

# Obliczenie ekonomicznego ciśnienia i temperatury wody powrotnej ogrzewania pompkowego.<sup>\*)</sup>

Napisał Inż. H. Czopowski.

Przedmiot pracy niniejszej. Przy obliczeniu ogrzewań wodą z napędem pompkowym nasuwają się pewne zadania rachunkowe, które postaram się tutaj rozwiązać i podać wyniki w postaci możliwie przydatnej do użytku przy projektowaniu tego rodzaju instalacji.

Zadania te są następujące:

1) Na jaką wysokość tłoczenia  $H_m$  powinna pracować pompa, ażeby roczny koszt przewodów, napędu i grzejników łącznie był najmniejszy.

Zadanie to powstaje z tego powodu, że, z powiększeniem wysokości tłoczenia, średnice przewodu dla tej samej ilości wody będą mniejsze, a więc koszt przewodu tańszy, natomiast koszt pompowania będzie większy.

2) Jaka powinna być temperatura  $t_{pm}$  wody powrotnej, ażeby łączny koszt przewodów, pompowania i roczny koszt grzejników był najmniejszy.

Z podwyższeniem bowiem temperatury wody powrotnej, przy stałej temperaturze wody zasilającej, — przeciętna temperatura w grzejnikach się powiększa, powierzchnie przeto grzejników, a więc i koszt będzie mniejszy, lecz ilość wody tłoczona będzie większa, co pociąga za sobą powiększenie kosztu napędu.

Ażeby te zadania rozwiązać, należy wyrazić wielkość rocznych kosztów całej instalacji zmiennymi  $H$  i  $t_p$  i traktować je jako zadanie zwykłe na minimum.

Chcąc uniknąć we wzorach licznych współczynników, wyrażających bądź różne właściwości fizyczne, bądź też ceny szczegółowe danego ogrzewania (np. wydajności różnego rodzaju grzejników, ich cenę, cenę napędu, ilość godzin pompowania i t. p.), zastosowałem do obliczenia sposób więcej ogólny, ujmujący te wartości w trzy liczby, z których każda wyraża: 1) koszt roczny przewodów  $K'_p$ , 2) koszt roczny napędu  $K'_n$ , i 3) koszt roczny grzejników  $K'_g$ ; dla dowolnie obranej wysokości tłoczenia  $H'$  i dla dowolnie obranej temperatury  $t'_p$  wody powrotnej; te trzy liczby kosztów i odpowiednio  $H'$  i  $t'_p$  będą służyły za podstawę do obliczenia wysokości tłoczenia  $H_m$  i temperatury  $t_{pm}$  wody powrotnej, przy których koszt roczny będzie najmniejszy.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

$i$  — liczba porządkowa odcinka przewodu;  
 $l_i$  — długość w metrach  $i$ -tego odcinka;  
 $d_i$  — średnica wewnętrzna w  $mm$   $i$ -tego odcinka;  
 $W_i$  lub  $Q_i$  — ilość kaloryj lub litrów wody na godzinę, jaka przepływa przez  $i$ -ty odcinek;

$W$  lub  $Q$  — cała ilość kaloryj, jaką dostarczają kotły, lub — litrów wody na godzinę, jaką tłoczy pompa;

$k$  — liczba porządkowa grzejnika;

$W_k$  — ilość kaloryj na godzinę, jaką ma dostarczyć  $k$ -ty grzejnik;

$H$  — wogóle wysokość w  $mm$  słupa wody, w szczególności wysokość pompowania;

$H_i$ ;  $H_s$  — wysokość przy pompie w  $mm$  sł. w. tarcia ewen. miejscowych oporów (uderzeń);

$$H = H_i + H_s;$$

$H_{it}$ ;  $H_{is}$  — jak poprzednio  $i$ -tego odcinka\*).

$t_z$  — temperatura wody zasilającej (gorącej), w  $^{\circ}C$

$t_p$  — temperatura wody powrotnej w  $^{\circ}C$ ;

$t_o$  — temperatura powietrza, otaczającego grzejnik;

$K$  — wogóle koszt roczny (% od kapitału + amortyzacja + koszty utrzymania) różnych części instalacji; tak więc:

$K'_p$ ,  $K'_n$ ,  $K'_g$  j. w. — koszt roczny przewodu, — koszt roczny napędu i — koszt roczny grzejników instalacji dowolnej.

$K$  — całkowity koszt roczny instalacji i napędu;

$$K = K'_p + K'_n + K'_g;$$

$K_m$  — najmniejszy koszt roczny instalacji i napędu;

$K_{pm}$ ;  $K_{nm}$  lub  $K_{gm}$  koszty roczne przewodu, napędu i grzejników dla przypadku, w którym całkowity koszt roczny instalacji i napędu jest najmniejszy;

$R$  — oznacza wysokość tarcia w  $mm$  słupa wody na 1  $m$  b. rury;

$R$  —  $Br$  oznacza podręcznik Rietschel-Brabée „Heiz- und Lüftungstechnik” 1925 r.

Wzór algebraiczny kosztu rur. Ceny rur stanowią szereg liczb, który nie daje się wyrazić ściśle funkcją ciągłą ich średnicy. Zastosujemy przeto funkcję, któraby dawała wartości możliwie bliskie do cen rynkowych.

Przyjąłem w tem obliczeniu, że cena  $c$  jednostki jednego metra rury wyrazi się wzorem:

$$c = \alpha \cdot d^s \dots \dots \dots (1)$$

w którym  $\alpha$  i  $s$  oznaczają pewne liczby, inne dla rur gazowych, inne dla kołnierзовych;  $d$  — średnicę wewnętrzną rury w  $mm$ .

Dla rur gazowych przyjąłem.

$$\alpha = 0,055; \quad s = 1,05. \dots \dots (2)$$

na podstawie tych liczb otrzymujemy ceny rur, które są zestawione w następującej tabeli, gdzie również podana jest cena brutto tych rur według cennika z grudnia 1926 r.; przyjmuję bowiem, że ceny instalacyjne, które tu będziemy stosować

\*) Praca ta była referowana dn. 24 marca 1928 r. na zebraniu naukowym Warszawskiego Towarzystwa Politechnicznego.

\*) W oznaczeniach  $R - Br$ :

$$H_{it} = Rl; \quad \Sigma H_{it} = \Sigma Rl; \quad \Sigma H_{is} = Z.$$

(z łącznikami, umocowaniami i montażem, utrzymaniem i amortyzacją), są proporcjonalne do nich.

dla średnicy $d$ w mm	14	20	25	34	39	49	64
cena cennikowa w zł.	0,96	1,18	1,70	2,20	2,50	3,33	4,60
cena ze wzoru 1 i 2-go	0,88	1,28	1,62	2,23	2,58	3,27	4,33
różnica w %	+9,0	-8,0	+5,0	-1,0	-3,0	+2,0	+6,0

Dla rur kołnierzych (kotłowych) przyjmuję:

$$\alpha = 0,048; \quad s = 1,08. \quad (3)$$

zestawienie tych cen jest następujące:

dla średnicy $d$ w mm	70	82	94	106	119	131	143	156	169	180	192
cena rynkowa w zł.	4,20	5,10	6,60	7,25	8,30	9,90	10,70	11,70	12,60	16,00	17,10
cena ze wzoru 1-go i 3-go	4,72	5,64	6,47	7,40	8,38	9,25	10,26	11,30	12,43	13,12	14,02
różnica w %	-11	-10	+2	-2	-1	+7	+5	+4	+2	+18	+18

Z tych zestawień wynika, że ceny obliczone z przyjętych wzorów i ceny z cennika różnią się od siebie dla średnic od 14 mm do 169 mm od +9% do -12%.

Jednakże w sumie kosztu różnica ta stanowić będzie znacznie mniejszy procent. Przytem należy zwrócić uwagę, że wielkości kosztów, które następnie służyć będą za podstawę rachunku liczbowego, jaki tu proponuję, będą obliczone bezpośrednio w sposób zwykły z projektu, na podstawie cen rynkowych, jak to wyżej zaznaczyliśmy; a liczby obliczone z przyjętych wzorów służyć będą tylko do znalezienia zależności funkcjonalnej pomiędzy zmiennymi parametrami  $H$  i  $t_p$ , z jednej strony, a kosztami instalacji z drugiej strony, — co znacznie zmniejszy powstające różnice.

Koszt przeto  $K$  całego przewodu z łącznikami i t. d. wyrazimy na podstawie wzoru 1-go.

$$K_p = \sum \alpha \cdot d_i^s l_i \quad (4)$$

W celu wyrażenia kosztu rur zmiennymi  $H$  oraz  $t_p$ , zastosujemy wzór Rietschel'a (R.-Br. 1925, II, str. 25) (literę  $m$  zastąpiłem tutaj literą  $p$ ):

$$R = a \frac{v_i^n}{d^p} \quad (5)$$

dla którego przyjął prof. Rietschel, na zasadzie licznych doświadczeń:

a) dla rur gazowych:

$$a = 2570; \quad n = 1,84; \quad p = 1,26 \quad (6)$$

b) dla rur kołnierzych (kotłowych):

$$a = 4920; \quad n = 1,86; \quad p = 1,37 \quad (7)$$

Dla  $i$ -tego przeto odcinka, ze wzoru 5-go, wzięwszy pod uwagę, że:

$$R = R_i = \frac{H_i}{l_i}, \text{ napiszemy } H_i = a \frac{v_i^n}{d_i^p} l_i \quad (8)$$

Podstawiając następnie w ten wzór:

$$v_i = \frac{Q_i}{A d_i^2} \text{ i } Q_i = \frac{W_i}{t_z - t_p}; \text{ (R.-Br., str. 19), otrzymamy z równ. 8-go:}$$

$$d_i = A^{-\frac{n}{2n+p}} \cdot a^{\frac{1}{2n+p}} \cdot (t_z - t_p)^{-\frac{n}{2n+p}} \cdot l_i^{\frac{1}{2n+p}} \cdot W_i^{\frac{4}{2n+p}} \cdot H_i^{-\frac{1}{2n+p}}$$

a po podstawieniu tej wartości do równ. 4-go, otrzymamy koszt całego przewodu, wyrażony zmiennymi  $H$  oraz  $t_p$ .

W tym wzorze oznaczmy:

$$A^{\frac{sn}{2n+p}} \cdot a^{\frac{s}{2n+p}} = B \quad (11)$$

Wartość  $B$  jest niezależna od  $i$ ; liczby natomiast  $\alpha$ ,  $s$ ,  $n$ ,  $p$ , są zależne od rodzaju rur, lecz po podstawieniu w ten wzór, podanych wyżej wartości w równ. 2-gim i 3-cim oraz 6-em i 7-em, — otrzymamy wartość tego wyrazu, dla obydwóch rodzajów rur jednakową = 0,195. Wyrównanie się wartości tych wyrazów w obydwóch przypad-

kach wynika przeważnie z tego, że współczynnik  $\alpha$  jest większy dla rur kołnierzych, niż dla gazowych,  $\alpha$  zaś odwrotnie; inaczej mówiąc, choć rury gazowe są droższe od kotłowych, lecz posiadają mniejsze tarcie (pg. wzoru Rietschel'a), mogą przeto przepuścić więcej ciepła niż kotłowe, przy tej samej stracie wysokości tarcia; wartość zaś wyrazu  $\frac{sn}{2n+p}$  dla rur gazowych = 0,390, a dla rur kołnierzych = 0,394, przyjmuję przeto wartość przeciętną 0,392 dla obydwóch rodzajów rur tak, iż po podstawieniu  $d$  z równ. 10-go do równ. 4-go, otrzymamy:

$$K_p = B \cdot (t_z - t_p)^{-0,392} \cdot \sum [l_i W_i^{0,323}]^{1,212} H_i^{-0,212} \quad (12)$$

W tem równaniu  $B = 0,195 \quad (13)$

Należy zwrócić uwagę, że liczba 0,195 odnosi się do kosztu rur, podanych w tabeli 1-ej i 2-ej, t. j. bez łączników, montażu i t. d.; w celu przeto jej zastosowania do kosztów instalacji lub do kosztów rocznych, należy ją proporcjonalnie zmniejszyć; zresztą dla naszych obliczeń, jak się okaże, będzie to zbyteczne.

Weźmy teraz dla tegoż układu rur i grzejników inną temperaturę  $t_p$ , którą oznaczamy literą  $t'_p$ , oraz inne wysokości tarcia  $H_u$ , które oznaczamy literą  $H'_u$ , z warunkiem jednakże, że te nowe  $H'_u$ , będą w ten sposób dobrane, ażeby zachodził nast. stosunek pomiędzy stratami w tych samych odcinkach:

$$\frac{H_u}{H'_u} = \frac{H_i}{H'_i}; \text{ lub inaczej } \frac{R_i}{R'_i} = \frac{H_i}{H'_i}; \quad (14)$$

Otrzymamy wówczas inne średnice rur dla tegoż przewodu, a więc i inny jego koszt,

Dwa układy, które czynią zadość wzorowi 14-emu, można nazwać układami proporcjonalnymi pod względem strat tarcia. Wyraz kosztu  $K'_p$  instalacji z temi nowymi średnicami otrzymamy, gdy we wzór 12-ty podstawimy zamiast  $t_p$  symbol  $t'_p$ , a zamiast  $H_u$  symbol  $H'_u$ . Pozostałe bowiem wielkości będą jednakowe w obydwóch układach; po podstawieniu następnie tych oznaczeń we wzór 12-ty, i po uwzględnieniu warunku 14-go

$$H'_u = H_u \cdot \frac{H'_i}{H_i} \quad (15)$$



otrzymamy stosunek kosztów takich dwóch układów rur:

$$\frac{K_p}{K'_p} = \left( \frac{t_z - t_p}{t_z - t'_p} \right)^{-0,392} \left( \frac{H_t}{H'_t} \right)^{-0,212} \quad (16)$$

Lecz koszty te wyrażone są w zależności od zmiennej  $H_t$ ; praca zaś pompy wyraża się wysokością ciśnienia  $H$ , potrzebnego na przewyciężenie tarcia  $H_t$  łącznie z wysokością  $H_s$  miejscowych oporów, t. j. wysokością  $H = H_t + H_s$ ; należy przeto wielkość  $H_t$  wyrazić wielkością  $H$ . W tym celu, jak to wykazę w dalszym ciągu tej pracy, można z dostateczną dokładnością dla przykładów praktycznych, stosować dla tego samego rozkładu rur i dla tych samych ilości przewodzonego ciepła  $W_t$ , a dla różnych wysokości tarcia  $H_t$  i  $H'_t$  oraz dla różnych temperatur wody powrotnej  $t_p$  i  $t'_p$  stosunek:

$$\frac{H_t}{H'_t} = \frac{H}{H'} \cdot \varphi, \quad (17)$$

gdzie  $\varphi$  jest funkcją zmiennej  $H_t$  i  $t_p$ , określoną równaniem 35-tem, której sposób obliczenia jest dalej podany. Wartość  $\varphi$ , ze względu, iż jest wielkością niewiele różniącą się od jedności, przyjmujemy we wstępnym rachunku za wielkość stałą, a po obliczeniu  $H$  wyznaczyć można  $\varphi$  i wprowadzimy ją jako poprawkę. Poprawka ta nie będzie wielka i na praktyczne obliczenie nie wywrze wpływu, gdyż wchodzi we wzorze w potęgę 0,212, która znacznie zbliża tę wartość do jedności.

Po podstawieniu przeto powyższego stosunku do równ. 15-go, otrzymamy:

$$\frac{K_p}{K'_p} = \left( \frac{t_z - t_p}{t_z - t'_p} \right)^{-0,392} \cdot \left( \frac{H}{H'} \right)^{-0,212} \cdot \varphi^{0,212} \quad (17)$$

Równanie to wyraża koszt przewodu  $K_p$ , jako funkcję zmiennych  $H$  oraz  $t_p$  i pozostaje w mocy, jak to było powiedziane, gdy obydwa układy ( $H$  i  $H'$ ) czynią zadość warunkowi proporcjonalności, wyrażonemu równaniem 14-em.

(d. n.)

## Osad czynny.<sup>1)</sup>

Napisał Inż. Aleksander Szniolis, Oddział Inżynierji Sanitarnej Państwowej Szkoły Higieny.

### Urządzenia do oczyszczania ścieków z osadem czynnym.

Ścieki, przed zastosowaniem osadu czynnego, winny być oczyszczone mechanicznie od grubszych zawiesin. Do tego celu stosuje się albo osadniki Imhoff'a, albo drobne sita mechaniczne. Częściowo sklarowane ścieki wprowadza się do zbiorników, w których w ten lub inny sposób można zasilać je powietrzem i utrzymywać w ciągłym ruchu. Jednocześnie ze ściekami, wpływającymi do wspomnianych zbiorników, dopływa w odpowiedniej ilości osad czynny. Mieszanina ta przebywa w tych zbiornikach niezbędną ilość czasu dla doprowadzenia ścieków do pożądanego stopnia oczyszczenia. Proces trwa — w zależności od stężenia ścieków, ilości powietrza dostarczanego i ilości osadu czynnego od 3 do 10 godz.

Ścieki domowe wymagają przeważnie 3—4 godz., miejskie 4—8, przemysłowe 6—10, a nieraz i więcej.

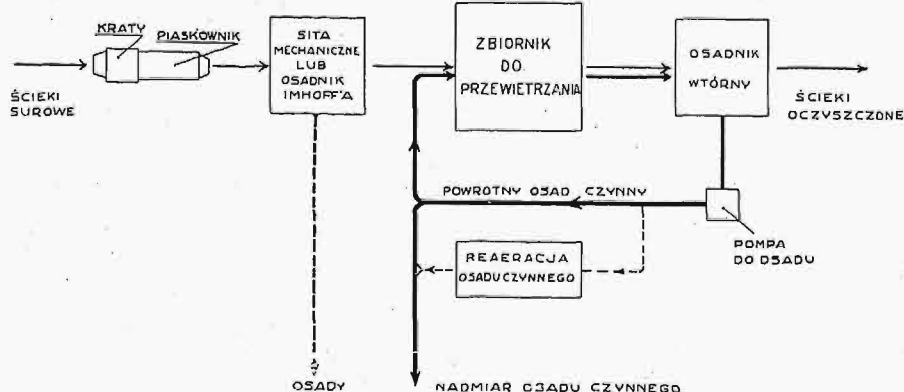
Po zakończonym procesie ciecz wypływa do osadników, gdzie osad opada na dno, a sklarowana ciecz sływa w górnej części do rur odpływowych z urządzenia.

Osad z dna osadnika przepompowuje się z powrotem do zbiorników aeracyjnych i bierze ponownie udział w oczyszczaniu nowej porcji ścieków. Wobec tego, że ilość osadu czynnego, w miarę oczyszczania wciąż nowych porcji ścieków, wzrasta, otrzymuje się pewien jego nadmiar, niepotrzebny dla procesu. Nadmiar ten otrzymuje się

w ilości od 0,3 do 1% w stosunku do objętości oczyszczonych ścieków i usuwa się stale na stronę.

W niektórych urządzeniach osad czynny, na powrotnej drodze z osadnika wtórnego do zbiornika do przewietrzania, wprowadzany jest do specjalnych zbiorników, t. zw. reaeracyjnych, gdzie przedmuchiwany jest w ciągu pewnego czasu (do 2 godz.).

Stosuje się to przeważnie w urządzeniach mniejszych, w których zbiorniki reaeracyjne mają za zadanie przechowywanie osadu czynnego w dobrym stanie w czasie możliwych dłuższych przerw przy naprawie poszczególnych zbiorników do przewietrzania, oraz w urządzeniach, w których jest prowadzone przy pomocy osadu czynnego tylko częściowe oczyszczanie ścieków (proces sklarowa-



Rys. 1. Schemat procesu z osadem czynnym.

nia w ciągu 1—2 godzin), przed dalszym całkowitym oczyszczaniem ich na istniejących złożach zraszanych lub innych.

W tym wypadku, osad czynny przeładowany jest zazwyczaj zbyt dużą ilością substancji, które pobrał ze ścieków, a których w tak krótkim czasie przerobić nie zdołał. W podobnych wypadkach

<sup>1)</sup> Ciąg dalszy do str. 417 Nr. 19 r. b.