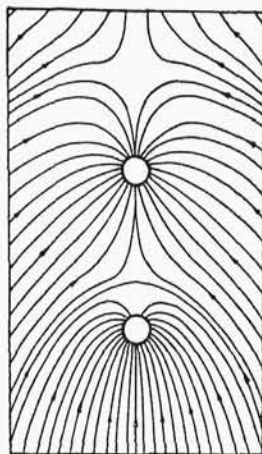
$$q = 14,4 k \quad AD = 1,44 \text{ m} \quad BE = 7,72 \text{ m}$$

Linja przesiąkania przy przejściu z jednej warstwy do drugiej tworzy uskok z 15,97 na 7,72. W rzeczywistości obie gałęzie linii przesiąkania łączą się, przechodząc w strefę przejściową, w której nie może być mowy o określonym potencjale.

2. Zasięg działania studzien.

Zasięg działania studni kończy się tam, gdzie strugi wody przestając płynąć w kierunku do studni i mijają ją. Nie mniej jednak kierunek ruchu strug mijających studnię ulega gruntownej zmianie, gdyż poniżej studni, z której się wodę czerpie, w warstwie przepuszczalnej nie może powstać próżnia, lecz warstwa ta wypełnia się wodą dopływającą z poza zasięgu studni. Wskutek tego tak kierunek ruchu jak i poziom zwierciadła wody gruntowej zostają na szerokim pasie zmienione nawet poza zasięgiem studni. Najlepiej ilustruje to przykład podany przez Slichter'a (rys. 169), który udowadnia, że poniżej studni głównej, z której będzie czerpana woda, może być w osi ruchu wybudowana druga, która też będzie dostarczać wody co prawda mniejszą ilość niż główna. Równowaga pierwotna ruchu wody w gruncie zostaje zachwiana na bardzo znacznej szerokości.

Granica zasięgu jest w planie teoretycznie rodzajem paraboli (Smrecker rys. 115 Rozdz. VI), której ramiona sięgałyby w nieskończoność i tam dopiero leżałyby do siebie równolegle, pod warunkiem jednak, gdyby warstwa wodonośna nie była nigdzie z zewnątrz zasilana. W rzeczywistości jednak warstwa wodonośna jest zasilana, czy to z bezpośrednio w nią przesiąkających opadów deszczowych, czy też przesiąkającej innej wody powierzchniowej. Granica zasięgu studni jest więc parabolą jedynie w najbliższym sąsiedztwie studni, dalej linja zasięgu biegnie nieregularnie, tak jednak, aby teren nią objęty, po granicę najdalej położonego podziemnego działu wód gruntowych, otrzymywał z zewnątrz stale zasilek wody powierzchniowej w ilości wody odpompowywanej. (Porównaj plan z lwowskiego terenu wodociągowego: Kamieniobród, Budzyń itd.) (rys. 42).



Rys. 169.

Plan zwierciadła wody
gruntowej przy poborze
wody z dwu studni.

Z tego rozpatrywania wynika, że określenie w planie całej linii zasięgu studni na drodze ściśle teoretycznej nie jest możliwe, szerokość zasięgu może być wyznaczona tylko w pobliżu studni, i to z pewnymi błędami, wynikającymi z powodu zmienności współczynnika przepuszczalności k w gruncie.

Szerokość pasa, z którego woda gruntowa do studni dopływa (przy założeniu jednak równoległości strug wody), da się obliczyć z prostego warunku, że ilość pompowanej ze studni wody Q musi się równać ilości dopływającej gruntem z pasa o szerokości L , że zatem:

$$Q = L k i H \quad (159)$$

gdzie L jest szerokością pasa zasięgu, k współczynnikiem przepuszczalności, i spadem zwierciadła wody, H grubością warstwy wodonośnej; znane względnie pomierzone muszą być: Q , k , i , H .

Wzory (51) i (52) podają zasięg studni z warstwy płynącej, w wypadku wolnego zwierciadła wody i pod ciśnieniem, tj. dla studzien artezyjskich, przy pomiarze odpowiednich wartości.

W Gas u. Wasserfach, Holler podaje swoją metodę obliczenia zasięgu działania studzien. Metoda ta nie może być ścisła ze względu na nieściśle założenia na jakich jest oparta, lecz przy niezbyt dużych spadach zwierciadła wody gruntowej a dużej miąższości wodonośca może dać dostatecznie przybliżone wyniki.

Jeśli przyjmiemy warstwę wodonośną o grubości a , stojącą pod ciśnieniem artezyjskim H , i płynącą w niej wodę w spadzie ciśnienia i , studnię w niej zapuszczoną o promieniu r , depresję s uzyskaną przez pompowanie, oraz poziom wody w studni $H - s = H_0$, przy poborze wody Q l/sek, to podług Holler'a możemy założyć, że przy poziomie zwierciadła dopływ wody do studni skończy się w takiej odległości R od osi studni, w której prędkość płynącej wody będzie równą naturalnej prędkości w gruncie, a zatem gdzie zwierciadło wody będzie miało spad zwrócony ku studni równy spadowi ciśnienia i . Oczywiście taki idealny krąg kołowy o promieniu R nie istnieje, przy małych spadach ciśnienia mógłby jednak być w przybliżeniu i zastępczo przyjęty. Wydatek studni będzie zatem równy:

$$Q = 2 \pi R a v$$

a dla $v = k i^{1/m}$:

$$Q = 2 \pi R a k i^{1/m} \quad (160)$$

Holler przyjmuje, za kilku autorami niemieckimi, że prędkość pozorna wody płynącej w gruncie zależna jest od $1/m$ potęgi

ze spadku a nie od pierwszej potęgi, podług wzoru Darcy. Jako współczynnik spadku przyjmuje: $1/m = 2/3, 3/4, 1, 0$.

$$Q = 2\pi R a k \left(\frac{dz}{dx} \right)^{1/m}$$

$$dz = \left(\frac{Q}{2\pi a k} \right)^m \frac{dx}{x^m}$$

a po scałkowaniu w granicach od x do x_1 , oraz z do z_1 otrzymamy:

$$z - z_1 = \left(\frac{Q}{2\pi a k} \right)^m \times \frac{1}{1-m} (x^{1-m} - x_1^{1-m}) \quad (161)$$

Wstawiając zamiast $x_1 = r$ i $x = R$, oraz odpowiednio $z_1 = h_0$ $z = H$ otrzymamy:

$$H - h_0 = s = \left(\frac{Q}{2\pi a k} \right)^m \times \frac{1}{1-m} (R^{1-m} - r^{1-m}) \quad (162)$$

wstawiając wartość na Q otrzymamy w końcu:

$$s = \frac{1}{1-m} R^m i (R^{1-m} - r^{1-m}) \quad (163a)$$

wyrażając i w promillach otrzymamy:

$$\frac{s}{1000 i} = \frac{R}{1000 (m-1)} \times \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{m-1} - 1 \right] \quad (163b)$$

Dla wszystkich wartości m większych od 1, przy pomierzonych s , i , oraz r , można obliczyć R , a z niego szerokość pasa, z którego jest czerpana woda w ilości pompowanej Q . Szerokość ta będzie $L = 2R\pi$, a wydatek warstwy na 1 m długości $q = \frac{Q}{L}$. Współczynnik przepuszczalności obliczyć można ze wzoru:

$$Q = L a k i^{1/m}, \text{ skąd } k = \frac{Q}{L a i^{1/m}}$$

Przyjmując zgodnie z prawem Darcy $m=1$, otrzymamy związki następujące:

$$q = 2\pi R a k i = \frac{2\pi k a s}{\ln R - \ln r}$$

a stąd:
$$\frac{s}{1000i} = \frac{R}{1000} \times \ln \frac{R}{r} \text{ oraz } k = \frac{Q}{aLi}$$

Dla studni nieartezyjskiej, o wolnem zwierciadle wody, ustalić się dadzą związki następujące:

$$Q = 2R\pi Hk i^{1/m} = 2\pi xzk \left(\frac{dz}{dx} \right)^{1/m} \quad (164)$$

$$z^m dz = \left(\frac{Q}{2\pi k} \right)^m \frac{dx}{x^m}$$

a po scałkowaniu w granicach $x_1 = R$ do $x = r$, oraz $z_1 = H$ do $z = H - s$, otrzymamy:

$$H^{m+1} - (H-s)^{m+1} = \frac{m+1}{m-1} \times \left(\frac{Q}{2\pi k} \right)^m \times \left(\frac{1}{r^{m-1}} - \frac{1}{R^{m-1}} \right) \quad (165)$$

a ponieważ:
$$\left(\frac{Q}{2\pi k} \right)^m = H^m R^m i$$

otrzymamy ostatecznie:

$$\frac{s}{1000i} \frac{H^{m+1} - (H-s)^{m+1}}{H^m s (m+1)} = \frac{R}{(m-1)1000} \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{m-1} - 1 \right] \quad (166)$$

kładąc: $s = \beta H$,

zaś:
$$\frac{H^{m+1} - (H-s)^{m+1}}{(m+1)H^m s} = \alpha = \frac{1 - (1-\beta)^{m+1}}{(m+1)\beta}$$

otrzymamy:

$$\frac{\alpha s}{1000i} = \frac{R}{1000(m-1)} \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{m-1} - 1 \right] \quad (167)$$

dla prawa Darcy $1/m = 1$, otrzymamy związek:

$$\frac{\alpha s}{1000i} = \frac{R}{1000} \ln \left(\frac{R}{r} \right) \quad (168)$$

Różnica pomiędzy wzorami na wolne zwierciadło i pod ciśnieniem artezyjskiem polega tylko na tem, że w drugim wypadku $\alpha = 1$, gdy w pierwszym jest pewną funkcją β tj. funkcją ułamka $\frac{s}{H}$.

T A B E L A 19.

$$\beta = \frac{s}{H}; \alpha = \frac{1 - (1 - \beta)^{m+1}}{(m+1)\beta}$$

$\beta = \frac{s}{H}$	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0
$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	0,965	0,93	0,855	0,79	0,72	0,66	0,60	0,545	0,49	0,445	0,42	0,40
$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	0,97	0,94	0,87	0,81	0,745	0,69	0,63	0,585	0,525	0,475	0,45	0,43
$\frac{1}{m} = 1$	0,975	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,525	0,50

Holler podaje poniżej przytoczoną tabelę 20 na szerokość zasięgu działania studzien L , obliczoną dla różnych wykładników m , oraz różnych promieni r . Z całkowania wynika, że jako odległość r może nie być wzięty promień studni, lecz, że można przyjąć dowolny punkt obserwacyjny w odległości r od studni, przy czym depresja s liczona będzie w tym punkcie, zgodnie z założeniami od poziomu pierwotnego, do poziomu w czasie pompowania. Promień r może być obrany w dowolnym kierunku.

Holler utrzymuje, że wykładnik $1/m$ należy przyjmować równy $2/3$, jako dający wartości najbardziej zbliżone do prawdy, że natomiast wykładnik wzoru Darcy $1/m=1$ daje szerokość L zadużą i nierealną. Mając dwa punkty obserwacyjne w odległości r_1 i r_2 , oraz zamierzone rzeczywiste s_1 i s_2 , można z podanych tabel znaleźć taki wykładnik $1/m$, który da wartości na L dla obu punktów jednakowe.

Przykład: studnia o średnicy wiercenia 400 mm, średnicy rury ssącej 200 mm, zatem o promieniu do środka filtru 150 mm, przy depresji 0,60 m, warstwie wodonośnej 6,0 m grubości, leżącej w spadzie ciśnienia $2^\circ/_{100}$, daje 5,0 l/sek wydatku. Dla studni artezyjskiej będzie $\alpha = 1$, stąd:

$$\frac{\alpha s}{1000 i} = \frac{1 \times 0,60}{2} = 0,30$$

Z tabeli odczytać można, że dla $m = 2/3$, szerokość zasięgu wynosi $L = 101$ m, dla $m = 3/4$, $L = 145$ m, dla $m = 1$, $L = 324$ m. Wydatek metra bieżącego terenu będzie w pierwszym wypadku 0,05 l/sek, w drugim 0,0344 l/sek, w trzecim 0,0154 l/sek. Z tego przykładu widać, jak bardzo wpływa na wynik obliczenia przyjęcie wykładnika spadu zw. wody gruntowej, względnie spadu ciśnienia. Najpewniejsze wartości daje wykładnik wzoru Darcy $m = 1$.

T A B E L A 20

szerokości zasięgu studni: L

dla: s —depresji w punkcie odległym o r od osi studni, H —poziomie ciśnienia nad warstwą nieprzepuszczalną, i —spadzie zwierciadła wody przy wolnym zwierciadle, względnie spadzie ciśnienia przy studni artezyjskiej.

Współczynnik $\alpha = 1,0$ dla studni artezyjskiej.

Zasięg L liczony dla wykładnika wzoru na prędkość: $v = k i$; dla: $m = \frac{2}{3}$, $m = \frac{3}{4}$, $m = 1,0$.

$\frac{\alpha s}{1000 i}$	$r = 0,15 m$			$r = 0,25 m$			$r = 0,50 m$			$r = 1,0 m$			$r = 2,0 m$		
	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$
0,005	8	9	13	10	11	14	14	15	18	20	21	24	29	30	33
0,01	12	14	21	15	17	23	20	22	28	28	30	36	40	42	47
0,03	24	29	48	29	35	53	38	44	63	51	57	76	70	76	94
0,06	36	47	84	44	55	92	57	70	107	75	89	126	102	115	152
0,1	50	67	128	60	78	140	78	98	160	103	123	186	137	158	220
0,3	101	145	324	121	168	348	156	206	388	202	257	442	264	318	510
0,6	159	237	588	190	274	630	242	336	696	311	413	783	405	513	885
1,0	219	342	915	263	394	980	337	482	1080	431	590	1195	555	730	1345
3,0	450	758	2400	537	872	2550	685	1055	2775	873	1280	3040	1120	1570	3370
6,0	710	1255	4450	846	1447	4725	1075	1740	5100	1363	2110	5560	1750	2570	6085
$\frac{\alpha s}{1000 i}$	$r = 5,0 m$			$r = 10,0 m$			$r = 20,0 m$			$r = 30,0 m$			$r = 40,0 m$		
	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$	$\frac{1}{m} = \frac{2}{3}$	$\frac{1}{m} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{m} = 1$
0,005	53	54	55	87	88	89	152	153	154	216	217	218	280	280	281
0,01	67	69	74	106	108	111	175	177	179	240	242	244	305	306	308
0,03	139	115	131	159	165	180	242	248	260	317	322	333	388	392	402
0,06	168	168	202	218	231	263	318	331	360	405	416	442	484	496	520
0,1	203	226	282	282	303	360	420	420	473	500	520	570	590	610	655
0,3	380	446	630	509	574	756	695	760	940	841	910	1080	975	1040	1205
0,6	575	701	1070	760	886	1255	1018	1146	1516	1220	1350	1710	1395	1525	1875
1,0	785	975	1600	1030	1235	1860	1370	1580	2200	1630	1840	2455	1840	2065	2665