

3. Cechy wydajności studzien i charakterystyka wydajności terenów wodociągowych.

Przy wodzie artezyjskiej wydatek jej jest wprost proporcjonalny do depresji s o ile pominiemy opory tarcia w samej rurze studziennej:

$$\frac{Q}{2\pi k a} \ln \frac{x_1}{x} = z_2 - z_1 = s$$

Przy wolnem zwierciadle wody wydatek nie jest wprost zależny od depresji lecz od różnicy kwadratów obniżonej wysokości i nieobniżonej:

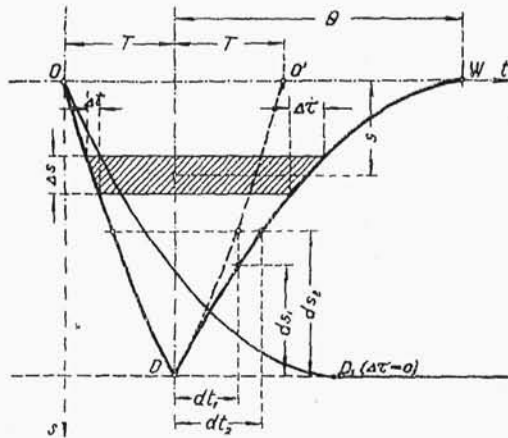
$$\frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{x_1}{x} = H^2 - h_0^2 = (H - h_0)(H + h_0) = s(2H - s)$$

Dla dużego H , tj. dla głębokiej warstwy wodonośnej, oraz dla nieznacznych stosunkowo depresyj s , wyraz $(2H - s)$ będzie się mało różnił od $2H$, zatem początkowa wydajność studni będzie zależeć w prostym stopniu od depresji i dopiero przy wzmagającej się znacznie depresji będzie przechodzić w funkcję krzywolinią (patrz rozdział VI). Jeśli nazwiemy przez e stosunek wydatku studni Q do depresji s , to dla studni artezyjskiej będzie e miało wartość stałą, zaś dla studni zapuszczonych w grubą warstwę wodonośną i przy stosunkowo niezbyt znacznych depresjach, wartość e będzie również praktycznie biorąc stałą. Stosunek e nazywa R. Rosłoński¹⁶⁾ cechą wydajności studni, gdyż istotnie cechuje ona wartość każdej studni pod względem wydajności.

Cecha wydajności studni dla studzien artezyjskich może być określona dopiero po długotrwałej próbie pompowania, wówczas gdy nastąpi równowaga między naturalnym dopływem wody gruntowej do studni, z pasa o pewnej szerokości, a depresją. Początkowo, przy pompowaniu pewnej stałej ilości wody ze studni będzie ona pobierana ze zwiększającego się do pewnej granicy stożka depresyjnego, oraz z naturalnego dopływu. Ponieważ w gruntach przepuszczalnych stożek ma znaczne kubatury, równowaga, czyli ustalenie się wydatku dla pewnej depresji, względnie ustalenie się pewnej depresji przy stałym wydatku, następuje dopiero po dłuższym przeciągu czasu. Wymaga to zatem czasu i kosztu, co często, jak przy studniach fabrycznych, jest nawet zgoła niedopuszczalne. R. Rosłoński¹⁶⁾ podaje metodę szybkiego wyznaczenia cechy wydajności studni w krótkim przeciągu czasu na podstawie pomia-

rów równoczesnych: wydatku, depresji i czasu jaki ubiega w trakcie pompowania wody ze studni, a następnie, wznoszenia się i czasu, po przerwaniu pompowania.

Wyobraźmy sobie nieobniżone zwierciadło wody w studni w poziomie O (rys. 170), a najniższe jeszcze możliwe — w wyso-



Rys. 170.

Wykres depresji i wznoszenia się wody w studni.

kości smoka w poziomie D . Niechaj krzywa $O-D$ przedstawia krzywą depresyjną z czasu pompowania równego T , krzywa $D-W$ krzywą wznoszenia się w czasie O . Wykonawszy kład pierwszej o 180° dookoła osi przechodzącej przez punkt Δ i biorąc pod uwagę nieskończenie mały element nad najniższym poziomem, otrzymamy z podobieństwa trójkątów:

$$dt_1 : dt_2 = ds_1 : ds_2$$

gdzie dt_1 jest nieskończenie małym czasem pompowania, dt_2 — wznoszenia się; ds_2 jest chyżością depresyjną, a ds_1 — chyżością wznoszenia się. Ponieważ ds_2 jest wprost proporcjonalne do ilości pompowanej wody dq_1 , pomniejszonej o ilość napływającej do studni (dq_2) przeto ostatnie równanie możemy napisać także w postaci następującej:

$$dt_1 : dt_2 = dq_2 : (dq_1 - dq_2)$$

Przechodząc od ilości nieskończenie małych do pomierzalnych w jakiegokolwiek warstwie wody o wysokości Δs , napiszemy z uwagi na ostatnie:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{W}{P - W}$$

jeśli przez W oznaczymy ilość wody napływającą do studni, przez P — ilość pompowaną w ciągu małego czasu pompowania Δt i wznoszenie się $\Delta \tau$.

Z ostatniego, po dodaniu obustronnie jedności, otrzymujemy bardzo prosty wzór:

$$W = \frac{P \Delta t}{\Delta t + \Delta \tau} \quad (169)$$

Wydaźność studni w pewnej warstwie wody jest równa ilości pompowanej przez czas pompowania, a podzielonej przez sumę czasów pompowania i powtórnego wypełnienia się tej warstwy.

Z ostatniego równania w postaci: $P \Delta t = W(\Delta t + \Delta \tau)$ wynika że: $P = 2 W$, jeżeli $\Delta t = \Delta \tau$, to zn. ilość czerpanej wody równa się dwukrotnej wydaźności studni, jeśli czasy spompowania pewnej warstwy wody i wyczekiwania na jej wypełnienie się są sobie równe, oraz że dla $P = W$ musi być $\Delta \tau = 0$. Zerem może być jednak $\Delta \tau$ tylko w tym wypadku, jeśli styczna do krzywej depresyjnej przebiega poziomo (na rys. 170 krzywa $O - D_1$), innymi słowy, jeśli ilość czerpanej wody równa się wydaźności studni, co jest rzeczą znaną, potwierdzającą zgodność wzoru.

Uciekając się z kolei do metod graficznych, podzielmy cały słup wody od nieobniżonego zwierciadła wody do spodu rury ssącej, na paski takiej wysokości, równej lub nierównej, by w niej zmienne Δt i $\Delta \tau$ można uważać za stałe. Z pomocą silnej pompy, której wydaźność będziemy ustawicznie kontrolować w czasie pompowania, dążymy do spompowania wody, mierząc jaknajczęściej depresję, odpowiadającą czasowi pompowania. Po spompowaniu wody, co objawi się zerwaniem się słupa wody w rurze ssącej i zaprzestaniu pompowania, mierzymy bezwzględnie wznoszenie się wody, czyli malejącą depresję i odpowiadający im czas dopóty, dopóki zdepresjonowany poziom wody nie wróci mniej więcej do położenia pierwotnego. Na podstawie tych obserwacji będziemy mogli w odpowiedniej podziałce nakreślić krzywą opadania i wznoszenia się w funkcji czasu i odczytać z rysunku wszystkie Δt i $\Delta \tau$, odpowiadające spompowaniu i wznoszenia się poszczególnych warstw wody; poczem ze wzoru:

$$W = \frac{P \Delta t}{\Delta t + \Delta \tau}$$

łatwo obliczamy wydaźność każdej warstwy, odczytując z synchronizowanego wykresu pompowego przynależne P . Jeżeli w po-

łowie wysokości każdego paska (warstwy) zaczepimy odpowiadającą mu depresję s , mierzoną od nieobniżonego zwierciadła wody, otrzymujemy dwa szeregi odpowiadających sobie spostrzeżeń:

$$W_1, W_2, W_3 \dots W_n$$

$$s_1, s_2, s_3 \dots s_n$$

mających sprawdzić równanie $W = es$ ($e = \text{const}$), które łatwo wyrównać i obliczyć odpowiadającą studni cechę wydajności e . Że zdjęta przy tej sposobności krzywa wznoszenia się posłużyć może do równoczesnego obliczenia miana nieprzepuszczalności c , względnie współczynnika przepuszczalności k , rozumie się samo przez się.

Tak przeprowadzona próba pompowania i wydajności, o ile wszystko idzie składnie, trwa około godziny, względnie dłużej, jeżeli przybór wody w studni następuje powoli. Więcej czasu potrzeba poświęcić obliczeniom; niemniej jednak cały proces badania i obliczeń ogranicza się do godzin tylko, a nie do miesięcy, co jest dużym zyskiem. Pewną trudność przy początkowych pomiarach sprawiał pomiar wydajności pompy P , z tego powodu, ponieważ wydajność jej musi być kontrolowana niemal z minuty na minutę, przy malejącej wydajności pompy odśrodkowej w miarę wzrostu depresji (ssania) i niejednostajnej pracy lokomobili. Pomiar przelewem nie wiedzie do celu, a to wskutek opóźnienia obserwacji, powodowanego zbyt powolnym wzrostem strugi na przelewie i zbyt powolnym ściekaniem wody podczas samego pompowania i ku końcowi pompowania, jeśli przed przelewem umieścimy konieczny zbiornik. Najpraktycznijszem okazało się mierzenie ilości pompowanej wody w wózkach żelaznych, używanych do przewozu ziemi, o ruchomej, wywracalnej kolebce, którą przedtem należy ocechować marką (czerwoną linią na obwodzie wewnętrznym), umieszczoną na kilkanaście centymetrów poniżej górnych brzegów kolebki. Na hasło i sekundę, jednym rzutem rąk odwraca się kolebkę do góry pod strugę wody, wyczekuje się napełnienia do marki, obserwując czas napełnienia, poczem opróżnia się je przez wywrót i podstawia napowrót pod rynnę lub rurę pompową itd. Nawet przy większych ilościach pompowanej wody można łatwo w ten sposób wykonać jeden pomiar na minutę, co nawet przy dużej zmienności pompowanej wody wystarcza. Użyte w ten sposób obserwacje zestawia się w wykres pompowania, który należy czasowo związać z krzywą depresyjną, poczem łatwo obliczyć, względnie odczytać, ilość pompowanej wody w czasach $\Delta t_1, \Delta t_2 \dots \Delta t_n$, tj. $P_1, P_2 \dots P_n$. W tym celu na-

leży przed rozpoczęciem pompowania zegarki obserwatorów depresji i pompowanej wody zsynchronizować.

T A B E L A 21.

Studnia Nr. 3. Obliczenie e_3 (pomp. 23.IX.1919).

L. p.	Δt sek	P l/sek	$P \Delta t$	$\Delta \tau$ sek	$\Delta t + \Delta \tau$ sek	$W = \frac{P \Delta t}{\Delta t + \Delta \tau}$ l/sek	s m	$W s$	s^2
1	40	31,85	1 274	1 040	1 080	1,180	0,55	0,6 490	0,3 025
2	50	35,76	1 788	620	670	2,668	1,05	2,8 014	1,1 025
3	50	36,43	1 822	410	460	3,960	1,55	6,1 380	2,4 025
4	55	36,00	1 980	310	365	5,425	2,05	11,1 212	4,2 025
5	55	34,60	1 903	230	285	6,676	2,55	17,0 238	6,5 025
6	65	34,00	2 210	200	265	8,340	3,05	25,4 370	9,3 025
7	70	32,75	2 293	170	240	9,555	3,55	33,9 203	12,6 025
8	75	30,25	2 269	150	225	10,084	4,05	40,8 402	16,4 025
9	95	28,43	2 701	140	235	11,490	4,55	52,2 795	20,7 025
10	105	28,16	2 956	130	235	12,578	5,05	63,5 189	25,5 025
11	120	26,60	3 192	125	245	13,020	5,55	72,2 610	30,8 025
12	165	24,45	4 034	120	285	14,140	6,05	85,5 470	36,6 025
								$\Sigma = 411,5373$	166,4 300

Na rys. 171 przedstawiono krzywą opadania, wznoszenia się oraz wykres pompowania, uzyskane z pompowania studni 3-ciej w dn. 23.IX.1919. Z obserwacji wykresów znaleziono następujące wydajności z 12-stu warstw, na które podzielono słup wody i następujące wielkości depresji, odpowiadające tym warstwom, a liczone od nieobniżonego zwierciadła wody do środków warstw, zestawione w tabeli.

Z równania, określającego wydajność w funkcji depresji:

$$W = e s$$

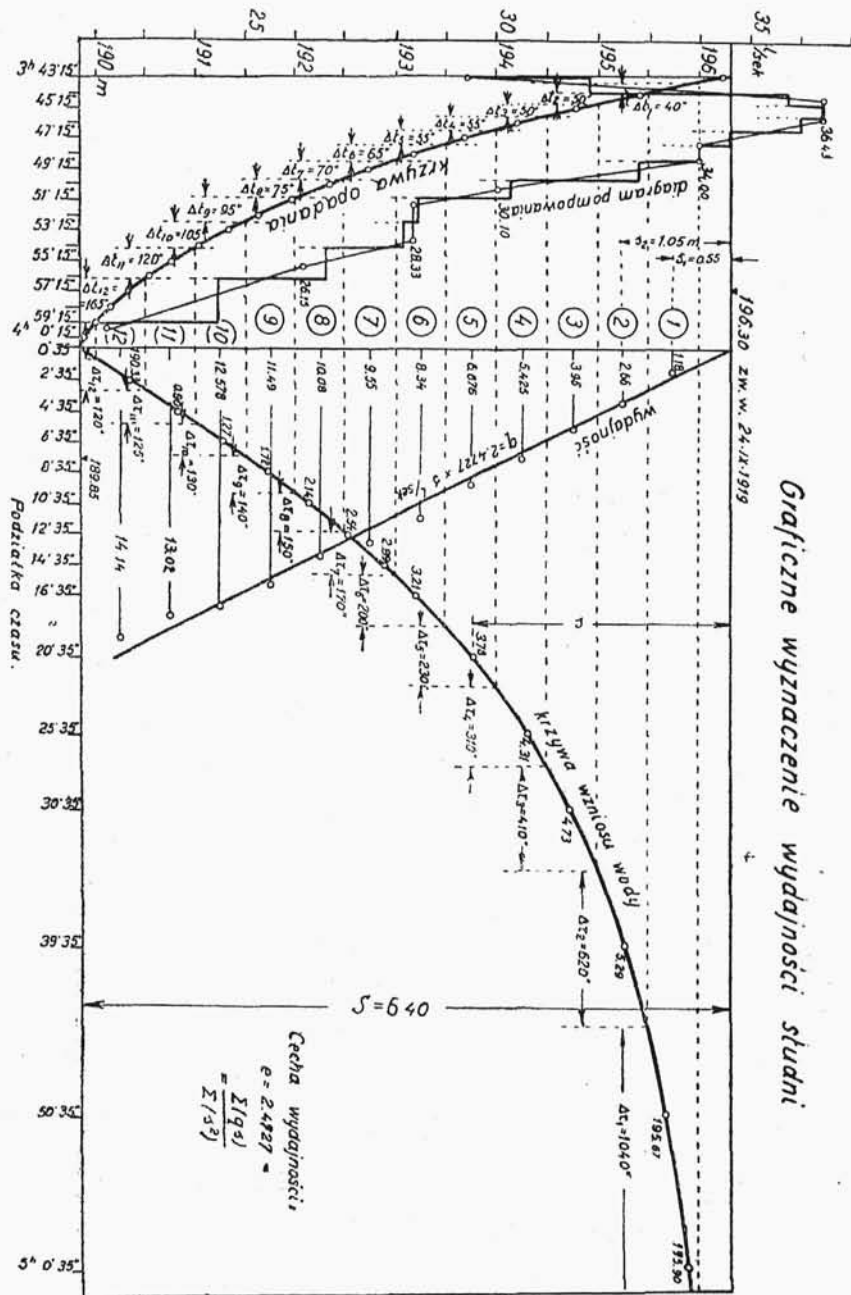
otrzymujemy, pisząc metodą rachunku wyrównawczego:

$$\Sigma (W) = e \Sigma (s)$$

$$\Sigma (W s) = e \Sigma (s)^2$$

$$e = \frac{\Sigma (W s)}{\Sigma (s)^2} = \frac{411,54}{166,43} = 2,4727 \text{ l/sek/m}$$

Stąd wynika, że 2,4727 l/sek jest ilością wody, dającą się uzyskać ze studni Nr. 3 przy depresji 1 m, czyli 4,94 l/sek, przy depresji 2 m, czyli $3 \times 2,473 = 7,42$ l/sek, przy depresji 3 m itd.

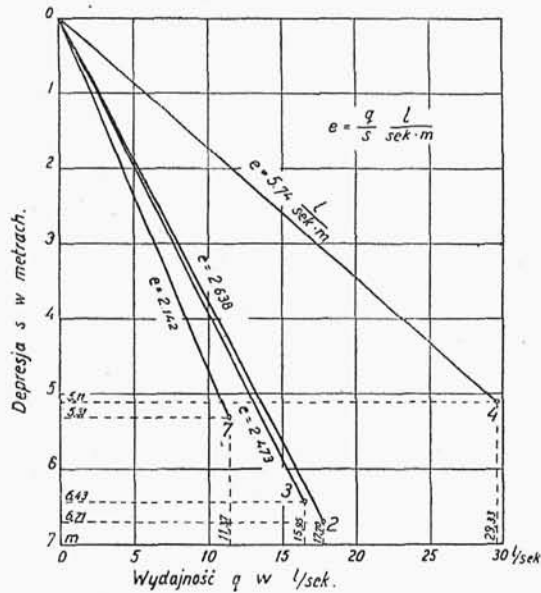


Rys. 171.

Wykreślny sposób wyznaczenia wydajności studni (według Rosłowskiiego).

Położona o 100 m na południe studnia próbna Nr. 3 wykazała z długotrwałego pompowania: $e = 2,13$ l/sek/m zatem różnicę nieznaczną. Tą samą metodą przeprowadzono także badanie wydajności studzien Nr. 2, 4 i 7 i uzyskano następujące cechy wydajności (rys. 172).

$$e_2 = 2,638, \quad e_3 = 2,473, \quad e_4 = 5,740, \quad e_7 = 2,142 \text{ l/sek/m}$$



Rys. 172.

Cechy wydajności dla szeregu studzien.

Przy pompowaniu stałej ilości wody Q na sek np. zapomocą pompy tłokowej, wyznaczenie wydajności studni znacznie się upraszcza.

Porchet^{42, 43}) podaje następującą metodę pracy. Gdy w ciągu czasu t , pompując objętość sekundową Q otrzymaliśmy ogólny wydatek studni $E = Qt$, oraz mierzoną od jakiegoś poziomu końcową depresję s , cały wydatek E był pokryty przez objętość wypompowaną ze stożka depresyjnego V_s , oraz przez zmienny wydatek studni Q_s , zależny od depresji s . Możemy zatem ustawić

$$\text{równanie:} \quad E = \int_0^t Q_s dt + V_s = Qt \quad (170)$$

$$\text{Stąd możemy wyznaczyć: } Q = \frac{\partial V_s}{\partial s} \frac{ds}{dt} + Q_s \quad (171)$$

Po przerwaniu pompowania stożek się napełni w ciągu okresu czasu Θ na skutek zmiennego dopływu wody Q_s zależnego od depresji s . Objętość zawarta w stożku depresyjnym będzie się zatem równać:

$$V_s = \int_0^{\Theta} Q_s dt$$

a stąd:

$$Q_s = - \frac{\partial V_s}{\partial s} \frac{ds_1}{dt} \quad (172)$$

gdzie $\frac{ds_1}{dt}$ jest styczną do podnoszącego się ramienia krzywej napełniania stożka.

Eliminując z równań (171) i (172) wyraz $\frac{\partial V_s}{\partial s}$ otrzymamy równanie, określające wydatek studni Q_s dla depresji s :

$$Q = \frac{-Q_s}{\frac{ds_1}{dt}} \frac{ds}{dt} + Q_s \quad (173)$$

lub:

$$Q_s = \frac{-\frac{ds_1}{dt}}{\frac{ds}{dt} - \frac{ds_1}{dt}} Q \quad (174)$$

Jeśli AB (rys. 173) jest ramieniem opadającym krzywej stanów wody podczas pompowania, zaś BC ramieniem wznoszącym się po przerwaniu pompowania przy stanach, pomierzonych najlepiej limnigrafem, to będzie: $\frac{BD}{AD} = \frac{ds}{dt}$ oraz: $\frac{BD}{DC} = -\frac{ds_1}{dt}$

stąd po wstawieniu wartości oblicza się $Q_s = Q \frac{AD}{AC}$ (175)

Dla studni artezyjskiej w elektrowni łódzkiej znaleziona cecha wydajności studni jest $e = 2,22 \text{ l/sek}$. Dla studni w Tczewie około $6 \text{ m}^3/\text{godz/m}$. Dla studni artezyjskiej Nr. VIII w Cisowej koło Gdyni wydatek nie jest wprost proporcjonalny do depresji s lecz $Q = 42,2 \text{ s}^{2/3} \text{ l/sek}$, w granicach depresji 1,41 do 2,87 m. Odchylenie od prawa prostoliniowego pochodzi niewątpliwie z powodu oporów na siatce filtracyjnej.

Z równania (149a):

$$60C = 2,302 \frac{\pi r}{4k}$$

wynika, że wartość C dla stałej średnicy studzien $2r$, zapuszczonych w danym terenie jest odwrotnie proporcjonalna do współczynnika przepuszczalności k , jest zatem cechą *nieprzepuszczalności* terenu w pobliżu danej studni. Ponieważ wydatek studni można przyjąć za wprost proporcjonalny do depresji, a jest on wprost proporcjonalny do współczynnika przepuszczalności, wynika stąd, że przy stosowaniu w danym terenie wodociągowym studzien o tej samej średnicy, iloczyn:

$$e C = A \quad (176)$$

winien dać stałą charakteryzującą dany teren wodonośny. W równych warunkach tj. dla stałej średnicy studzien zapuszczonych w danym terenie, oraz dla stałej grubości złoża wodonośnego, będzie wydajność wzrastać wprost proporcjonalnie do współczynnika przepuszczalności k , a tak samo i cecha wydajności $q:s$.

R. Rosłowski¹⁶⁾ podaje obliczenie charakterystyki terenu w Prałkowcach, na podstawie znanych: cechy wydajności e oraz miana nieprzepuszczalności C dla 4-rech badanych studzien o bardzo różnych wartościach na e i C . Jak z obliczenia wynika wartość $Ce = \text{const} = A$, jest dla wszystkich czterech studzien mimo to stała w granicach błędu doświadczeń.

$$C_2 = 44,074 \quad C_3 = 49,355 \quad C_4 = 24,540 \quad C_1 = 62,076$$

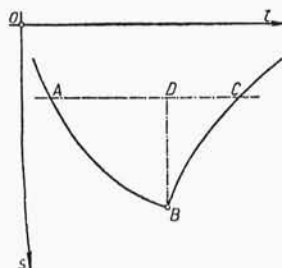
$$e_2 = 2,6382 \quad e_3 = 2,4727 \quad e_4 = 5,7397 \quad e_1 = 2,1421$$

W myśl wywodów poprzednich ($\frac{e}{k} = \text{const}$), musi być dla każdej studni w obrębie całego terenu:

$$Ce = \text{const} = A$$

lub:
$$e = A \frac{1}{C} \quad (176a)$$

Równanie powyższe wypowiada związek prostej (nie uwikłanej) odwrotności między dwiema zmiennymi e i C , rzadki co prawda w przyrodzie, którego wyobrażeniem jest hyperbola.



Rys. 173.

Związek między wydajnością a wznoszeniem się wody w studni (Porchet).

Niemniej widać już na pierwszy rzut oka, że taki związek między poszczególnymi zmiennymi e i C rzeczywiście zachodzi, że jednak wartość liczbowa A należy oznaczyć rachunkiem wyrównawczym. Pisząc jak zwykle:

$$\Sigma(e) = A \Sigma\left(\frac{1}{C}\right)$$

$$\Sigma\left(e \frac{1}{C}\right) = A \Sigma\left(\frac{1}{C}\right)^2$$

otrzymujemy:
$$A = \frac{\Sigma\left(e \frac{1}{C}\right)}{\Sigma\left(\frac{1}{C}\right)^2} = \frac{0,3784104}{0,0028454} = 132,99 \cong 133,00$$

Obliczenie stałej A .

T A B E L A 22.

Spostrze- żenie	$\left(e \frac{1}{C}\right)$	$\left(\frac{1}{C}\right)^2$
2)	0,0 598 572	0,0 005 148
3)	0,0 501 010	0,0 004 105
4)	0,2 338 940	0,0 016 606
7)	0,0 345 578	0,0 002 595
	0,3 784 104 =	0,0 028 454 =
	= $\Sigma\left(e \frac{1}{C}\right)$	= $\Sigma\left(\frac{1}{C}\right)^2$

Równanie w postaci $e = 133 \frac{1}{C}$, gdzie e liczone w litrach na sekundę na metr depresji, C zaś — w metrach na minutę, przedstawia związek, zachodzący między cechą wydajności studzien, a mianem nieprzepuszczalności terenu, ważny dla całego terenu i danego typu studzien. W równaniu tem $A=133$, przedstawia charakterystykę wydajności terenu, czyli jego wartość eksploatacyjną (rys. 174).

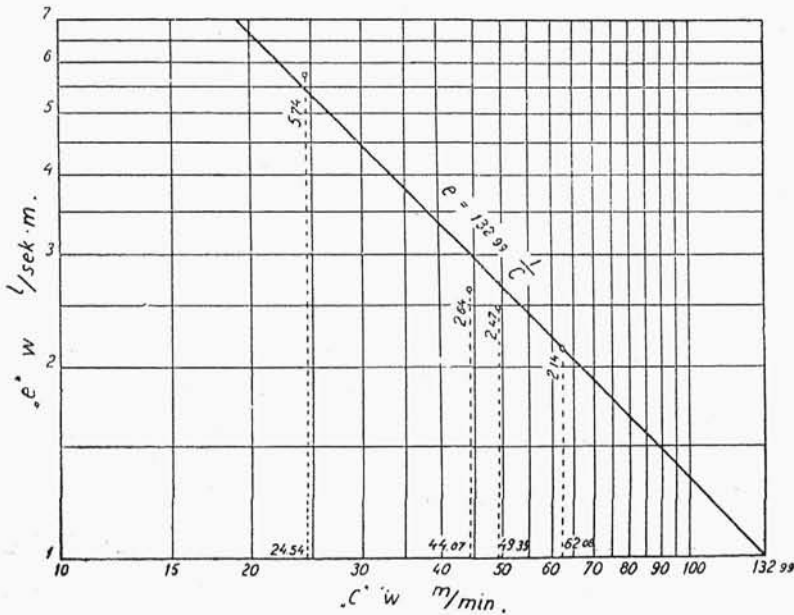
Do równania ostatniego możemy zaraz dopisać dalsze. Mnożąc obie strony równania przez s tj. przez wielkość depresji, otrzymujemy:

$$es = 133 \frac{s}{C} \quad (176b)$$

Ponieważ $es = Q$ jest ilością wody w litrach, czerpaną na sekundę ze studni przy obniżeniu s zatem:

$$Q = 133 \frac{s}{C} \quad (176c)$$

z ważnością, jak poprzednie, dla całego terenu.



Rys. 174.

Związek między cechą wydajności studni e , a mianem nieprzepuszczalności.

Przeliczając wartość C na k i pamiętając o tem, że dla studzien przemyskich jest $r = 1,00$, $k = \frac{0,03}{C}$, oraz że z uwagi na k , mające się wyrazić w metrach, należy stałą A podzielić przez 1000 (gdyż e liczono w $l/sek/m$), napiszemy:

$$\frac{e}{k} = \frac{0,13\ 299}{0,03} = 4,433 \quad (\text{Przemysł})$$

gdzie e liczone w metrach sześciennych na sekundę.

Dla innych terenów obliczone wartości charakterystyki terenu są następujące:

Swierczków, Tarnów:	$e = 0,003$	$m^3/sek/m$,	$k = 0,00\ 075$	$e : k = 4,00$
Bielany Kraków:	$e = 0,004\ 376$	„	$k = 0,00\ 085$	$e : k = 5,15$
Stryj w Stryju:	$e = 0,0596$	„	$k = 0,0\ 056$	$e : k = 10,62$
Uróz Drohobycz:	$e = 0,0\ 133$	„	$k = 0,00\ 124$	$e : k = 10,50$
(Bystrzyca)				

4. Filtracja powolna na filtrach angielskich i pospieszna na filtrach amerykańskich.

Opory przy przejściu wody przez piasek filtrów czyli strata spadku na filtrze zależą od prędkości filtrowania, czyli wydatku filtra na jednostkę czasu, następnie od grubości ziarna piasku, w końcu od porowatości złoża piaskowego. Do tych oporów dodaje się rosnący w miarę filtrowania opór wynikający z utworzenia się organicznej błonki filtrującej na filtrach powolnych, a przemulania się górnych warstw złoża na filtrach pospiesznych. Łączne opory nie mogą przekroczyć pewnej granicy poza którą nastąpiłoby przebicie warstwy filtrującej, i dopływ wody niefiltrowanej bezpośrednio do kanałów drenowych ułożonych pod złożem. Granica ta jest dla każdego materiału filtrowego oraz jego grubości odrębnie ustalona praktycznie.

Opory wynikające z zamulania się i „wrobienia się” filtru są zmienne, opory samej warstwy filtrującej stałe. Opory stałe mogą być z góry określone powyżej podanymi wzorami Allen-Hazen’a, dla znalezionej średnicy miarodajnej piasku użytego na budowę złoża i współczynnika c około 1 000. Doświadczenia wykonane w Laboratorium w Detroit dowodzą jednak, że wyniki obliczeń tym wzorem dają odchyłki od pomierzonych wartości dochodzące do max. 84,7%, a w przecięciu dla 16 badanych piasków 36,6%. Natomiast opory wyliczone wzorami podanymi przez Laboratorium dają dla tychże samych 16 piasków odchyłki średnio 2,1%, maksymalnie 5,5%, minimalnie 0%. Ten mały błąd w obliczeniu dał się osiągnąć przy następującym sposobie stosowania wzorów.

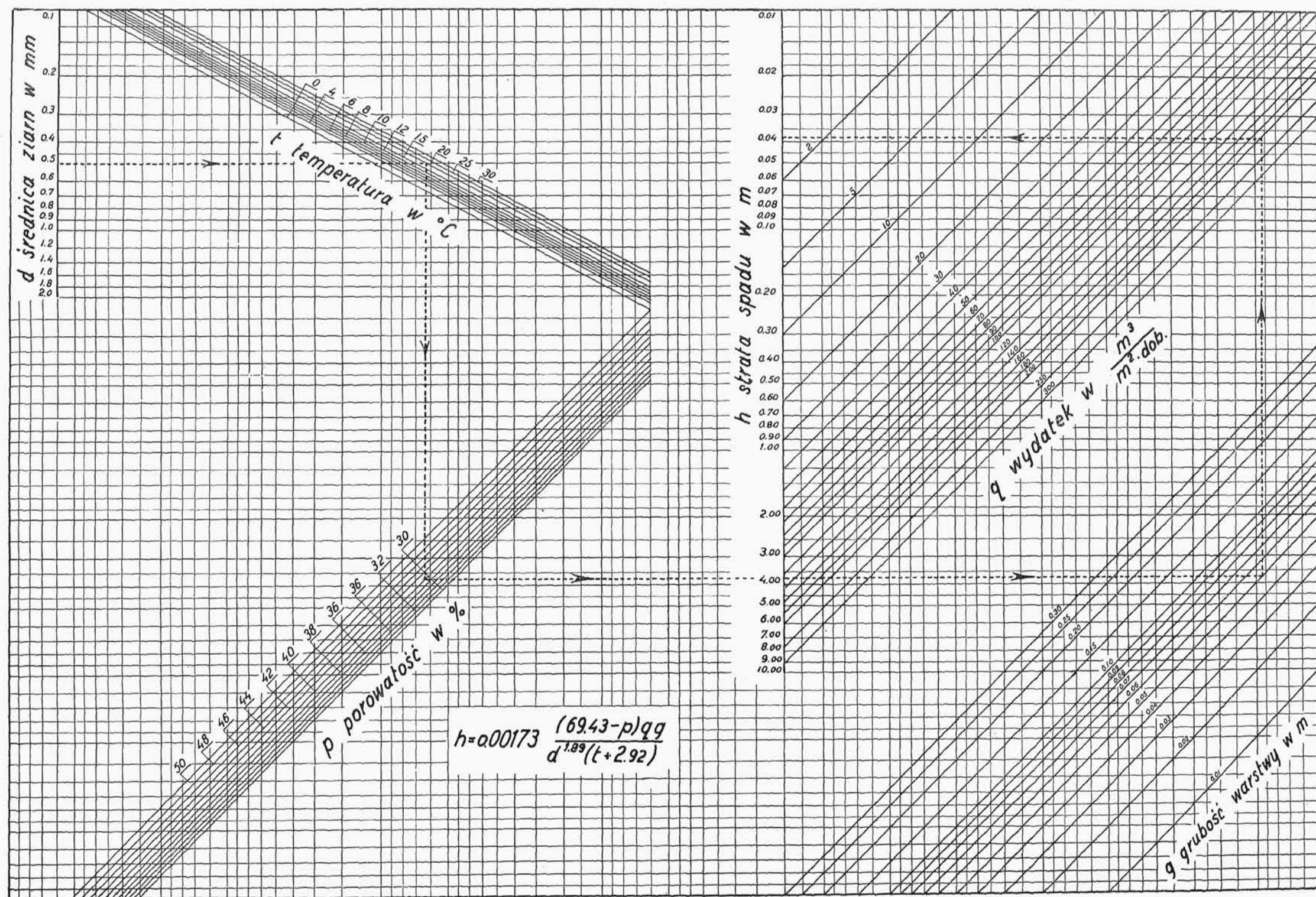
O ile użyty piasek ma ziarno równe, opory dają się dokładnie obliczyć na zasadzie znanej grubości ziarna, procentu porowatości i wydatku filtra. O ile ziarno piasku jest nierówne, przy filtrach powolnych, musi być wprowadzona w obliczenie średnica zastępcza, co zawsze jest źródłem błędów. Naogół jednak przy filtrach angielskich, opory stałe mają małą wartość bezwzględną z powodu małej prędkości filtrowania. Błąd w obliczeniu praktycznie nie gra dużej roli. Inaczej rzecz się ma przy filtrach pośpiesznych, gdzie wobec dużych prędkości filtrowania opory są znacznie większe. Ze sposobu eksploatacji tych filtrów wynika jednak, że po przepłukaniu filtra odwrotnym prądem wody, materiał złoża układa się w warstwach zgodnie z prawem Stokes'a, wzór (2), najgrubsze ziarna na dole, najdrobniejsze u góry. Gdybyśmy założyli grubość warstwy 1,0 m, i na podstawie analizy mechanicznej znaleźli, że w materiale złoża znajduje się 10% ziarna o grubości d mm (jako średnica między d_1 i d_2), to możemy przyjąć, że materiał o grubości d , złożył się warstwą grubości 0,1 m. Jeśli w ten sposób całe złożo podzielimy na warstwy o grubości odpowiadającej procentowemu udziałowi ziarna o danej średnicy w całym materiale złoża, to całkowity opór przejścia wody przez złożo możemy uważać za sumę oporów przy przejściu przez poszczególne warstwy o pewnej grubości i pewnej stałej już średnicy ziarna. Tak obliczone opory zgadzają się z oporami zmierzonymi w powyżej podanych minimalnych granicach błędu.

Obliczenie to jest ściśle dla filtrów pośpiesznych, dla których system mycia materiału filtrowego zmusza go do segregacji naturalnej na warstwy o różnej grubości ziarna. Przy filtrach powolnych obliczenie to da rezultaty ścisłe gdyby system układania materiału filtra pozwolił tę segregację od razu sztucznie przeprowadzić.

Załączony wykres na rys. 175, wzięty z Eng. N. Rec. 1.XII 1932 przeliczony na miary metryczne pozwala łatwo obliczyć opory w obu przytoczonych wypadkach. Dla przyjętego spadu $i=1,0$, lub w wartościach podanych na wykresie, zakładając stratę spadu h równą grubości złoża g , znaleziony wydatek będzie współczynnikiem przepuszczalności k , odpowiadającym danemu materiałowi złoża, w tym wypadku niekoniecznie filtrowego. Wykres ten posłuży zatem także do obliczenia współczynnika przepuszczalności k dla gruntów naturalnych o znanej średnicy miarodajnej ziarna, znanej porowatości oraz znanej temperatury wody.



MP.66



L I T E R A T U R A

NA KTÓRĄ POWOŁANO SIĘ W TEKŚCIE.

1. Zunker. Das Verhalten des Bodens zum Wasser. 1930.
2. Prinz, E. Handbuch der Hydrologie. Berlin, 1919.
3. Keilhack, K. Grundwasser und Quellenkunde. Berlin, 1919.
4. Koehne, W. Grundwasserkunde. Stuttgart, 1928.
5. Range. Das Grundwasser in den Trockengebieten der Erde. Zeitschrift für prakt. Geologie. Berlin, 1923.
6. Steuer, Ph. Die Entstehung des Grundwassers. Stuttgart, 1907.
7. Zunker. Neue Einblicke in die Wasserführung des Bodens. Der Kulturtechniker. Breslau, 1926.
8. Imbeaux, Ed. Essai d'Hydrogéologie. Paris, 1930.
9. Rosłoński, R. Hydrologja w zakresie nauki o wodach podziemnych. Podręcznik Inżynierski pod red. S. Bryły, Warszawa—Lwów, 1928.
10. Mandoul, H. Les eaux d'alim. de la ville de Toulouse. Paris, 1898.
11. Pawłowski, St. Geografja Polski. Lwów, 1917.
12. Lindley, W. H. Auffindung von Bezugsquellen für die Wasserversorgung. München, 1908.
13. Martel, E. A. Les abimes ou pouits naturels. Biuletyn 19 Unji Geodezyjnej i Geofizycznej. Paris, 1933.
14. Gärtner. Die Quellen..... Jena, 1902.
15. Kirk Bryan. Classification of springs. The Journal of Geology, vol. XXVII. Chicago, 1919.
16. Rosłoński, R. Zbiornik wody gruntowej w Prądkowcach nad Sanem. Prace Polskiego Instytutu Geologicznego. Warszawa, 1924.
17. Rychłowski, B. Materiały do hydrologji Królestwa Polskiego. Warszawa, 1917.
18. Lewiński, J. Badania hydrogeologiczne okolic Warszawy Roboty Publiczne, Warszawa, 1921.

19. Baldwin-Wiseman, W. R. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London, 1906.
20. Lewiński, J. Budowa geologiczna i ukształtowanie powierzchni okolic Tomaszowa Mazowieckiego. Sprawozdania Polskiego Instytutu Geologicznego. Warszawa, 1933.
21. Michael, R. Die geologischen Verhältnisse der Oberschlesischen Industrie-Bezirk. Zeitschr. f. obereschles. Berg-u. Hüttenmänner, 1911.
22. Lugeon, J. Précipitation atmosphériques, écoulement et hydroélectricité. Paris, 1929.
23. Rybczyński, M. Nowsze poglądy w dziedzinie obwałowania rzek. Inżynierja Rolna. Warszawa, 1929.
24. Łopuszański, J. Doświadczenia z drenowaniem gruntów mineralnych. 1932.
25. Bac, St. i Ostaszewski, W. Sprawozdanie z działalności działu hydrotechnicznego Zakładu doświadczalnego uprawy torfowisk pod Sarnami. Inżynierja Rolna, Warszawa, 1931.
26. Terzaghi, K. Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Leipzig u. Wien, 1925.
27. Zestawienie rozbiórów polskich rodzimych wód mineralnych. Wyd. Związku Uzdrowisk Polskich, t. IV, Warszawa, 1930.
28. Palmer, Ch. The geochemical interpretation of water analysis. United States Geological Survey. Bulletin Nr. 479, Washington, 1911.
29. Nadolski, O. Powstawanie i sposoby ujmowania źródeł mineralnych.
30. Clarke, F. W. The data of geochemistry. U. S. Geol. Survey, Bulletin Nr. 770, Washington, 1924.
31. Maillet, E. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Paris, 1905.
32. Rosłoński, R. Woda gruntowa w dorzeczu Sanu. Biuletyn Tow. Geofizyków w Warszawie, zesz. 6, 1932.
33. Stanton, T. E. and Pannel, J. R. Similarity of motion in relation to the surface friction of fluids. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1914.
34. Davies, S. J. and White, C. M. A review of flow in pipes and channels. Engineering, London, 1929.
35. Schiller, L. Zeitschr. f. ang. Math. u. Mech., Berlin, 1921.
36. Schiller, L. Über den Strömungswiderstand von Rohren verschiedenen Querschnitts und Rauheitsgrades. Zeitschr. f. ang. Math. u. Mech. Berlin, 1923.
37. Lea, F. Ch. Hydraulics. London, 1930.

38. Hopf, L. Die Messung der hydraulischen Rauigkeit. Zeitsch. f. ang. Math. u. Mech., Berlin, 1923.
39. From, K. Strömungswiderstand in rauen Rohren. Zeitsch. f. ang. Math. u. Mech. Berlin, 1923.
40. Forchheimer, Ph. Hydraulik. Leipzig u. Berlin, 1930.
41. Sichardt, W. Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen u. seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung ins besondere für grössere Absenkungstiefen. Berlin, 1928.
42. Porchet, M. Etude des eaux souterraines de la Crau. Paris, 1930.
43. Kozeny, J. Über das Grundwasser der Crau-Ebene an der Rhonemündung. Die Wasserwirtschaft. Wien, 1931.
44. Kyrieleis, W. — Sichardt, W. Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten. Berlin, 1930.
45. Forchheimer, Ph. Grundwasserspiegel bei Brunnenanlagen. Zeitschrift des österreich. Ingenieur - u. Arch. - Vereines. Wien, 1898.
46. Weber, H. Die Reichweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen. Berlin, 1928.
47. Kozeny, J. Theorie u. Berechnung der Brunnen. Wasserkraft u. Wasserwirtschaft. München, 1933.
48. Ehrenberger, R. Versuche über die Ergiebigkeit von Brunnen. Zeitsch. des öster. Ing. u. Arch. Ver., Wien, 1928.
49. Kozeny, J. Grundwasserbewegung bei freiem Spiegel. Wasserkraft u. Wasserwirtschaft. München, 1931.
50. De Vos. Das Strömen von Wasser durch Erddämme und deren Unterlage. I-er Congrès des grands barrages. Stockholm, 1933.
51. Pawłowski, N. (Leningrad). The flow of water through earthen dams. I-er Congrès des grands barrages. Stockholm, 1933.
52. Glenon Gilboy. Hydraulic fill dams. I-er Congrès des grands barrages, Stockholm, 1933.
53. Bodaśzewski, Ł. Teorja ruchu wody na zasadzie ruchu falowego. Lwów, 1902.
54. Slichter, Ch. S. The motion of underground water. U. S. Geol. Survey, Water supply and irrigation paper No. 67, Washington, 1902.
55. Weber, H. Über die Wiederauffüllung von Grundwasserabsenkunstrichtern. Bauingenieur, Berlin, 1933.
56. Mackenzie. Notes on irrigation works. London, 1910.
57. Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, 1933.
58. Geitel, H. Die Radioaktivität der Erde und der Atmosphäre. Handbuch der Radiologie, t. I. Leipzig, 1920.

ERRATA

Strona

- 43 wiersz 19 z góry zamiast 1896, ma być: 1906
- 128 " 1 " " po słowie jednak opuszczono i: (jednak i)
- 169 " 7 " dołu zamiast wpływów, ma być: wypływów
- " 23 " góry " przyływ, " " przepływ
- 174 " 12 " " " $Q=Q_0 e^{\alpha(t-t_0)}$, ma być: $Q=Q_0 \cdot e^{\alpha(t-t_0)}$
- 199 wzór (45), powinno być: $m = \frac{1 - \sqrt{1-B(1-a^2)}}{1-a}$
- 205 we wzorze (62) w mianowniku drugiego wyrazu opuszczono J : $\left(\frac{Q}{2\pi k a J} \right)$
- 221 wiersz 1 i 3 z dołu we wzorach winno być: H zamiast h_0
- 231 " 9 z dołu powinno być: $BE = \sqrt{(L_2 + AD)^2 - L_2^2}$
- 248 w tytule tabeli winno być „współczynnik przepuszczalności”.
- 260 wiersz 15 z góry we wzorze w mianowniku 2 niepotrzebne: $\left(\frac{Q}{\pi k} \right)$
- 269 we wzorze (154) winno być: $\frac{p\pi}{3} [(l-s_2)^3 - (l-s_1)^3]$
- 299 wiersz 10 z góry we wzorze w mianowniku 2 niepotrzebne: $\left(\frac{Q}{\pi k} \right)$



nr. 66

ERRATA DO I CZĘŚCI HYDROLOGJI.

- Stron.* 5. W tabeli II, ostatnie dwie kolumny zamiast 0,54 i 0,13, ma być 5,4, 1,3
- „ 12. Na rys. 6. Izoterma południowo-zachodnia biegnąca przez Karpaty ma być oznaczona cyfrą 6°, zamiast 8°.
- „ 71. w. 16 z góry po słowie „Prostopadle”, dodać „do dwósiecznych”
- „ 76. w. 1 z dołu zamiast I_{mm} , ma być H_{mm} .
- „ 77. w. 1 z dołu we wzorze czas t wyrażony w minutach.
- „ 91. w. 9 z dołu zamiast „poprzednio”, ma być „na stron. 106 i 107”.
- „ 06. w. 2 z góry zamiast „Erns”, ma być „Ems”.
w. 9 z dołu po słowie „danej”, dodać „średniej”.
w. 5 z dołu zamiast E_m'' , ma być E'' .
- „ 107. w. 9 z góry zamiast „rosy”, ma być „powietrza w punkcie rosy”.
w. 12 z góry zamiast $\frac{30}{P}$ ma być $\frac{30}{P_p}$.
- „ 109. w. 1 z dołu zamiast $\frac{760}{P - P_{max}}$ ma być $\frac{760}{P_p - P_{max}}$.
- „ 116. w. 10 z góry zamiast „ziarna”, ma być „drobne ziarna”.
- „ 121. w. 9 z dołu po słowie „grafikon”, dodać „procentowego rozdziału”.
- „ 127. w. 10 z góry zamiast „100 $\frac{V-v}{w}$ ” ma być „100 $\frac{V-v}{v}$ ”
- „ 153. w. 12 z góry we wzorze opuszczono litery H po cyfrze 0,718 i 0,449.
w. 19 „ na końcu wzoru zamiast 91 — 139
w. 22 „ „ „ „ 61 — 91
- „ 174. w. 14 z góry po słowie „mniejszej”, dodać „lub większej”.
- „ 194. w tabeli XLII zamiast H ma być μ .
- „ 204. w. 19 z góry zamiast $Q_{max}=1+2 A^{-0,3}$, ma być $Q_{max}=Q_w (1+2 A^{-0,3})$.
- „ 215. Uwaga do wiersza 1 z dołu „powierzchnię zlewni.. zredukowaną. współczynnikiem φ ” — na pow. o współczynniku spływu 0,9.
- „ 216. W tabeli XLVIII w kolumnie 10-ej wierszu pierwszym jest 1365 powinno być 136,5.
- „ 237. w. 1 z góry jest (v^3) powinno być $\Sigma (v^3)$.
w. 10 „ „ $\Gamma (18,021)$ powinno być $\Gamma (18,921)$.

Errata przedstawiono str. i wiersz 1 i 2 od dołu.