

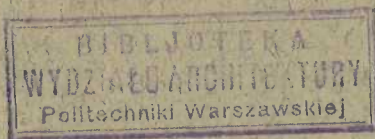
NG.

Inż. A. SZNIOLIS.
Oddział Inżynierji Sanitarnej
Państwowej Szkoły Higjeny.

PRZEMYWANIE PIASKU NA FILTRACH POWOLNYCH

Odbitka z „Przeglądu Technicznego”

WARSZAWA



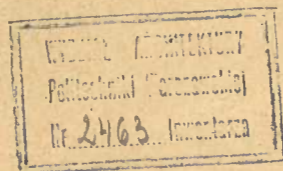
Inż. A. SZNIOLIS
Oddział Inżynierji Sanitarnej
Państwowej Szkoły Higieny.

PRZEMYWANIE PIASKU
NA FILTRACH POWOLNYCH



628.1:66.06

WARSZAWA
1929



Oczyszczanie złoża piaskowego filtrów powolnych (angielskich) przez zeskrobywanie górnej warstwy piasku, usuwanie go z filtru i przemywanie, oraz ponowne wznawianie warstwy piasku są niewątpliwie najbardziej uciążliwymi operacjami, jakie ma do dokonywania zarząd każdego zakładu wodnego, posiadającego ten rodzaj filtrów.

W Europie operacje te przeprowadzane są przeważnie przy pomocy pracy ręcznej (z wyjątkiem płókania piasku), natomiast w St. Zjedn. A. P. wszystkie filtry powolne są zaopatrzone w urządzenia, które pozwalają wykonywać tę pracę mechanicznie, a więc szybciej — co jest niezmiernie ważne dla podniesienia wydajności ogólnej filtrów — taniej i z mniejszą ilością robotników.

Celem niniejszego mego artykułu będzie zaznajomienie czytelników z urządzeniami amerykańskimi, które są stosowane do przemywania piasku i hydraulicznego transportu tegoż, oraz podanie tych danych, na których amerykanie opierają obliczenia swych urządzeń.

Dla ujęcia całości tematu i wyjaśnienia znaczenia niektórych liczb, z jakimi spotykamy się dalej, uważam za wskazane podać wymagania amerykańskie, jakie są stawiane w stosunku do piasku używanego do filtrów, oraz metodę analizy mechanicznej piasku.

Piasek do filtrów i jego analiza mechaniczna.

Piasek używany do filtrów powinien być ostry, twardy i odporny na działanie wody. Najlepszym materiałem jest piasek kwarcowy lub kwarcytowy. Nie powinien on zawierać więcej ponad 2% wapna i magnezu. Pozatem piasek, wybrany do filtrów, powinien być wolny od gliny lub drobnych cząstek innych materiałów, ciał organicznych i t. p.

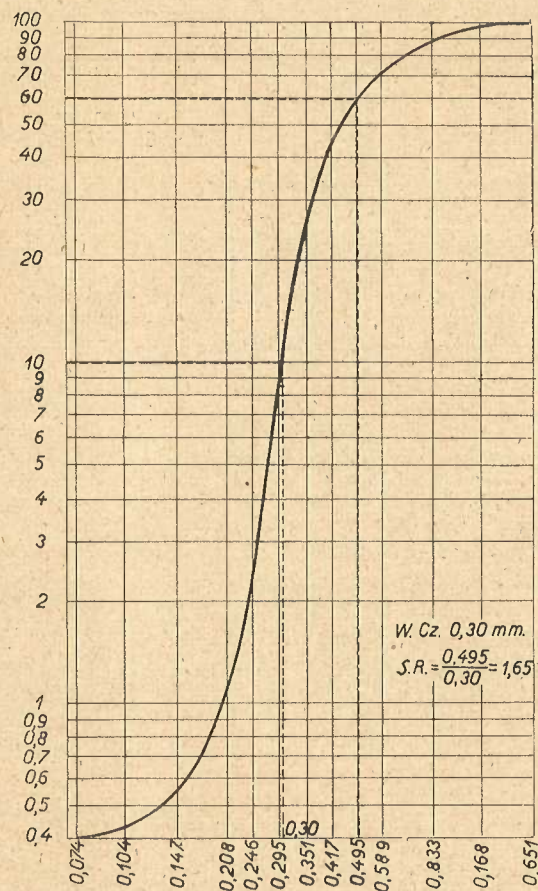
Zawartość gliny oblicza się według mętności, jaką piasek wytwarza w czystej wodzie. W tym celu wrzuca się 10 gramów piasku do naczynia, zawierającego 1 litr czystej wody, miesza się usilnie i, po zostawieniu wody w spokoju w ciągu 1 min, określa się mętność wody według amerykańskiej metody normalnej (standard). Otrzymałą liczbę, charakteryzującą mętność wyrażoną w mg/l, mnoży się przez 100 dla określenia mętności w stosunku do 1 kg piasku.

W zależności od stopnia rozdrobnienia cząstek, waga gliny zawartej w piasku będzie równała się od $\frac{1}{2}$ do $\frac{2}{3}$ mętności określonej w powyższy sposób. Amerykańskie zakłady wodne wymagają przeważnie, aby mętność, jaką wytwarza piasek naturalny, nie przekraczała liczby 4000 mg/l, co odpowiada w przybliżeniu 0,2% gliny.

Dla określenia składu piasku pod względem wielkości ziarn, stosuje się metodę mechanicznej analizy piasku, która była zapoczątkowana pierwotnie na stacji doświadczalnej w Lawrence, Mass, w r. 1890, a dziś jest stosowana powszechnie w całym St. Zjedn. W ciągu trzydziestu kilku lat metoda ta była stale ulepszana i korygowana na podstawie ogromnej ilości badań, dokonanych przez szereg pracowni na terenie St. Zjedn.

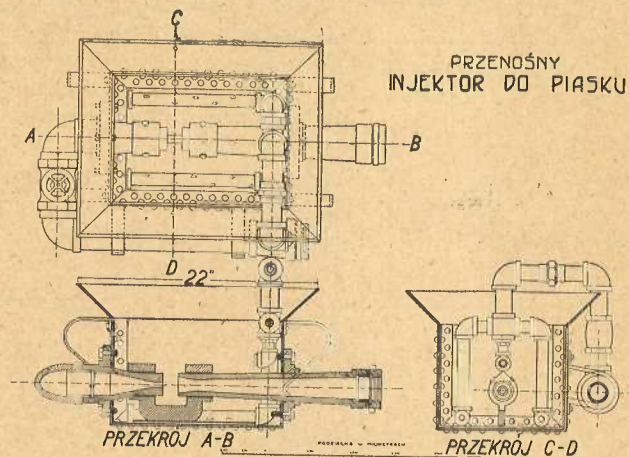
Zaletą tej metody jest możliwość określenia składu mechanicznego piasku, a zatem i jego własności, zapomocą dwóch liczb charakterystycznych, t. zw. wymiaru czynnego i spólczynnika równomierności.

Allen Hazen, na podstawie wielu badań piasku i jego zdolności filtracyjnych, doszedł do wniosku, że najbardziej decydujący wpływ na własności filtracyjne piasku mają najdrobniejsze jego ziarna, stanowiące ok. 10% całej ilości piasku. Te 10%



Rys. 1. Krzywa składu mechanicznego piasku.

najdrobniejszych ziarn mają wpływ większy, aniżeli pozostałe 90%. Tłumaczy się to tem, że najdrobniejsze ziarnka piasku wypełniają przestrzeń pomiędzy większemi i, zmniejszając w ten sposób wielkość otworków pomiędzy poszczególnemi ziarnkami, wpływają na szybkość filtracji, wydajność filtru, opór, jaki stawia złożu przepływającej wodzie, na porowatość piasku i t. d.



Rys. 2. Przenośny injektor do piasku.

Z badań tych wynikło, że dla piasku, jako materiału filtrującego, mają znaczenie właśnie 10% jego ziarn najdrobniejszych, a nie 8 lub 12%. Wobec tego, Hazen nazwał wymiarem czynnym (effective size) taką średnicę ziarnka, od której mniejszą posiada 10% ziarenek piasku, wziętych na wagę.

Drugą liczbą, charakteryzującą piasek, jest współczynnik równomierności, który określa się jako stosunek średnicy ziarna, od której 60% wag. ziarn piasku ma średnicę mniejszą, do maksymalnej średnicy 10% najdrobniejszych ziarn, czyli do wymiaru czynnego.

Ten współczynnik charakteryzuje równomierność ziarn piasku, a szczególnie ściśle określa wymiar połowy całej ilości piasku.

Sposób określania składu mechanicznego piasku jest następujący:

Bierze się przeciętną próbę piasku, w sposób powszechnie używany, w ilości 110 — 120 gramów. Po wysuszeniu próby, waży się 100 g piasku i wysypuje się do kolumny sit, ustawionych jedno nad drugim, od największego wymiaru u góry do najmniejszego u dołu.

W St. Zjedn. używa się przeważnie sit Tyler'a w następującym komplecie, uwidocznionym w kolumnie 2 i 3 tabeli I.

Wymiary otworów każdego nowego kompletu sit powinny być sprawdzone doświadczalnie.

Po wsypaniu próby piasku do największego sita i zamknięciu kolumnki pokrywą, wstrząsa się odpowiednią ilość razy kolumnkę ręcznie lub przy pomocy osobnych maszyn, specjalnie do tego celu wykonanych. Wstrząsanie powinno być umiarkowane, żeby większość ziarn przeszła przez sito odpowiedniego wymiaru, jednak nie do tego stopnia, aby przy dalszem wstrząsaniu ani jedno ziarenko nie mogło przejść przez sito. Ziarna piasku są nieprawidłowej formy, dzięki czemu przy silnem wstrząsaniu ziarno może przejść przez sito, nie odpowiadające większości jego wymiarów.

Za prawidłowe wstrząsanie uważa się takie, jeżeli przy podwójnej liczbie wstrząśnień przechodzi przez sito o około 10% więcej piasku niż normalnie.

Po zakończone przesiewaniu, waży się poszczególne frakcje piasku, rozpoczynając od ziarn najdrobniejszych.

Wyniki wpisuje się do kolumny 4 tabeli I.

Na podstawie otrzymanych w ten sposób danych, wykreśla się krzywą mechanicznego składu piasku według wielkości ziarn i zawartości %-ej poszczególnych frakcyj.

Tabela I.

L.p	S i t a		Pozostało na sicie g	Ilość g przesianego przez sito piasku	% %
	Liczba otwo- rów	Wymiar otworu w mm			
1	2	3	4	5	6
0	denko	—	a	0	0
1	200	0,074	b	a	a'
2	150	0,104	c	a + b	b'
3	100	0,147	d	a + b + c	c'
4	65	0,208	e	a + b + c + d	d'
5	60	0,246	f	a + b + c + d + e	e'
6	48	0,295	g	a + b + + f	f'
7	42	0,351	h	a + b + g	g'
8	35	0,417	i	a + b + h	h'
9	32	0,495	j	a + b + i	i'
10	28	0,589	k	a + b + j	j'
11	20	0,833	l	a + b + k	k'
12	14	1,168	m	a + b + l	l'
13	10	1,651	n	a + b + m	m'
		>1,651	—	a + b + n	100'

Do wykreślenia krzywych używa się różnych skal, mianowicie:

- 1) podwójnie arytmetycznej,
- 2) podwójnie logarytmicznej,
- 3) logarytmicznej mieszanej,
- 4) specjalnej skali logarytmicznej, używanej do obliczania stopnia prawdopodobieństwa.

Każda z tych skal ma swoje wady i zalety.

Skala podwójnie arytmetyczna (t. zn. skala arytmetyczna i dla wielkości ziarn i dla % %) daje dobre dane tylko dla ziarenek piasku średniej wielkości. Skala podwójnie logarytmiczna daje dobre i szczegółowe dane dla najdrobniejszych cząsteczek, możliwe — dla średnich i niedostateczne — dla dużych.

Wobec powyższego, używa się najczęściej skali logarytmicznej mieszanej, t. zn. logarytmicznej dla

wielkości ziarn, a dla % % — logarytmicznej do 30%, powyżej zaś — arytmetycznej.

Skala logarytmiczna, używana do obliczania prawdopodobieństwa, daje najlepszy wykres dla wszystkich wielkości ziarenek piasku.

Przy wykreślaniu krzywej nie powinniśmy otrzymać jej w postaci linii łamanej, lub z ostremi załamaniem; podobne defekty wskazują na nieprawidłowość sit lub na nieprawidłowość dokonywania analizy, lub wreszcie — na pomyłki w liczeniu.

Z krzywej otrzymujemy wielkości średnic, odpowiadających 10% najdrobniejszych cząstek i 60%, to znaczy mamy wymiar efektywny i możemy określić współczynnik równomierności (p. rys. 1).

Należy nadmienić, że — wobec nieprawidłowej formy ziarn piasku naturalnego — należy pod wielkością ziarn piasku rozumieć wielkość średnicy takiej kuli, której objętość jest równa objętości ziarna piasku.

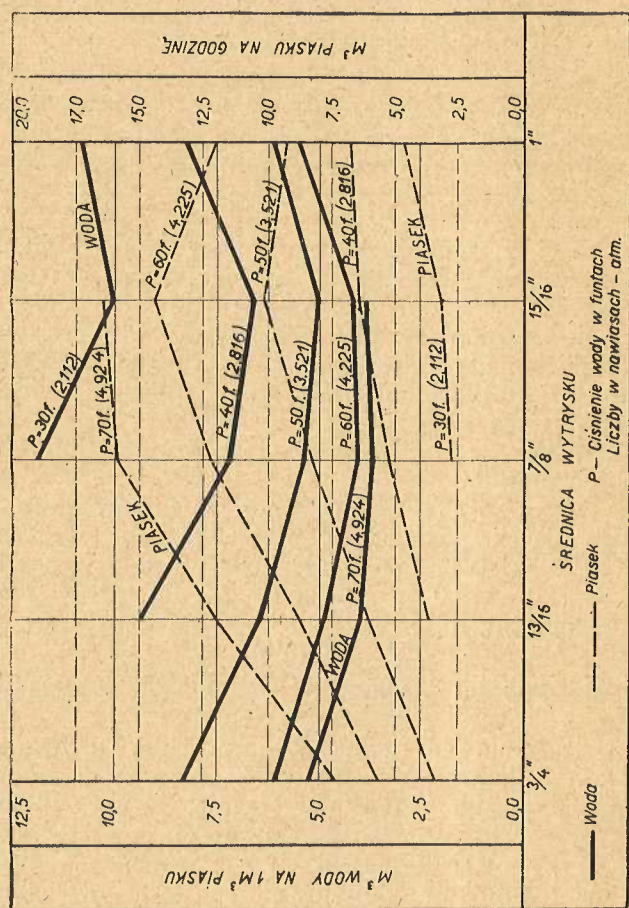
W St. Zj. A. P. używa się do filtrów powolnych piasek, posiadający wymiar czynny W. Cz. = 0,25 — 0,35 mm współczynnik równomierności S. R. 2,0 — 3,0 (przeważnie 2,5), do filtrów zaś szybkobieżnych: W. Cz. = 0,35 — 0,50 mm, S. R. = 1,25 — 1,70 (przeważnie 1,50).

Urządzenia do transportu hydraulicznego piasku i jego przemywania.

Urządzenia do przemywania piasku, używane w St. Zj., można podzielić na 2 grupy: z przemywaniem piasku nazewnątrz pomieszczenia filtru i z przemywaniem na samym filtrze.

Przy pierwszym rodzaju urządzenia, jedna grupa robotników zdejmuję górną warstwę piasku i układa ją w kupki, druga zaś grupa robotników wrzuca ten piasek do przenośnego inżektora, który wypycha piasek do płóeczki, ustawionej nazewnątrz filtra. Na ścianach lub filarach filtru umieszczone są rury, z których jedne doprowadza-

ją wodę pod ciśnieniem od 4 — 10 at, inne zaś odprowadzają mieszaninę piasku i wody. Co 20 m są umieszczone na rurach odgałęzienia, do których

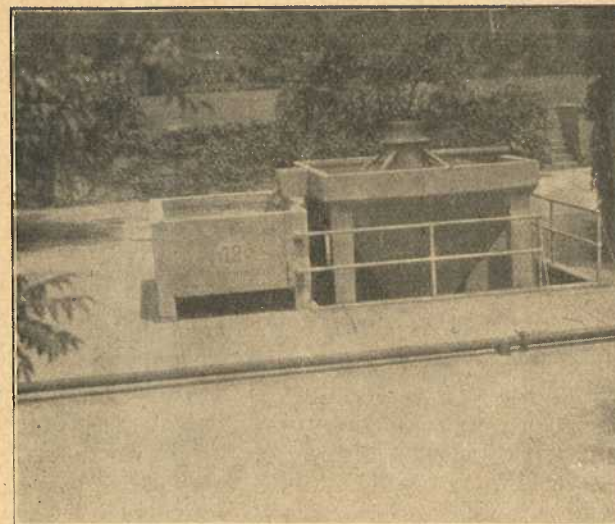


Rys. 3. Wpływ średnicy wytrysku na wydajność urządzenia do przemywania piasku.

dołącza się przenośny inżektor przy pomocy węzłów parcianych.

Inżektor jest umieszczony w żelaznej skrzyni, w której dolnej części, oprócz inżektora, umieszco-

ne są jeszcze dwie rurki z otworkami. Piasek wrzuca się łopatami do skrzyni. Pod wpływem wody, jaka jest wprowadzana przez wspomniane rurki, piasek w dolnej części skrzyni utrzymuje się w stanie jednolitej masy, co ułatwia równomierne porywanie jego przez inżektor i prawidłowe działanie tegoż (rys. 2).



Rys. 4. Ogólny widok urządzeń do przemywania piasku.

Wodę doprowadza się pod ciśnieniem z rur stałych do inżektora zapomocą węża 2 1/2", mieszaninę zaś piasku i wody odprowadza się również zapomocą węża, o średnicy 3 — 4".

Długość węży nie przekracza zwykle 30 m.

Rurom stałym, doprowadzającym wodę pod ciśnieniem, nadaje się większe przekroje, aby strata ciśnienia była możliwie minimalna. W St. Zj. używa się do tego celu rur o średnicy min. 5".

Przekrój rur odprowadzających mieszaninę piasku i wody oblicza się według wydajności i szyb-

kości przepływu. Wydajność rur nie powinna być zbyt mała, aby robotnik przy inżektorze nie czekał na pracę. Od szybkości zaś przepływu zależy sprawność działania urządzenia.

Przy prędkości przepływu wody = 1,5 m/sek piasek z wodą przepływa b. dobrze, przy 1,2 m/sek — dobrze, przy prędkościach pomiędzy 0,9 — 1,2 m/sek opór będzie znacznie większy, niż wypada z obliczenia, jak również występuje sporadycznie zatykanie rur opadającym piaskiem. Przy prędkościach poniżej 0,9 m/sek — działanie jest niepewne, a przy 0,6 m/sek — przepływ jest niemożliwy.

Praktyka amerykańska wykazała, że najbardziej ekonomiczne jest stosowanie następujących prędkości w zależności od średnicy rur:

dla rur 3"	1,20 m/sek
" " 5"	1,35 " "
" " 10"	1,75 " "
" " 20"	2,25 " "

Straty ciśnienia na pokonanie oporów w tych rurach podane są w tabeli II.

Dla obliczenia straty ciśnienia przy podnoszeniu piasku i wody na wyższy poziom, należy wysokość słupa wody pomnożyć przez ciężar właściwy mieszaniny piasku i wody. Stratę ciśnienia w węzłach parcianych oblicza się jak dla zwykłej wody i dodaje się 4,6—5 m na 1000 mb. węża (dla ϕ 2½—3").

Bardzo ważną rzeczą jest prawidłowa konstrukcja inżektora, który oblicza się tak samo, jak rurka Venturi'ego.

Najlepsza rozbieżność ścian gardzieli jest 1:22. Przy rozbieżności 1:6, strata ciśnienia w inżektorze jest dwukrotnie większa, aniżeli przy 1:22.

Gardziel wykonywa się z żeliwa; wewnątrz pokrywa się nieraz warstwą gumy, która chroni powierzchnię gardzieli od szybkiego zużycia.

Prawidłowe dobranie wymiarów inżektora ma bardzo wielkie znaczenie praktyczne i ekonomiczne. Wpływ średnicy wytrysku na wydajność urzą-

Tabela II.

Inżektor do piasku, przepływ mieszaniny wody i piasku w rurach.

Ciśnienie (150 funtów)	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Ciśnienie wtrysku w gardzieli	Ciśnienie wtrysku w węzłach	Opór w m słupa wody na 1000 m			
														bież. rury	bież. rury	bież. rury	
9,25 (150 funtów)	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	350	200	104	71
	0,8	1,20	0,87	1,20	0,8	1,20	0,87	1,20	0,8	1,20	0,87	1,20	0,8	—	340	130	86
	0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	—	240	78	45
	0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	—	300	100	60
	0,5	0,87	0,87	0,87	0,5	0,87	0,87	0,87	0,5	0,87	0,87	0,87	0,5	—	370	128	76
	0,5	1,01	0,87	1,01	0,5	1,01	0,87	1,01	0,5	1,01	0,87	1,01	0,5	195	124	90	—
	0,5	1,21	0,87	1,21	0,5	1,21	0,87	1,21	0,5	1,21	0,87	1,21	0,5	240	150	110	—
	0,6	1,04	0,87	1,04	0,6	1,04	0,87	1,04	0,6	1,04	0,87	1,04	0,6	305	180	118	75
	0,6	1,21	0,87	1,21	0,6	1,21	0,87	1,21	0,6	1,21	0,87	1,21	0,6	310	160	86	83
	0,6	1,46	0,87	1,46	0,6	1,46	0,87	1,46	0,6	1,46	0,87	1,46	0,6	400	205	104	—
	0,7	1,06	0,87	1,06	0,7	1,06	0,87	1,06	0,7	1,06	0,87	1,06	0,7	520	260	125	100
	0,7	1,21	0,87	1,21	0,7	1,21	0,87	1,21	0,7	1,21	0,87	1,21	0,7	410	190	78	56
	0,7	1,41	0,87	1,41	0,7	1,41	0,87	1,41	0,7	1,41	0,87	1,41	0,7	500	236	98	71
	0,8	1,21	0,87	1,21	0,8	1,21	0,87	1,21	0,8	1,21	0,87	1,21	0,8	640	310	120	85
	0,8	1,39	0,87	1,39	0,8	1,39	0,87	1,39	0,8	1,39	0,87	1,39	0,8	—	285	99	59
	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	1,61	0,87	1,61	0,8	—	350	123	75
0,9	1,20	0,87	1,20	0,9	1,20	0,87	1,20	0,9	1,20	0,87	1,20	0,9	—	450	160	93	
0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	1,36	0,87	1,36	0,9	—	335	100	50	
0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	1,56	0,87	1,56	0,9	—	410	129	67	
0,9	1,75	0,87	1,75	0,9	1,75	0,87	1,75	0,9	1,75	0,87	1,75	0,9	—	510	163	85	

Tabela II.

Inżektor do piasku, przepływ mieszaniny wody i piasku w rurach.

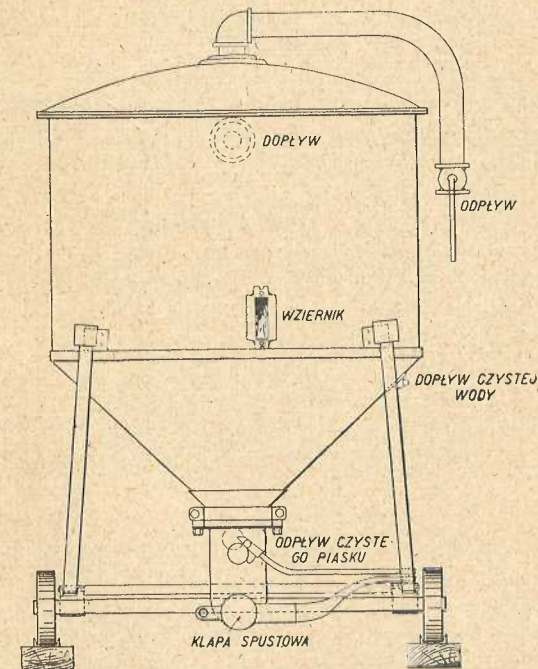
Ciśnienie wody, at	Średnica wytrysku w calach	Średnica gardzieli w calach	%/o piasku w wodzie odpływają- cej	m ³ piasku na godzinę	Ciśnienie wody poza inżektorem w m słupa wody	Opór w m słupa wody na 1000 m bież. rury			
						2 1/2"	3"	4"	5"
4,2 (60 funtów)	0,5	0,87	20	3,80	8,53	150	140	—	—
	0,5	1,01	25	5,47	6,09	176	150	—	—
	0,5	1,21	30	7,60	4,27	206	168	—	—
	0,6	1,04	20	5,47	8,53	178	124	90	—
	0,6	1,21	25	7,83	6,09	222	144	110	—
	0,6	1,46	30	10,87	4,27	275	170	120	—
	0,7	1,06	15	4,94	11,88	200	114	70	—
	0,7	1,21	20	7,37	8,53	250	140	88	—
	0,7	1,41	25	10,6	6,09	325	175	102	—
	0,8	1,21	15	6,46	11,88	298	145	71	—
	0,8	1,39	20	9,65	8,53	370	180	89	73
	0,8	1,61	25	14,98	6,09	480	240	109	82
	0,9	1,20	10	4,94	15,85	350	160	61	42
	0,9	1,37	15	8,21	11,88	435	202	80	56
	0,9	1,56	20	12,23	8,53	540	250	102	71
	5,6 (80 funtów)	0,5	0,87	20	4,33	11,58	154	130	—
0,5		1,01	25	6,31	8,23	186	145	—	—
0,5		1,21	30	8,74	5,48	225	160	—	—
0,6		1,04	20	6,31	11,58	208	128	90	—
0,6		1,21	25	9,04	8,23	260	153	107	—
0,6		1,46	30	12,54	5,48	320	187	117	—
0,7		1,06	15	5,70	15,85	245	127	70	—
0,7		1,21	20	8,51	11,58	305	158	86	—
0,7		1,41	25	12,31	8,23	400	204	104	71
0,8		1,21	15	7,45	15,85	370	176	76	56
0,8		1,39	20	11,17	11,58	465	222	95	71
0,8		1,61	25	16,11	8,23	600	290	115	84
0,9		1,20	10	57,00	21,33	450	200	70	43
0,9		1,36	15	19,42	15,85	550	248	91	58
0,9		1,56	20	14,13	11,58	680	315	114	73
6,3 (100 funtów)		0,5	0,87	20	4,86	14,23	162	126	—
	0,5	1,01	25	6,99	10,36	200	143	—	—
	0,5	1,21	30	9,80	7,01	250	164	120	—
	0,6	1,04	20	6,99	14,32	230	133	87	—
	0,6	1,21	25	10,11	10,36	300	165	103	—
	0,6	1,46	30	14,06	7,01	380	210	118	105
	0,7	1,06	15	6,38	19,81	292	144	71	—
	0,7	1,21	20	9,58	14,32	360	180	88	71
	0,7	1,41	25	13,75	10,36	470	235	108	83
	0,8	1,21	15	8,36	19,81	450	208	82	56
	0,8	1,39	20	12,46	14,32	550	260	104	71
	0,8	1,61	25	18,01	10,36	—	340	130	86
	0,9	1,20	10	6,31	26,51	—	240	78	45
	0,9	1,36	15	10,56	19,81	—	300	100	60
	0,9	1,56	20	15,82	14,32	—	370	128	76
	9,25 (150 funtów)	0,5	0,87	20	5,93	21,64	195	124	90
0,5		1,01	25	8,66	15,54	240	150	110	—
0,5		1,21	30	12,01	10,66	305	180	118	—
0,6		1,04	20	8,59	21,64	310	160	86	75
0,6		1,21	25	12,39	15,54	400	205	104	83
0,6		1,46	30	17,25	10,66	520	260	125	100
0,7		1,06	15	7,83	29,87	410	190	78	56
0,7		1,21	20	11,70	21,64	500	236	98	71
0,7		1,41	25	16,87	15,54	640	310	120	85
0,8		1,21	15	10,26	29,87	—	285	99	59
0,8		1,39	20	15,2	21,64	—	350	123	75
0,8		1,61	25	22,04	15,54	—	450	160	93
0,9		1,20	10	7,75	39,92	—	335	100	50
0,9		1,36	15	12,92	29,87	—	410	129	67
0,9		1,56	20	19,38	21,64	—	510	163	85

dzenia w stosunku do ilości pobranego piasku oraz ilości zużytej wody na jednostkę objętości piasku wykazuje wykres na rys. 3, który jest ułożony na podstawie danych doświadczalnych przez Hazena i Hardy'ego w Waszyngtonie.

Warunki doświadczeń:

W. Cz. piasku = 0,26 mm, ϕ gardzieli $1\frac{1}{16}$ " ,
odległość gardzieli od wytrysku $2\frac{3}{4}$ " — 3". Długość rury, przez którą odpływał piasek i woda = 120 m, ϕ 4".

Do wyboru odpow. inżektora służy tabela II.



Rys. 5. Separator Nichols'a.

Sposób wyboru inżektora najlepiej można wytłumaczyć na przykładzie. Przypuśćmy, że trzeba filtr o powierzchni 4200 m² oczyszczać w ciągu

8 godzin roboczych przy zeszkrobywaniu warstwy piasku 3 cm grubości. Ciśnienie wody przy inżektorze wynosi 5,6 atn (80 funtów), odległość max. inżektora do płóczki — 100 mb. Rury do odprowadzania piasku i wody = \varnothing 4". Poziom płóczki nad min. poziomem warstwy piasku w filtrze = 3 m. Ilość piasku do usunięcia $4200 \times 0,03 = 126 m^3$. Przyjmując, że robotnicy zużyją 1 godz. na przenoszenie z miejsca na miejsce inżektora, otrzymamy, że wydajność godzinna inżektorów powinna być nie mniejsza niż $126 : 7 = 18 m^3$. Wprowadzając dwa inżektory do filtra, otrzymamy na jeden inżektor $9 m^3/h$.

Zwracając się do tablicy, należy przy wyborze inżektora wziąć pod uwagę, oprócz niezbędnej wydajności, również to ciśnienie, jakie pozostaje za inżektorem, aby go wystarczyło na pokonanie oporów w rurze odpływowej.

Porównujemy w tablicy straty ciśnienia dla rur 4" dla 100 mb. z ciśnieniem, jakie panuje za inżektorem, i znajdujemy, że najbardziej zbliżony jest inżektor o średnicy wytrysku 0,9", gardzieli 1,36" i wydajności $9,42 m^3/h$ piasku.

Po dokonanych wyborze, należy ściśle sprawdzić, czy ciśnienie za inżektorem będzie wystarczające do podniesienia mieszaniny na 3 m i na pokonanie oporów w rurze, wężu parcianym i kształtkach.

Do przemywania piasku używane są płóczki rozmaitych systemów. Zasadniczy kształt ich jest w postaci leja lub w postaci walca i leja. Do górnej części przyrządu włacza się mieszaninę piasku i wody, czysty piasek zbiera się na dnie leja, a woda z mętami i drobnymi cząsteczkami piasku odpływa przez przelew. Na dnie leja umieszczony jest inżektor, który przemyty piasek wyrzuca albo do rur prowadzących z powrotem na filtr, albo do zbiorników zapasowych. Jeżeli piasek wymaga dwu lub

wielokrotnego przemywania (naprz. piasek z filtrów po odżelazieniu i odmanganieniu wody), to stosuje się kilka płóczek, ustawionych obok siebie. Wówczas inżektor z pierwszej płóczki przerzuca piasek do górnej części następującej płóczki i t. d.

Tabela III.
Separatory Nichols'a.

Wymiar średnicy walca	Wysokość ogólna	Wydajność max. m^3/h piasku	Ciężar aparatu kg	Połączenie do rur
760 mm (30")	1520 (5")	5,3	225	3"
915 „ (36")	1675 (5 $\frac{1}{2}$ ")	7,6	275	„
1007 „ (42")	1930 (6 $\frac{1}{3}$ ")	11,4	320	„

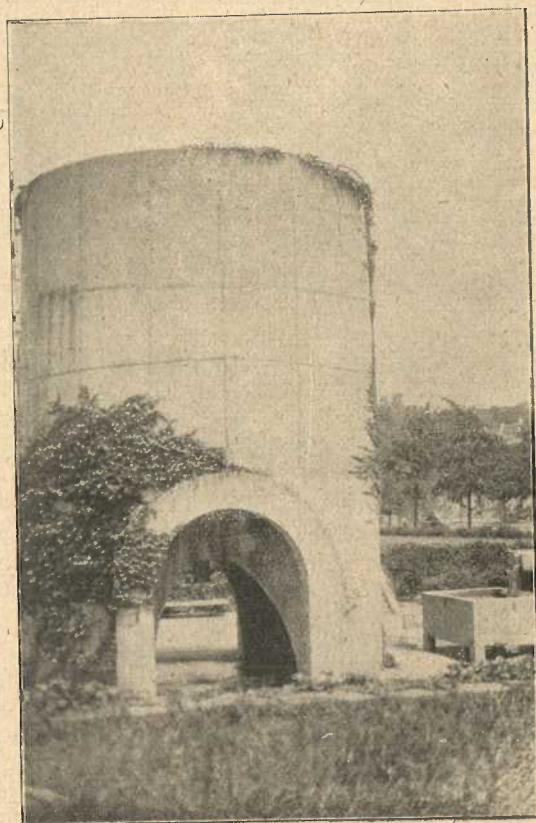
Wodę, odpływającą przez przelew z mętami oraz drobnymi cząsteczkami piasku, wprowadza się do jednego, lub dwu małych osadników, w których piasek opada, męty zaś odpływają dalej. Do przemywania używa się zazwyczaj wody niefiltrowanej. Rys. 4 przedstawia ogólny widok urządzeń do przemywania piasku. Poza temi płóczkami, dużem rozpowszechnieniem cieszy się w Stanach Zjedn. tak zwany separator Nichols'a, przedstawiony na rys. 5.

Separator Nichols'a nie różni się w zasadzie od innych płóczek, z tą tylko różnicą, że aparat ten jest zamknięty. Dolna część separatora Nichols'a nie jest zaopatrzona w inżektor, posiada natomiast zasuwę, przy której otwarciu przemyty piasek wypływa grawitacyjnie.

Separator Nichols'a używa się do przemywania piasku nazewnątrz filtra w tym wypadku, jeżeli piasek nie powraca z powrotem na filtr, lecz jest przechowywany na podwórku. Również używa się go do przemywania piasku na samem złożu filtra.

Przyrządy te wyrabiane są w 3 rozmiarach jak wskazano w tabeli III.

Piasek przemyty poza filtrem jest albo skierowywany niezwłocznie z powrotem na filtr, albo przetłaczany do zbiorników specjalnie wybudowanych do przechowywania piasku. Pojemność tych zbiorników oblicza się na $\frac{1}{2}$ całej ilości piasku, jaka może być usunięta z filtrów. Rysunek 6 przedstawia jeden ze zbiorników wybudowanych w Waszyngtonie. Pojemność zbiornika wy-



Rys. 6. Zbiornik do przechowywania piasku.

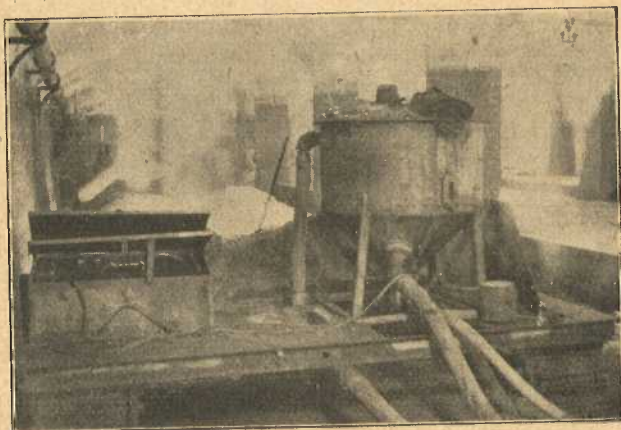
nosi $190 m^3$, średnica — $6,7 m$, wysokość walca — $5,1 m$, wysokość stożka — $1,75 m$. Stożek zakończony jest u dołu zasuwą, przez którą piasek wysypuje się do wózka lub inżektora, za pomocą którego doprowadza się piasek z powrotem do filtra w czasie wypełniania złoża. Poza tem w zbiorniku umieszczona jest rura, którą odpływa woda w czasie wypełniania zbiornika piaskiem. W nowszych zakładach zbiorniki do piasku budowane są znacznie niżej i u dołu zaopatrywane są w inżektory. Wznawianie złoża piasku na filtrze do normalnej wysokości przeprowadza się w niektórych zakładach w sposób następujący. Filtr wypełnia się wodą do normalnego poziomu. Piasek dostarcza się sposobem hydraulicznym temi samymi rurami, które normalnie służą do odprowadzania go z filtru. Robotnicy pływają na kilku łódkach na filtrze i wypuszczają piasek z węzów parcianych, dołączonych do rur, starając się ułożyć go równomiernie na filtrze. Po spuszczeniu wody z filtra, powierzchnię piasku wyrównywa się ręcznie.

Opisany wyżej sposób przemywania piasku stosowany jest na bardzo starych filtrach. W nowszych stosuje się obecnie przemywanie piasku na samym filtrze, tak że piasek wraca w stanie przemytym z powrotem na filtr, wobec czego grubość warstwy filtracyjnej zawsze jest ta sama.

Sposób ten ma wiele zalet: 1) przemywanie może być dokonywane z jednakową łatwością w ciągu całego roku; 2) warstwa złoża piaskowego na filtrze pozostaje zawsze tej samej grubości; 3) mniejszy jest koszt przemywania, gdyż odpada transport piasku; 4) niema potrzeby budowania kosztownych zbiorników do przechowywania piasku i t. d.

Przemywanie piasku na samym filtrze może odbywać się: za pomocą 1) płóczki Nichols'a przy ręcznym skrobaniu piasku i ponownem układaniu warstwy; 2) maszyny Nichols'a, która — poruszana

elektrycznością — ścina górną warstwę piasku pożądaną grubości i przemywa go; 3) maszyn Blaisdell'a, które przemywają piasek na samym złożu. Maszyna Nichols'a przedstawiona jest na rys. 7, 8 i 9. Prąd do uruchamiania maszyny i ślimaka dostarcza powietrzny przewód elektryczny, umieszczony w filtrze. Ślimaki ścinają warstwę piasku i wgniatają go do pudełka A (rys. 9), gdzie jest umieszczony inżektor, który przetrzuca piasek do separatora Nichols'a, umieszczonego na pomoście maszyny. Przemity piasek odpływa rurą poza maszynę. Maszynę obsługuje 2 ludzi — jeden na po-



Rys. 7. Maszyna Nichols'a do przemywania piasku podczas pracy na filtrze.

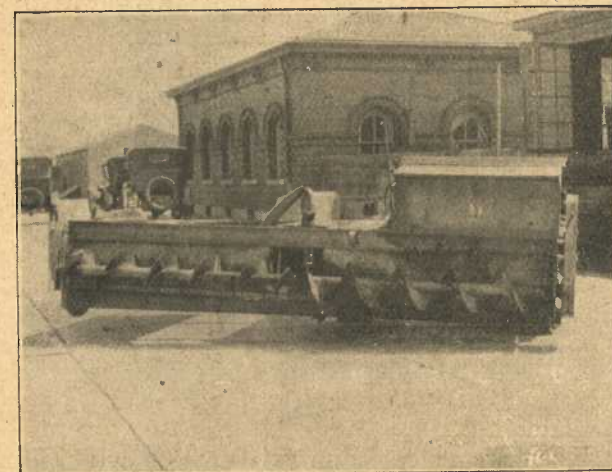
moście maszyny, drugi rozrzuca piasek przemity. Wydajność maszyny wynosi $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ przemitego piasku.

Maszyna Blaisdell'a przemywa piasek w samym złożu. Zasadniczą częścią tej maszyny jest żelazna skrzynia, obrócona dnem do góry, wewnątrz której znajdują się mieszadła, podobne do mieszadeł używanych w szybkobieżnych filtrach starego typu.

Skrzynia ta umieszczona jest na ramie żelaznej, związanej z tem lub innym urządzeniem mechanicznym do poruszania mieszadeł, przesuwania całej maszyny i innych czynności. Przy przemywaniu, zanurza się skrzynię do piasku i puszcza się w ruch mieszadła. Mieszadła są wykonane w postaci rurek, przez które wtłacza się wodę do przemywania piasku.

Pod działaniem tej wody, jak również pod wpływem mechanicznego działania samego mieszadła, które przegrzebuje górną warstwę piasku, piasek przemywa się bardzo energicznie. Specjalna pompa, umieszczona na ramie maszyny, ssie ze skrzyni brudną wodę, pochodzącą z tego przemywania, i odprowadza ją do specjalnych kanałów, lub nazewnątrz filtra. Przytem więcej się ssie wody z pod skrzyni, aniżeli się jej wtłacza (filtr w czasie przemywania jest wypełniony wodą).

Mieszadła mogą być poruszane z kilku szybkościami oraz mogą być opuszczane lub podnoszo-



Rys. 8. Maszyna Nichols'a z przodu.

ne, w zależności od tego, jakiej grubości warstwę piasku trzeba poddać przemyciu. Maszyny Blaisdell'a wykonywa się albo w postaci wózka, który toczy się na szynach, albo w postaci osobnego wozu, tak jak na rys. 12.

Ten ostatni typ wprowadzony jest od paru lat na filtrach Jonesdale Plant (Philadelphia). Koszt maszyny wynosi 16 000 dol.

Koszt przemycania piasku przy eksploatacji tej maszyny jest znacznie mniejszy, niż koszt innych sposobów przemycania piasku, mianowicie wynosił we wspomnianym zakładzie 13 centów od każdego przemytego m^3 piasku, wówczas gdy przy zastosowaniu maszyny Nichols'a — 39 centów, a przy ręcznym zeskrobywaniu piasku i przemycaniu nazewnątrz — 65 centów. W Waszyngtonie koszt przemycania piasku w sposób stosowany u nas wynosił 1,80—2,20 dol. od $1 m^3$ piasku. Przy wprowadzeniu zaś transportu hydraulicznego i przemycania nazewnątrz filtru, koszt przemycania $1 m^3$ wynosił:

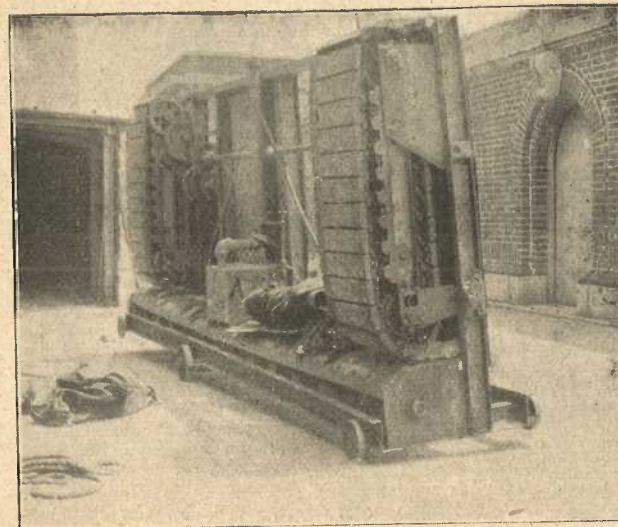
zeskrobywanie i wyrównywanie	10,2 cent.
inżektor	18,2 „
przemycanie	5,2 „
przechow. i wznawianie złoża	20,8 „
	<hr/>
	54,4 cent.

Obliczanie płóczek.

Obliczanie wymiarów płóczek i niezbędnego przepływu wody przez płóczkę, w celu usunięcia wraz z odpływającą wodą drobnych cząsteczek do pewnej pożądanej ich wielkości, oparte jest na teorii sedymentacji Allen'a Hazen'a.

Teoria ta jest niezmiernie ciekawą próbą matematycznego ujęcia zjawisk, które zachodzą przy sedymentacji.

Hazen, we wstępie do swej teorii, mówi: „Zjawiska, jakie zachodzą przy procesie sedymentacji, są bardzo złożone. Rozpatrywanie wszystkich tych



Rys. 9. Maszyna Nichols'a.

zjawisk jednocześnie wydaje się być beznadziejnym trudem”.

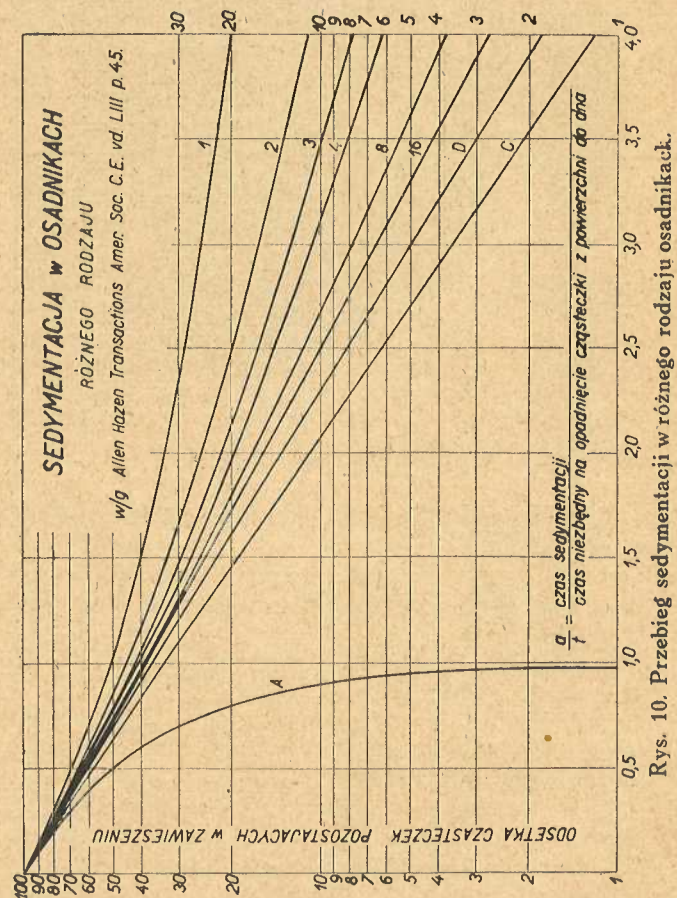
Wobec tego wydzielił Hazen tylko część zjawisk i oparł swe obliczenia na następujących założeniach:

- 1) każda cząsteczka, która opadła na dno, już więcej nie podnosi się;
- 2) wszystkie cząsteczki posiadają tę samą szybkość opadania, czyli tę samą „wartość hydrauliczną”, jak mówi Hazen;
- 3) wszystkie cząsteczki opadają w jednakowym stosunku.

Badania jego dotyczą cząsteczek mineralnych o cięż. własc. 2,65.

Nie podając całego szeregu twierdzeń matematycznych, które służyły Hazenowi do rozwiązania tego trudnego zdania, podam ostateczny wynik jego dociekań.

Jest on uwidoczniiony na rys. 10, którego poszczególne krzywe charakteryzują przebieg sedymentacji w różnego rodzaju osadnikach (przy założeniach, postawionych przez Hazena).



t — oznacza czas, w jakim cząsteczka opadnie od powierzchni do dna,
 a — czas opadania (sedymentacji),

Rys. 10. Przebieg sedymentacji w różnego rodzaju osadnikach.

x — stosunek ilości zawiesin pozostających w wodzie do ilości zawiesin przed rozpoczęciem sedymentacji.

Linja A przedstawia teoretyczny przebieg sedymentacji, t. zn. taki, jaki mógłby być, gdyby wszystkie cząsteczki wody pozostawały w stanie bezwzględnej spoczynku — wypadek praktycznie nieosiągalny.

Linja C wykazuje przebieg sedymentacji w osadniku, działającym okresowo (wypełnianie, sedymentacja, opróżnianie), przyczem te dane odnoszą się tylko do czasu sedymentacji.

Linja D — teoretyczny przebieg sedymentacji w osadniku przepływowym.

Linja 1 — przebieg rzeczywisty sedymentacji w jednym przepływowym osadniku,

Linja 2 — to samo w dwu osadnikach w szeregu,

Linja 3 — to samo w 3 osadnikach w szeregu,

Linja 4 — w osadniku przepływowym z przegrodami,

Linja 8 — w osadniku przepływowym z wielu przegrodami,

Linja 16 — w warunkach zbliżonych do D.

Podane krzywe są jedną z podstaw do obliczenia urządzeń do przemywania piasku, jak to zobaczymy niżej.

Drugą podstawą jest zależność pomiędzy szybkością opadania cząsteczek v , a wielkością cząsteczek (średnica d). Na wykresie rys. 11 krzywa, przedstawiająca tę zależność, jest ułożona częściowo na podstawie doświadczeń, częściowo na podstawie obliczeń teoretycznych.

Hazen podaje wzór dla cząsteczek większych od 0,03 mm:

$$d = 0,01v \dots \dots \dots (I)$$

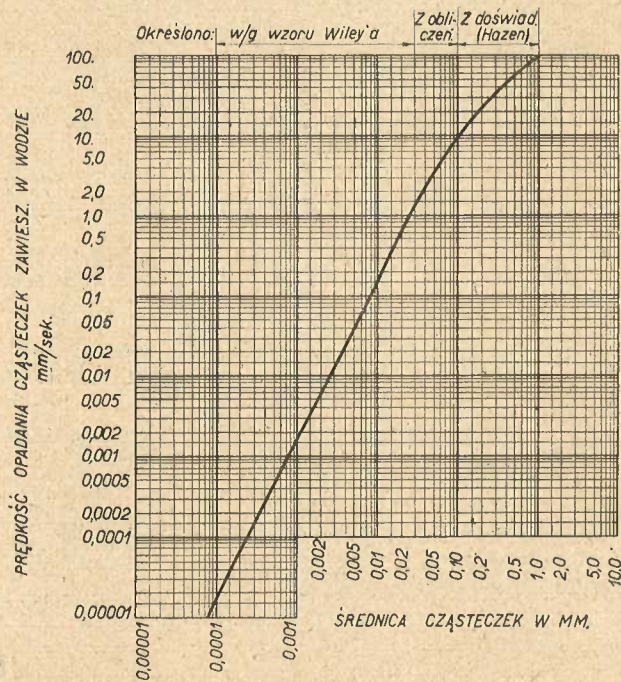
Wiley ustala dla cząsteczek mniejszych od 0,03 mm:

$$d = 0,0255v \dots \dots \dots (II)$$

Interesujące nas obliczenia wynikają z jednego z twierdzeń teorii Hazena, stanowiącego podstawę do wyprowadzenia niezbędnych wzorów.

Twierdzenie. Stopień klarowania wody zależy od wymiaru powierzchni osadnika „wartości hydraulicznej” cząsteczek (v) i ilości wody poddanej sedymentacji w jednostce czasu, natomiast nie jest zależny od głębokości zbiornika.

Przypuśćmy, że posiadamy pewien osadnik, którego powierzchnia = b , pojemność użyteczna = c , głębokość użyteczna = d .



UWAGA: Woda znajduje się w stanie spoczynku.
Ciężar gatunkowy cząsteczek = 2,65.

Rys. 11. Zależność między szybkością opadania a wielkością cząsteczek.

Oznaczamy:

ilość wody, poddanej sedymentacji w jednostce czasu = e ,

szybkość opadania cząsteczek = v ,

czas niezbędny do opadania cząsteczki od powierzchni do dna = t ,

czas sedymentacji = a .

Wówczas możemy napisać równania:

$$(1) c = bd$$

$$(2) a = \frac{c}{e}, \text{ czyli } a = \frac{bd}{e} \dots \dots (2')$$

$$(3) t = \frac{d}{v}$$

Po podzieleniu równania (2') przez (3), otrzymujemy

$$\frac{a}{t} = \frac{\frac{bd}{e}}{\frac{d}{v}} = \frac{b \cdot v}{e} \dots \dots \dots (III)$$

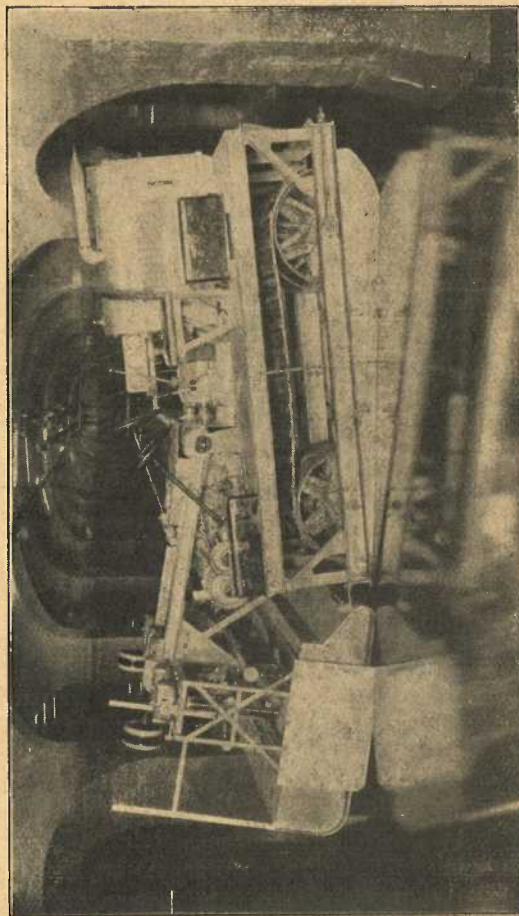
czyli stopień sklarowania się $\left(\frac{a}{t}\right)$ nie jest zależny od głębokości¹⁾.

Na podstawie tego wzoru (III) i wzoru Hazena (I), można ustalić wzór do obliczenia płóćek.

Przemywanie piasku czyli usuwanie drobniejszych cząsteczek z wodą odpływającą, a pozostawianie grubszych cząsteczek w zbiorniku — jest właściwie tą samą sedymentacją, jaka odbywa się w osadnikach, z tą tylko różnicą, że są inne prędkości przepływu.

W piasku używanym do filtrów posiadamy ziarenka $> 0,1 \text{ mm}$, wobec czego do nich stosuje się wzór Hazena'a:

¹⁾ W praktyce zjawisko nie jest tak proste i głębokość wywiera pewien wpływ na sedymentację, a przede wszystkim wpływa na zmniejszenie szybkości przepływu przy dnie, co zmniejsza porywanie z dna cząsteczek, które już opadły.



Rys. 12. Maszyna Blaisdell'a do przemywania piasku podczas pracy na filtrze.

$$d = 0,01 v \dots \dots \dots (I).$$

Pozatem ze wzoru (III) otrzymujemy

$$v = \frac{a}{t} \cdot \frac{e}{b} \dots \dots \dots (IV),$$

$$\text{czyli } d = 0,01v = 0,01 \cdot \frac{a}{t} \cdot \frac{e}{b} \dots \dots \dots (V)$$

Wyrażając d — w mm , e — w $\frac{m^3}{min}$, b — w m^2 ,

$$\text{otrzymamy } d = 0,1666 \frac{a}{t} \frac{m^3/min}{m^2}.$$

$$\text{Oznaczając } \frac{a}{t} = F, \text{ otrzymamy } d = 0,1666 F \frac{m^3/min}{m^2} \dots \dots \dots (VI)$$

Dla zatrzymania 75% cząsteczek o średnicy d , w wypadku zwykłej skrzyni płótkowej, $F = 3,0$ (linja 1 na wykresie rys. 10).

Dla zatrzymania 75% cząsteczek o średnicy d przy użyciu specjalnie projektowanej skrzyni, gwarantującej równomierny przepływ wody, $F = 1,5$ (linja 8 na wykresie 10).

Na podstawie wzoru (VI) można obliczyć powierzchnię skrzyni w m^2 i niezbędny przepływ wody w m^3/min , dla zatrzymania 75% cząsteczek o pożądanej średnicy.

Ponieważ piasek zawiera cząsteczki rozmaitej wielkości, można obliczyć, ile pozostanie w piasku przemytym cząsteczek innej średnicy wówczas, gdy cząsteczek o wybranej średnicy d pozostanie 75%.

Dla obliczenia posługujemy się następującymi wzorami:

$$a) \quad d_1 = d \sqrt{\frac{t}{t_1}} = d \sqrt{\frac{a/t_1}{a/t}} \quad \text{dla cząsteczek } < 0,03 \text{ mm,}$$

$$b) \quad d_1 = d \frac{a/t_1}{a/t} \quad \text{dla cząsteczek } > 0,03 \text{ mm,}$$

które otrzymujemy w sposób następujący:

oznaczamy czas niezbędny do opadania cząsteczek o średnicy d przez t , o średnicy d_1 przez t_1 ;

$$\text{Wówczas } \left. \begin{array}{l} \frac{a}{t} = \frac{bv}{e} \\ \frac{a}{t_1} = \frac{bv_1}{e} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{w wypadku a) } \frac{t_1}{t} = \frac{v}{v_1} = \frac{d^2}{d^2} \\ \text{" b) } \frac{t}{t_1} = \frac{v}{v_1} = \frac{d}{d} \end{array}$$

$$\text{skąd } d_1 = d \sqrt{\frac{t}{t_1}} = d \sqrt{\frac{a/t}{a/t_1}}$$

$$\text{„ } d = d \frac{t}{t_1} = d \frac{a t}{a/t}$$

Przykład. Oznaczmy przez d średnicę cząsteczek, które przy pewnym przepływie pozostają w ilości 75% (przy $\frac{a}{t} = 3$).

Wówczas z krzywej 1 na wykresie rys. 10 otrzymamy, że przy $\frac{a}{t} = 4$ pozostanie ich 80%,

$$\text{„ } \frac{a}{t} = 1,5 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 60\%$$

$$\text{„ } \frac{a}{t} = 1 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 50\%$$

$$d_1 = d \sqrt{\frac{a/t_1}{a/t}} = \sqrt{\frac{4}{3}} = d. 1,13,$$

$$d_2 = d \sqrt{\frac{a/t_2}{a/t}} = \sqrt{\frac{1,5}{3}} = d. 0,71,$$

$$d_3 = d \sqrt{\frac{a t_3}{a/t}} = \sqrt{\frac{1}{3}} = d. 0,58;$$

czyli, że w tym czasie, gdy cząsteczki o średnicy = 1 pozostaną w ilości 75%, cząsteczki o średnicy (w stosunku do powyższej)

$$d_1 = 1,13 \text{ pozostaną w ilości } 80\%,$$

$$d_2 = 0,71 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 60\%,$$

$$d_3 = 0,58 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 50\%.$$

Dotyczy to cząsteczek mniejszych niż 0,03 mm.

Dla cząsteczek 0,1, otrzymamy:

$$d_1 = d \frac{4}{3} = 1,33 d - 80\%,$$

$$d_2 = d \frac{1,5}{3} = 0,50 d - 60\%,$$

$$d_3 = d \frac{1}{3} = 0,33 d - 50\%.$$

Pozostaje jeszcze jedno ciekawe zastosowanie płóczek, t. j. doprowadzanie naturalnego piasku do pożądanego składu mechanicznego, o ile niema piasku odpowiedniego.

Przypuścmy, że posiadamy piasek naturalny o składzie mechanicznym:

$$W. Cz. = 0,28 \text{ mm, a S. R.} = 3,0.$$

Potrzebny zaś jest piasek o składzie W. Cz. = 0,30 mm, S. R. = 2,5.

Przypuścmy, że z krzywej składu mech. piasku wynika, że

cząsteczek < 0,30 mm jest $x\%$, potrzeba zaś 10%, a cząsteczek < 0,75 mm (t. zn. $0,30 \times 2,5$) — $y\%$, potrzeba zaś 60%,

to znaczy, że mamy $(y-x)\%$ cząsteczek pomiędzy 0,30 mm i 0,75 mm, zamiast 50%, czyli ilość piasku, która może być zyskana, jest

$$W = 2 (y-x) \%$$

Ilość piasku naturalnego, jaką trzeba użyć do otrzymania jednostki obj. piasku o pożądanym

$$\text{składzie} = \frac{100}{2 (y-x)}$$

Ilość piasku zbyt drobnego, który trzeba usunąć przez przemywanie, jest

$$U\% = \frac{1}{5} (6x - y)^2$$

Ilość piasku zbyt grubego

$$V\% = 100 - \frac{1}{5} (9y - 4x)^2$$

Po ustaleniu U , zwracamy się do krzywej

$$^1) \quad x \frac{100}{2 (y-x)} - U \frac{100}{2 (y-x)} = 10; \quad U = x - \frac{10}{100}$$

$$2 (y-x) = \frac{1}{5} (6x - y).$$

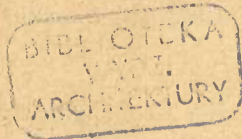
$$^2) \quad 2 (y-x) + U + V = 100; \quad 2(y-x) + \frac{1}{5} (6x-y) = 100 - V; \quad v = 100 - \frac{1}{5} (9y - 4x).$$

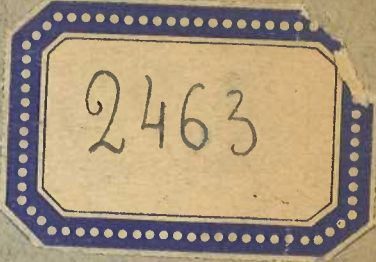
piasku naturalnego i otrzymujemy średnicę ziarna, od której drobniejsze cząstki winny być usunięte.

Odpowiednio do tego obliczamy ilość wody we wzorze (VI), ilość, przy której zastosowaniu 75% ziarenek o podobnej średnicy zostanie w płócznie.

Ze względów ekonomicznych niewygodnie jest stosować piasek naturalny, który wymaga odrzucenia więcej, niż 10% drobnego piasku na wagę.

Powyżej opisane sposoby transportu hydraulicznego piasku i przemywania oraz sposoby obliczania mogą znaleźć zastosowanie u nas nie tylko w zakładach do filtrowania wody, lecz również w budownictwie i przemyśle.





2463