

DZIAŁ CZTERNASTY.

OGRZEWANIE I PRZEWIETRZANIE *).

I. PRZEWIETRZANIE **).

a. Niezbędność wymiany powietrza.

W przestrzeniach zamkniętych, zamieszkałych lub w których przebywają ludzie czasowo, np. w pracowniach, powietrze psuje się, a mianowicie zagrzewa się ono ciepłem, wydzielanem przez ludzi, przez przyrządy oświetlające i t. p., nadto pozbawia się ono przez nie częściowo tlenu, a w zamian zanieczyszcza się wyziewami ludzkimi, spalinami, pyłem, dymem i t. p. Z czasem powietrze staje się niezdatnem do oddychania i szkodliwym dla zdrowia, wypada zatem zastąpić je powietrzem świeżem. Zanieczyszczenie powietrza oddechem ludzkim i spalinami polega przeważnie na wydzielaniu pary wodnej i bezwodnika węglowego (kwasu węglanego CO_2), który się wytwarza przez utlenianie węgla tlenem, zabieranym z powietrza. Szkodliwym dla zdrowia byłoby już wynikające z tego zmniejszenie zawartości tlenu w powietrzu, stokroć jednak szkodliwszem jest zanieczyszczenie powietrza bezwodnikiem węglowym, którego odsetka, zawarta w powietrzu, służy zazwyczaj za miarę dobroci, względnie zepsucia powietrza.

b. Ilość wymian powietrza na godzinę.

W zwykłych pokojach mieszkalnych, o jednym tylko nawiewniku, wymiana częstsza, niż pięciokrotna na godzinę, przedstawia już znaczne trudności, gdy niema powodować dokuczliwych przewiewów. Dlatego też, obliczywszy podług danych poniższych niezbędną obję-

*) W dziale niniejszym stosujemy wyłącznie ciepłostki kilogramo-celsiuszowe. Tablice ich zamiany na ciepłostki innych układów i zamian odwrotnych, p. „Dodatek“ przy końcu tomu niniejszego.

**) H. Rietschel, Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- u. Heizungs-Anlagen; 3 wyd., Berlin 1902, J. Springer. — Handbuch der Architektur, Darmstadt 1890, rozprawa H. Fischer'a „O ogrzewaniu i przewietrzaniu“ — Handbuch der praktischen Gewerbe Hygiene, H. Albrecht, Berlin 1894, u. R. Oppenheim'a, rozprawa K. Hartmann'a „O ogrzewaniu i przewietrzaniu pracowni“. — Anweisung zur Herstellung u. Unterhaltung von Zentralheizungs u. Lüftungsanlagen, rozporz. Min. prus. rob. publ. z 24 marca 1901. — Łukaszewicz, Podręcznik ogrzewania i przewietrzania (po rosyjsku). Wreszcie czasopisma: „Gesundheits-Ingenieur“, oraz „Engineering Record“.

tość powietrza, mającego wymieniać się cogodzinnie, należy sprawdzić, czy wymiana taka nie przekracza pięciokrotnej objętości pokoju lub sali, a w danym razie wypadaloby bądź to zastosować środki właściwe dla uniknięcia przewiewów, bądź też zmniejszyć odpowiednio ilość wymian na godzinę. Przy określaniu ilokrotności wymian trzeba również uwzględnić i zawilżenie powietrza parą wodną, aby utrzymać i pod tym względem powietrze zdrowotne, którego wilgotność zimą podczas ogrzewania powinna być nie mniejsza niż 50 do 60% (względnie do pełnego nawilżenia), a nie przekraczać 70% nawet przy sztucznem ochładzaniu w porze letniej. Powietrze za suche bywa na ogół mniej szkodliwe od przewilżonego. (O wilgotności powietrza por. T. I str. 280 i n.).

Dorosły mężczyzna w stanie spoczynku wydaje na godzinę z oddechem około 40 gramów wilgoci, przy natężonej pracy do 80 g, kobieta mniej, a dziecko w zależności od wieku, średnio połowę tych ilości.

1. Objętość wymiany, warunkowana zawartością bezwodnika węglowego.

Czyste powietrze na dworze zawiera w sobie średnio około 0,4⁰/₀₀ CO₂. Zwiększanie się tej zawartości jest, jak już wspomniano, dogodną miarą zanieczyszczenia powietrza przez oddech ludzki i spaliny. Przy zawartości 0,7⁰/₀₀ CO₂ uważamy powietrze w mieszkaniach za zupełnie zdrowotne, aczkolwiek zawartość 1⁰/₀₀ nie uważa się na ogół za niezdrowotną, a przy większem skupieniu ludzi, np. w salach szkolnych nawet zawartość 1,5⁰/₀₀ można uznać za jeszcze zdrowiu nieszkodliwą.

Zawartość CO₂ w powietrzu mierzymy najdogodniej, przepuszczając odmierzane ilości tego powietrza przez określoną ilość wody wapiennej (t. j. przez nasycony roztwór wapna), a mianowicie dopóki nie wywołamy pewnego, określonego jej zamęcenia. W tym celu nalewamy wodę wapienną do szklaneczki, o ustalonej pojemności i wogóle wymiarach, posiadającej na swem dnie znak widoczny, który przestajemy dostrzegać, gdy zamęcenie osiągnie swej normy właściwej. Ilość przepuszczanego powietrza odmierzamy w ten sposób, że za każdym razem przeciskamy przez wodę wapienną zawartość piłki gumowej, zakończonej rurkowatym wylotem. Sciskając w rękę piłkę, wytłaczamy z niej powietrze, a pozwalając piłce przybrać kształt pierwotny, ssiemy w nią powietrze z pokoju, które, zanurzwszy wylot piłki w wodę wapienną, przetłaczamy przez nią. A że piłka ma pojemność należycie ustosunkowaną do pojemności owej szklaneczki i do jej głębokości, stanowiącej niejako miarę zamęcenia normalnego, więc liczba takich ściśnień piłki określi nam ilość powietrza, niezbędną do wywołania owego zamęcenia normalnego. Do takiego przyrządu dodają zazwyczaj tablicę, w której liczbom owych ściśnień piłki przeciwstawiono wprost przynależne zawartości CO₂ w ‰.

Jeżeli oznaczymy przez:

L ilość powietrza wymianianego, w m³/godz.,

a stosunek objętościowy domieszki CO₂ w powietrzu, jaki uznajemy za jeszcze dozwolony, a więc 0,0007 do 0,0015,

b tenże stosunek w powietrzu świeżem, t. j. 0,0004,

n_1, n_2, n_3 ilości źródeł wytwarzających CO₂,

k_1, k_2, k_3 ilość CO_2 , wydawaną przez poszczególne źródła danego gatunku w $\text{m}^3/\text{godz.}$, to otrzymamy wzór:

$$L = \frac{\sum n \cdot k}{a - b}$$

Wzorem tym określamy ilość L powietrza doprowadzanego, gdy nastąpi już stan ustalenia.

Ilość bezwodnika węglowego CO_2 , w $\text{m}^3/\text{godz.}$, wydawana przez:

dziecko	0,010
podrostka	0,016
dorosłego, w stanie spoczynku	0,020
dorosłego, podczas pracy fizycznej	0,036
1 kg spalanej świecy woskowej lub stearynowej	1,5 m^3
1 kg nafty spalanej w lampie	1,6 "
1 m^3 spalanego gazu świetlnego	0,6 "

Dogodniejszą w użyciu będzie tablica poniższa, zaczerpnięta z podręcznika Rietschel'a, a podająca niezbędne wymiany powietrza, przy dozwolonym jego zanieczyszczeniu bezwodniem CO_2 , wydawanym przez poszczególne źródła, i oparta na założeniu, że świeże powietrze doprowadzane zawiera $0,4^{0}/_{00}$ CO_2 .

Źródło wydające z siebie bezwodnik węglowy CO_2	Źródło wydaje z siebie $\text{m}^3/\text{godz.}$ CO_2	Objętość wymiany powietrza w $\text{m}^3/\text{godz.}$, przy dozwolonej zawartości CO_2 w ‰									
		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
Dziecko	0,010	33	25	20	17	14	13	11	10	9	
Podrostek	0,016	53	40	32	27	23	20	18	16	15	
Dorosły, w spoczynku	0,020	67	50	40	33	29	25	22	20	18	
Dorosły, podczas pracy	0,036	120	90	72	60	51	45	40	36	33	
1 m^3 spalanego gazu świetlnego	0,6	2033	1525	1220	1017	871	763	678	610	555	

Podany powyżej sposób obliczeń, owarunkowany stanem ustalenia, nadaje się do mieszkań i wogóle do sal, w których dana ilość ludzi przebywa stale, a przynajmniej przez dłuższe okresy czasu, np. w klasach szkolnych i t. p. Jeżeli natomiast te okresy czasu będą stosunkowo krótsze, jak to ma miejsce w widowiskach teatralnych, salach zebrań i koncertowych i t. p., to właściwszym będzie sposób poniżej podany.

2. Objętość wymiany, warunkowana nieprzekraczaniem określonej temperatury.

Jeżeli oznaczymy przez:

W_1 ilość ciepła, wydawaną przez ludzi, w $\text{cpl}/\text{godz.}$,

W_2 ilość ciepła, wydawaną przez oświetlenie, w $\text{cpl}/\text{godz.}$,

W_3 ilość ciepła, wydawaną przez ogrzewanie, zmniejszoną o straty ciepła, przechodzącego przez otoczenie na zewnątrz w $\text{cpl}/\text{godz.}$ (gdy straty przeważają, znak będzie odjemny),

$W = W_1 + W_2 + W_3$, całkowitą ilość ciepła, pozostałą do odprowadzenia przez powietrze, w cpl/godz.,

t_0 temperaturę powietrza nawietrzającego,

t pożądaną temperaturę powietrza w pokoju lub sali, mierzoną na wysokości głowy człowieka, której to temperatury nie mamy przekraczać,

α współczynnik rozszerzalności powietrza na 1° , a więc $\alpha = 1 : 273 = 0,003665$,

L objętość powietrza, odprowadzanego z temperaturą t , w m^3 /godz., to otrzymamy wzór:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0,307(t - t_0)},$$

w którym cyfra 0,307 jest cieplikiem właściwym $1 m^3$ powietrza przy 0° .

Wzór powyższy dotyczy stanu ustalenia, lecz wyniki jego, szczególnie przy oświetleniu gazowem, są często za wielkie, zwłaszcza jeśli wywiewniki mieszczą się nie na wysokości głowy człowieka, lecz wyżej, np. tuż pod sufitem, albo nawet w samym suficie, a to w celu odprowadzania powietrza najgorętszego. W takich przypadkach, zwłaszcza sale wyższe, dzielimy do obliczania na dwie lub kilka warstw poziomych, z których w niższych, zajętych przez ludzi, należy utrzymywać temperaturę nie wyższą niż t , w wyższych natomiast warstwach, nie zajętych przez ludzi temperatura ta, a więc i temperatura powietrza wywiewanego, może być znacznie wyższa. Wprowadzając tak powiększoną wartość t do wzoru powyższego, otrzymamy znacznie mniejszą ilość L powietrza do wywiewienia.

Powietrze nawietrzające należałoby doprowadzać w temperaturze t_0 nie niższej niż 15° , a powietrze otaczające ludzi powinno być na wysokości ich głowy posiadać temperaturę $t = 18$ do 20° , a wyjątkowo podczas krótszego pobytu ludzi 23° . Temperatury pożądaną w pokojach i salach, w zależności od ich przeznaczenia, podano w rozdz. II, Ogrzewanie.

Do obliczenia ilości W_1 , służą dane poniższe. Mężczyzna dorosły wydaje średnio 100 cpl/godz. *) swemu otoczeniu, kobieta 90 cpl/godz., dziecko podrastające 50 cpl/godz. W istocie jednak ilość ciepła wydawanego na godzinę zależy od różnicy między temperaturą krwi (37°) i temperaturą t otoczenia. Ilość ciepła w , wydawaną na godzinę, określamy zatem ściślej wzorami: dla dorosłego $w = 6(37 - t)$, a dla dziecka $w = 3(37 - t)$ cpl/godz.

Do obliczenia ilości W_2 , t. j. ciepła wydawanego przez oświetlenie może służyć tablica drugostronna:

*) H. Fischer w Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1894 i 1899 obliczył, o ile stopni zarzewa jedna osoba przeznaczoną dla niej wymianę powietrza, a mianowicie:

Wymiana	{	30	40	50	60	70	80 kg/godz., czyli
Podwyższenie temperatury o	{	2,5	31	38	46	54	61 m ³ /godz. powietrza
		13,9°	10,4°	8,3°	7,0°	6,0°	5,2°.

Tablica ciepłostek, wydawanych na godz. przez oświetlenie.

Rodzaj oświetlenia	Zużywa na godz. i na światłostkę świecową	Na każdą światłostkę świecową wydaje cpl/godz.
Oświetlenie elektryczne:		
Lampy łukowe	0,4 watów	0,4
Żarówki Nernst'a	1,5 „	1,3
Żarówki zwykłe	3,0 „	2,6
Oświetlenie gazowe:		
Palniki Bray'a	0,013 m ³	67
Palniki Argand'a	0,010 „	50
Palniki żarowe	0,002 „	10
Oświetlenie acetylenowe		
Palnik naftowy pierścieniowy . . .	0,003 „	30
Świece woskowe i stearynowe . . .	0,009 „	85

Szczegóły niezbędne do obliczenia wartości W_3 podano w rozdz. II, Ogrzewanie.

Tablica ilości L w m³, niezbędnej na zabranie 100 cpl.

Temperatura t_0 powietrza nawietrzającego	Objętość powietrza, w m ³ , które zabiera 100 cpl., zagrzewając się do temperatury t , z jaką je odprowadzamy:												
	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°
15°	116	87	70	59	50	44	40	36	33	30	28	26	24
16°	174	117	88	70	59	51	44	40	36	33	30	28	26
17°	348	175	117	88	71	59	51	45	40	36	33	30	28
18°	.	350	175	117	88	71	59	51	45	40	36	33	30
19°	.	.	351	176	118	89	71	59	51	45	40	36	33
20°	.	.	.	352	177	118	89	71	60	51	45	40	36

Uwaga. Temperatury powietrza odprowadzanego, przekraczające 23°, dotyczą warstw wyższych, w których nieprzebywają ludzie.

3. Średnia objętość wymiany powietrza na godzinę i osobę.

1. Podług pruskich przepisów ministeryalnych:

- W sypialniach i salach więziennych 10 m³
- W jednoosobowych celkach więziennych 15 do 22 „
- W salach odczytowych i salach zebrań. do 20 „
- W klasach szkolnych, zależnie od wieku uczniów . 10 do 25 „

Dla szpitali przepisy te nie wskazują danych, zalecając każdorazowe ustalenie ilości wymiany powietrza w porozumieniu z władzą szpitalną. W sieniach, schodniach i korytarzach starczy pół wymiany na godzinę, lecz zaleca się jednokrotna, gdy przestrzenie te służą do stałego pobytu w nich ludzi. Z kuchni, ustępów i t. p., gdzie wytwarzają się zaduchy, należy liczyć pięciokrotną wymianę na godzinę, a conajmniej trzykrotną.

2. Tablica wymian powietrza podług Rietschel'a.

Przeznaczenie izby lub sali	Wymiana na godzinę	
	skąpa	obfita
Pokoje dla chorych dorosłych	75 m ³	75 m ³
" " " " dzieci	35 "	35 "
Klasy szkolne na dzieci do 10 lat.	10 "	17 "
" " " " wyżej 10 lat.	15 "	25 "
Pokoje na pobyt oznaczonej ilości osób	20 "	35 "
	Ilokrotność wymian na godz.	
Pokoje na pobyt zmiennej ilości osób	1	2
Sienie, schodnie, korytarze bardzo uczęszczone *)	3	4
Sienie, schodnie, korytarze mało uczęszczone *)	1/2	1
Kuchnie i ustępy *)	3	5

Dane powyższe nie uwzględniają nadmiernego zagrzewania się powietrza, np. z powodu oświetlenia gazowego, ani też niezbędnej ilości powietrza nawietrzającego przy ogrzewaniu powietrzem. W takim przypadku, jakoteż gdy chodzi o nieprzekraczanie pewnej temperatury, wypada obliczać wymianę podług tych warunków, a jeśli wynik tego obliczenia da wymianę mniejszą od wskazanej w tablicy powyższej, to należy stosować conajmniej ilości podane w tablicy.

c. Sposoby przewietrzania.

1. Przewietrzanie samoistne.

Większość tworzyw (materiałów) budowlanych jest do pewnego stopnia przenikalna dla powietrza, wskutek czego następuje samoistna wymiana powietrza z budynku na zewnątrz i odwrotnie, gdy tylko prężność (ciśnienie barometryczne) powietrza po obu stronach ściany będzie niejednakowa.

Jeżeli oznaczymy przez:

I' powierzchnię przegrody przenikalnej dla powietrza, w m²,

s grubość tejże przegrody, w m,

p prężność bezwzględna powietrza po jednej stronie przegrody, w kg/m²,

p_0 podobną prężność po drugiej stronie, w kg/m²,

β współczynnik przenikalności tworzywa przegrody, t. j. ilość m³ powietrza, przenikającego na godz. przez 1 m² takiej przegrody, 1 m grubej, przy różnicy 1 kg/m² obustronnej prężności,

*) Sienie, schodnie i korytarze najlepiej tylko nawietrzać, kuchnie i ustępy natomiast wyłącznie tylko wywietrzać, t. j. wyciągać z nich powietrze, nie doprowadzając do nich bezpośrednio świeżego. Natenczas kuchnie i ustępy będą czerpały z sien i korytarzy powietrze niezbędne do wymiany, co zapobiegnie rozprzestrzenianiu się zduchów po budynku.

to podług C. Lang'a *) ilość L powietrza, w $m^3/\text{godz.}$, przenikająca przez przegrodę, będzie:

$$L = \frac{(p - p_0) \beta F'}{s}.$$

Gdy powietrze przenika z pokoju na zewnątrz i odwrotnie jedynie wskutek różnicy temperatur, a więc gdy np. temperatura t w pokoju jest wyższa od temperatury zewnętrznej t_0 , to w niższych warstwach pokoju prężność p powietrza będzie mniejsza od prężności zewnętrznej p_0 , a w górnych warstwach naodwrotń większa. Powietrze będzie zatem dopływało z dworu do pokoju przez podłogę i dolną część ścian, a wypływało z niego na zewnątrz przez górną część ścian i przez sufit. Jeżeli cała wysokość pokoju będzie H , a h wysokością warstw niższych, w których $p - p_0 < 0$, to $H - h$ będzie wysokością warstw wyższych, w których $p - p_0 > 0$. Na wysokości h od podłogi leżeć będzie warstwa obojętna, w której $p = p_0$. Średnie, czynne różnice prężności ($p - p_0$) dla wzoru powyższego byłyby zatem (jeżeli $\alpha = 0,003665$ jest współczynnikiem rozszerzalności, a 1,293 wagą 1 m^3 powietrza przy 0° w kg):

$$\text{u podłogi: } p - p_0 = -1,293 h \left(\frac{1}{1 + \alpha t_0} - \frac{1}{1 + \alpha t} \right);$$

w warstwach niższych średnio:

$$p - p_0 = -1,293 \frac{h}{2} \left(\frac{1}{1 + \alpha t_0} - \frac{1}{1 + \alpha t} \right);$$

w warstwach wyższych średnio:

$$p - p_0 = +1,293 \left(\frac{H - h}{2} \right) \left(\frac{1}{1 + \alpha t_0} - \frac{1}{1 + \alpha t} \right);$$

$$\text{u sufitu: } p - p_0 = 1,293 (H - h) \left(\frac{1}{1 + \alpha t_0} - \frac{1}{1 + \alpha t} \right).$$

Zazwyczaj liczą, że zimą, w mieszkaniach zwykłych, o ścianach olejno niemalowanych (ani od strony zewnętrznej ani od wewnętrznej) samoistna wymiana powietrza bywa pół do jednokrotna na godzinę i na mocy tego założenia obliczają stratę ciepła, powodowaną przez samoistną wymianę powietrza **).

*) C. Lang, Ueber natürliche Lüftung; Stuttgart 1877. Lang oznacza współczynnik β nie w m^3 lecz w litrach; chcąc otrzymać wynik L w m^3 , należy stosować współczynniki β 1000 razy mniejsze od liczonych przez Lang'a, co też już uwzględniono na str. 579.

**) Objętość powietrza samoistnie wymienianego nie pozostaje w prostym stosunku do objętości pokoju, lecz raczej w stosunku do powierzchni ścian zewnętrznych i t. p., a w odwrotnym stosunku do grubości tychże ścian i t. p. Wielkość straty ciepła, powodowanej tą wymianą, lepiej zatem będzie oznaczać w % ciepła przenikającego przez ściany i t. p., a nie podług ilokrotności wymian. Zaznaczyć jednak wypada, że np. ściana z tworzywa dziurkowanego przepuszcza wiele powietrza, chociaż jest złym przewodnikiem ciepła, co należy uwzględnić w wysokości % dodawanego.

Spółczynnik β przenikalności tworzyw dla powietrza.

Piaskowiec	0,000124	m ³ /m ²	Zaprawa wa-	
Cegła	0,000201	"	pienna	0,000907 m ³ /m ²
Klinkier polewany	0,000000	"	Beton	0,000258 "
" niepolewany	0,000145	"	Zaprawa cemen-	
			towa bez piasku	0,000187 "
			Odlew gipsowy.	0,000041 "

Pomalowanie ściany farbą olejną usuwa niezwłocznie jej przenikalność dla powietrza, a pomalowanie szkłem wodnym czyni to zwolna, w miarę wytwarzania się krzemianów wapnia i t. p.

Zmniejszanie przenikalności pierwotnej dla powietrza:

a) skutek powłoki ścian:

farbą klejową	50%	zwykłym obiciem	18%
" wapienną	25%	obiciem lakierowanym	40%
parafiną, woskiem i t. p.	100%		

b) skutek przewilżenia wodą:

w piaskowcu	80%	w zaprawie wapiennej	90%
w cegle	80%	w betonie i w zaprawie	
		cementowej	100%

2. Przewietrzanie pobudzone.

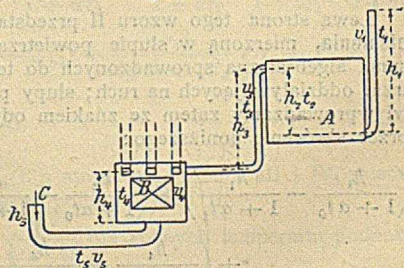
1. Przewietrzanie pobudzone różnicą temperatur.

Jeżeli przez L oznaczymy objętość wymiany w m³/godz., mierzoną przy temperaturze t_1 , to w kanale nawietrzającym lub wywietrzającym, o przekroju F w m², a temperaturze t , niezbędna prędkość ruchu powietrza w danym przekroju F wyrazi się w m/sek. wzorem:

$$v = \frac{L(1 + \alpha t_1)}{3600(1 + \alpha t)F} \dots \dots \dots \text{I.}$$

Właściwym zadaniem projektu przewietrzania będzie oznaczenie takich przekrojów kanałowych, aby się w nich istotnie wytwarzała prędkość, wzorem powyższym wskazana. W rys. 1061 przedstawiono zarys urządzenia przewietrzającego, Pokój A , a raczej jego przekrój, bywa zazwyczaj w stosunku do objętości wymiany tak

Rys. 1061.



wielki, że możemy w nim zupełnie zaniedbać prędkość ruchu powietrza. W nagrzewni B mieści się nagrzewnica (kaloryfer), powietrze świeże dopływa do niej kanałem CB od czerpni C . Z nagrzewni prowadzą powietrze do poszczególnych pokojów kanały nawietrzające, a z nich wrysowano całkowicie tylko kanał, wiodący do pokoju A , z którego powietrze zepsute wychodzi w górę na zewnątrz oddzielnym kanałem wywietrzającym.

Poniżej oznaczać będziemy przez:

α współczynnik rozszerzalności powietrza = 0,003665 = 1 : 273,

t_0 temperaturę powietrza zewnętrznego,

t_1, t_2, t_3, t_4 temperaturę powietrza w poszczególnych działkach urządzenia, stosownie do ich oznaczenia w rysunku,

v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 prędkości powietrza w tychże działkach, w m/sek.,

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 wysokości słupów powietrza, powodujących czynną wysokość ciśnienia, w m,

R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 mnożniki oporów od tarcia powietrza o ścianki w poszczególnych działkach, w m (obliczenie tych wartości p. str. 582),

$\Sigma \zeta_1, \Sigma \zeta_2, \Sigma \zeta_3, \Sigma \zeta_4, \Sigma \zeta_5$, t. j. liczby, które, pomnożone przez wysokość prędkości $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$, dają nam wysokość oporu, spowodowanego przez miejscowe zwężenia i rozszerzenia przewodu,

przez jego załomy, klapy, kratki i t. p. (wartości na mnożniki ζ p. str. 582 i T. I str. 251 i n.),

$g = 9,81$ m/sek².

W założeniu, że ścianki nagrzewni B , pokoju A i przewodów są dla powietrza nieprzenikalne, otrzymamy wzór:

$$\begin{aligned} & \frac{h_1 - h_2 + h_3 + h_4 - h_5}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} + \frac{h_2}{1 + \alpha t_2} - \frac{h_3}{1 + \alpha t_3} - \frac{h_4}{1 + \alpha t_4} + \frac{h_5}{1 + \alpha t_5} \\ & = \frac{v_1^2}{2g(1 + \alpha t_1)} (1 + R_1 + \Sigma \zeta_1) + \frac{v_3^2}{2g(1 + \alpha t_3)} (1 + R_3 + \Sigma \zeta_3) \\ & + \frac{v_4^2}{2g(1 + \alpha t_4)} (R_4 + \Sigma \zeta_4) + \frac{v_5^2}{2g(1 + \alpha t_5)} (R_5 + \Sigma \zeta_5) \dots \text{II} \end{aligned}$$

Lewa strona tego wzoru II przedstawia nam **czynną wysokość ciśnienia**, mierzoną w słupie powietrza o temperaturze 0° . Jest to suma algebraiczna sprowadzonych do temperatury 0° słupów powietrza, oddziaływających na ruch; słupy przeciwdziałające temu ruchowi wprowadzamy zatem ze znakiem odjemnym. Wyraz ten powstał przez skrócenie poniższego:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{h_1}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} \right) - \left(\frac{h_2}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_2}{1 + \alpha t_2} \right) + \left(\frac{h_3}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_3}{1 + \alpha t_3} \right) \\ & + \left(\frac{h_4}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_4}{1 + \alpha t_4} \right) - \left(\frac{h_5}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_5}{1 + \alpha t_5} \right), \end{aligned}$$

w którym każdy nawias wyraża część wysokości czynnej, wytworzoną przez różnicę temperatur i wysokość słupów w pewnej, poszczególniej działce układu. Drugi z tych nawiasów otrzymał znak ujemny, gdyż ruch w działce przynależnej skierowany jest z góry w dół, a więc odwrotnie do ogólnego ruchu, powodowanego przez wysokość czynną; to samo dotyczy i nawiasu ostatniego.

Prawa strona równania II przedstawia sumę wysokości oporów w poszczególnych działkach, w postaci iloczynu z wysokości prędkości i mnożników oporu. Każdy taki mnożnik oporu składa się z mnożnika R oporu od tarcia o ścianki i z mnożnika $\sum \zeta$ oporów miejscowych, t. j. od zmian w przewodzie (zmian kierunku lub przekroju w przewodzie), a jeśli przewód ma ujście w przestrzeń o tak wielkim przekroju, że prędkość w niej możemy zaniedbać, to do mnożnika oporu od zmian należy dodać liczbę 1, przez co uwzględnimy wysokość, traconą wskutek zmniejszenia prędkości do zera. Po prawej stronie braknie wyrazu przynależnego do działki 2, ponieważ staje się on zerem, założyliśmy bowiem, że w działce tej prędkość v_2 jest tak mała, iż może być zaniedbana, czyli równa zeru. Wartości $\frac{v^2}{2g}$ podano w tablicy T. I str. 146.

Jeżeli natomiast założymy, że ścianki tylko w nagrzewni B są dla powietrza nieprzenikalne, a ścianki pokoju A przenikalne (co się też najczęściej zgadza z rzeczywistością), to wypada cały układ przewietrzający rozdzielić w obliczeniu na dwie części: nawietrzającą, od czerpni powietrza aż do środka pokoju A , i część wywietrzającą, od tegoż środka pokoju A aż do górnego wylotu kanału wywietrzającego. Poniżej podajemy wzór III na część wywietrzającą:

$$\frac{h_1}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} - \frac{h_2}{2(1 + \alpha t_0)} + \frac{h_2}{2(1 + \alpha t_2)} = \frac{v_1^2}{2g(1 + \alpha t_1)} (1 + R_1 + \sum \zeta_1) \quad \text{III,}$$

oraz wzór IV na część nawietrzającą:

$$\begin{aligned} & - \frac{h_2}{2(1 + \alpha t_0)} + \frac{h_2}{2(1 + \alpha t_2)} + \frac{h_3 + h_4 - h_5}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_3}{1 + \alpha t_3} - \frac{h_4}{1 + \alpha t_4} + \frac{h_5}{1 + \alpha t} \\ & = \frac{v_3^2}{2g(1 + \alpha t_3)} (1 + R_3 + \sum \zeta_3) + \frac{v_4^2}{2g(1 + \alpha t_4)} (R_4 + \sum \zeta_4) \\ & = \frac{v_5^2}{2g(1 + \alpha t_5)} (R_5 + \sum \zeta_5) \quad \text{IV.} \end{aligned}$$

Rozdział ten w obliczeniu, t. j. stosowanie wzoru III i IV, zaleca się bardziej niż obliczenie łączne podług wzoru II.

Wartości: $(1 + \alpha t)$, oraz $\frac{1}{1 + \alpha t}$ dla różnych temperatur podano na str. 281 T. I.

Wspomniane powyżej mnożniki R oporu tarcia wyrażają się wzorem:

$$R = \frac{\rho l u}{F},$$

w którym l oznacza długość, u obwód przewodu w m, a więc lu powierzchnię ścianek przewodu, o które trze się powietrze. F oznacza przekrój tegoż przewodu, a ρ współczynnik tarcia, którego wartości dla kanałów murowanych zestawiamy poniżej podług doświadczeń Rietschel'a:

$u =$	0,50	0,52	0,54	0,56	0,59	0,65	0,72	do 0,95	0,96 do 1,99	2,00 do 12,50 m,
$\rho =$	0,035	0,020	0,017	0,014	0,012	0,010	0,009	0,008	0,007	

Ściśle biorąc wartość współczynnika ρ zmniejsza się przy wzrastającej prędkości, ponieważ jednak średnie prędkości w przewodach przewietrzających pozostają w dość ciasnych granicach (0,5 do 3 m/sek.), których zazwyczaj nie przekraczają, więc dogodnym będzie, w obliczeniach stosować powyższe, od prędkości niezależne wartości na ρ .

Mnożniki $\Sigma \zeta$ oporu od zmian w przewodzie składają się z sumy mnożników dla poszczególnych takich zmian kierunku lub przekroju. Wartość mnożnika ζ można liczyć: w załomie prostokątnym 1,5, w zakrzywieniu o 90° , kolankowo złagodzonem 1, w załomie o 45° (kął przewodu 135°) 0,6, wreszcie przy zmianach kierunku, złagodzonych za pośrednictwem łuków o większych promieniach, 0. Zmiana przekroju F_1 na F wymaga dodania mnożnika oporu $\zeta = \left(\frac{F}{F_1} - 1\right)^2$, który możemy zaniedbać zupełnie, gdy zmiana przekroju jest nieznaczna lub łagodnie przeprowadzona na większej długości przewodu. Dla siatek drucianych $\zeta = 0,3$ do 0,6, a dla kratki z blach dziurkowanych $\zeta = 0,75$ do 2, w zależności od stopnia zacieśniania przekroju. Dla kłap, które w położeniu otwartem przylegają zupełnie do ścianki kanału $\zeta = 0$.

Co do sposobu przeprowadzenia obliczeń na podstawie wzoru I, w łączności z wzorem II, III, albo IV, podajemy jeszcze wskazówki następujące:

Z wzoru I możemy dla danej ilości L powietrza i danego przekroju F kanału obliczyć prędkość v , albo naodwrot dla danego v i L obliczyć przekrój F , albo wreszcie z danych v i F obliczyć L .

Wzór II (a podobnie też wzory III i IV) stosujemy do sprawdzenia przewodów już zaprojektowanych, a więc o wiadomych przekrojach F i mnożnikach oporu, przyczem jedną z prędkości np. v_1 bierzemy za niewiadomą zasadniczą i wyrażamy w niej pozostałe prędkości $v_2, v_3 \dots$, a to na zasadzie wzoru, np.:

$$v_n = v_m \cdot \frac{F'_m}{F'_n} \left(\frac{1 + \alpha t_n}{1 + \alpha t_m} \right) \dots \dots \dots V.$$

Przez takie podstawienia otrzymamy równanie z jedną niewiadomą v_1 , której wartość, po jej obliczeniu, przedstawi się w postaci pierwiastku z funkcji ilości wiadomych: $h, t, R, \Sigma \zeta, G$ i α poszczególnych działek przewodu. Obliczone w ten sposób v_1 musi być równe albo większe od jego wartości wynikającej z wzoru I, a gdy-

by było mniejsze, wypada zwiększyć stosownie przekroje i powtórzyć sprawdzenie.

W podobny sposób postępujemy też, gdy rozdzielamy obliczenie na dwie części, łącząc raz wzór I z III, drugi raz wzór I z IV. Natenczas pierwsza część obliczenia będzie nader prosta, bo we wzorze III mamy tylko jedną niewiadomą v_1 , obędziemy się zatem bez podstawień, a we wzorze IV wypadnie nam, tylko dwie prędkości (np. v_4 i v_5) wyrazić przez trzecią, (np. przez v_3), a to podług wzoru V.

W niezbyt rozległych zładach przewietrzających upraszczamy sobie zadanie, obliczając dla każdego piętra tylko jeden przewód, a mianowicie ten, który przedstawia względnie największe opory. Na zasadzie prędkości, określonej w ten sposób dla owego najniekorzystniejszego przewodu, obliczamy pozostałe przekroje przewodów, wiodących na to samo piętro. Otrzymamy zatem dla nich przekroje za wielkie, obliczone z zapasem, a ruch powietrza w nich możemy przydławić przez stosowne nastawienie klap i t. p.

Postępowanie takie nie nadaje się jednak bezpośrednio do bardziej rozległych zładów przewietrzających, które należałoby podzielić uprzednio na pewną ilość części, obejmujących przewody o zbliżonych do siebie wielkościach oporu, poczem dopiero każdą z tych części można obliczać w sposób co dopiero podany.

Zład, przedstawiony w rys. 1061, działa prawidłowo, dopóki nagrzewamy powietrze nawietrzające. W porze cieplejszej, gdy wprowadzenie nagrzanego powietrza do mieszkania byłoby wprost nieznośne, przerywamy to nagrzewanie, skutkiem czego znika i wszelka siła pobudzająca przewietrzanie. W takich razach, chcąc zapewnić prawidłowe przewietrzanie bez względu na porę roku, a również i dla wzmożenia siły przewietrzającej podczas działania nagrzewnicy, stosujemy dodatkowo podgrzewanie powietrza odprowadzanego. Możemy wprawdzie podgrzewać każdy poszczególny kanał wywietrzający oddzielnie, np. palnikiem gazowym, ponajczęściej jednak sprowadzamy większą ilość przewodów wywietrzających do wspólnej podgrzewni. W niej podgrzewamy powietrze podgrzewnicą, i dopiero powietrze tak podgrzane wyprowadzamy ponad dach, wspólnym, możliwie pionowo prowadzonym szybem. Podgrzewnie te budujemy ponajczęściej na poddaszu, albo w piwnicy. W pierwszym przypadku mamy możliwie krótką drogę ruchu powietrza zepsutego, a więc i mniejsze opory, lecz i mniejszą wysokość pobudzającego słupa powietrza podgrzanego. W drugim przypadku, sprowadzając wszystkie kanały wywietrzające w dół do piwnicy, powiększamy znacznie drogę ruchu powietrza, a więc i jego opory, otrzymujemy natomiast w zamian znacznie wyższy pobudzający słup powietrza podgrzanego w szybie, sięgającym od piwnicy, poprzez wszystkie piętra i poddasze, aż ponad dach.

Obliczenie takiego układu nie różni się w zasadzie od poprzednio podanego, gdyż dodanie podgrzewnicy zmienia tylko (t. j. podwyższa) temperaturę w głównym przewodzie wywietrzającym, a bezczynność nagrzewnicy (np. w porze letniej) zmienia temperaturę w przewodach, wiodących od nagrzewnicy do poszczególnych pokoi i sal.

2. Przewietrzanie pobudzone mechanicznie.

Gdy we wzorach powyższych II, III lub IV lewa strona okaże się o H (w m) mniejszą od strony prawej, i gdy nie możemy już na korzyść pobudzenia ruchu zmienić, ani przekrojów przewodów, ani temperatur pobudzających ów ruch, natenczas należy brakującą wysokość czynną wytworzyć **przewietrznikiem mechanicznym**. Przewietrznik ten musi przetłaczać pożądaną ilość L powietrza z jednej swej strony na drugą pod przeciwcisnieniem H , mierzone w m słupa powietrza o 0° , albo też pod przeciwcisnieniem $1,293 H$, mierzone w mm słupa wodnego. Wynik pożądany możemy osiągnąć albo **nawietrznikiem**, ustawionym na części nawietrzającej, a więc wciągającym powietrze świeże do zładu, albo też **wywietrznikiem**, ustawionym na części wywietrzającej, a więc wyciągającym ze zładu powietrze zepsute. Wreszcie można część owego niedomiaru H wysokości czynnej przewyciężać nawietrznikiem, resztę zaś wywietrznikiem.

Ponieważ przy przewietrzaniu chodzi przeważnie o poruszanie względnie znacznych ilości powietrza pod względnie małe przeciwcisnienia, więc najszersze zastosowanie znajdują tu przewietrzniki śrubowate, o skrzydłach płaskich, lub lepiej śrubowato zakrzywionych. Dla osiągnięcia większych prędkości stosują też, aczkolwiek rzadziej, np. w układzie Sturtevant'a, i wietrzaki odśrodkowe (bąki) z łopatkami, których powierzchnie są równoległe do osi przewietrznika. Ponieważ jednak sprawność przewietrzników śrubowatych bywa na ogół nie wielka, zazwyczaj tylko około 25%, więc dla większych zładów przewietrzających zalecają się bardzo przewietrzniki śrubowato-odśrodkowe pomysłu Pelzer'a, których sprawność bywa do dwa razy większa, dosięgając nawet 60%. (O przewietrznikach p. T. I str. 781).

Dostawcy przewietrzników podają ponajczęściej w swych cennikach tę ilość L_0 powietrza, jaką dany przewietrznik przerzuca w jednostce czasu, z jednej strony na drugą, w przestrzeni swobodnej, a więc bez dodatkowego przeciwcisnienia. Jeżeli taki przewietrznik, o powierzchni F swego wylotu, ma pracować pod przeciwcisnieniem H w m słupa powietrza, to wydajność jego, podług Rietschel'a, określamy ze wzoru:

$$\frac{L}{1 + \alpha t} \cong \frac{(0,01 L_0)^3}{254 F^2 H},$$

w którym L i L_0 są ilościami wydawanymi w m³/godz.; przetłaczamy zaś powietrze o temperaturze t .

Moc, niezbędna do napędzania takiego przewietrznika, będzie:

$$N = \frac{0,0000048 LH}{\eta (1 + \alpha t)},$$

jeżeli przez η oznaczymy sprawność przewietrznika, wahającą się zazwyczaj w granicach 0,25 do 0,4.

d. Urządzenie i wykonanie zładów o przewietrzaniu pobudzaniem.

1. Nawietrzanie.

1. **Czerpnię** powietrza świeżego projektujemy z uwzględnieniem warunków miejscowych możliwie tak, aby zaczerpywać powietrze jak najczystsze, oraz aby kanały nawietrzające wypadły możliwie krótkie. Ważnem jest, aby czerpnia otrzymała położenie, nie wystawione na wiatry, gdyż wiatr wpadający wprost na wlot czerpni zwiększałby czasowo siłę przewietrzania, a wiatr równoległy do powierzchni wlotu czerpni, wytwarzając tam pewną próżnię, zmniejszałby ową siłę przewietrzania. Zład przewietrzający w takich warunkach nie działałby prawidłowo i byłby w wysokim stopniu zależny od siły i kierunku wiatru. Jeżeli nie możemy pomieścić czerpni w miejscu osłoniętym od wiatrów, to zaleca się dać jej dwa wloty przeciwległe, albo nawet zastąpić jedną czerpnię dwiema, leżącymi przy przeciwległych ścianach budynku: natenczas bowiem, przy dowolnym kierunku wiatru, jego parcie na jeden wlot będzie się częściowo równoważyło jego ssaniem z wlotu przeciwległego. Wloty czerpni zastawiamy zazwyczaj siatkami lub kratkami, aby zapobiedz wpadaniu liści i t. p. do czerpni, oraz wlatywaniu ptaków, wbieganiu szczerurów i t. p.

2. **Odpylanie powietrza** osiągamy w sposób najprostszy, poszerzając stosownie główny kanał nawietrzający. W poszerzeniu tem, stanowiącem **odpylnię**, czyli osadnik pyłu, prędkość powietrza zmniejsza się tak dalece, że nie zdoła już unosić z sobą pyłu, który skutkiem tego osiada w odpylni. Gdy środek ten okaże się niedostatecznym, stosujemy **odpylnice**, t. j. przesączniki powietrza, przez które powietrze przechodzi, a na których pył się zatrzymuje. Są to przeważnie przegrody w rozszerzeniu kanału nawietrzającego, złożone z opraw, na których rozpinają się tkaniny lub siatki. Ponieważ opór przepływu powietrza przez taką tkaninę, np. przez flanelę, a zwłaszcza przez barchan, jest bardzo wielki, więc należy wedle możliwości zmniejszyć prędkość przepływu, a zatem możliwie zwiększyć powierzchnię tkaniny odpylającej; osiągamy to ustawiając oprawy tkaniny w zakosy, przez co możemy otrzymać powierzchnię tkaniny odpylającej wiele razy większą od samego przekroju poszerzenia kanałowego, w którym ustawiamy odpylnicę. Aby pył nie zapychał tkaniny zbyt szybko (co wymagałoby jej wytrzepania, połączonego z pewną mitręgą), zaleca się przed taką odpylnicą urządzić zwykłą odpylnię, w którejby się osadzała większa część pyłu, a tylko jego resztki, t. j. pył najdrobniejszy, unoszony jeszcze z odpylni zatrzymywałaby tkanina odpylnicy. Podług doświadczeń Rietchel'a opór h' przepływu L m³ powietrza na godz., przez tkaninę o powierzchni F m², wyrazi się w metrach słupa powietrznego (o tej temperaturze, jaką posiada samo powietrze przepływające) wzorem:

$$h' = \frac{mL}{F} = m \times \text{prędkość przepływu,}$$

w którym m jest współczynnikiem z doświadczenia, o wartości: $m = 0,024$ do $0,030$ dla barchanu drapanego, a $m = 0,0015$ dla flaneli lekkiej.

Wobec znacznego na ogół oporu, odpylnice z tkanin zalecają się wyłącznie tylko do zładów, pobudzanych mechanicznie. Znacznie mniejszy opór przedstawiają odpylnice wodne, t. j. siatki metalowe, zraszane wodą, a rozpięte na pochyło ustawionych oprawach, albo wreszcie odpylnice natryskowe, wytwarzające w kanale przesłonę z wody rozbryzgiwanej ze szeregu natrysków. Odpylnice wodne wymagają ostrożności w zastosowaniu, by nie zamarzały zimą, a nie przewiliżały powietrza, zwłaszcza latem.

3. Pobudzamy nawietrzanie bądź to mechanicznie, za pośrednictwem **nawietrzników** (a na wagonach i statkach za pośrednictwem odwiertków nawietrzających, skierowanych pod wiatr), bądź też przez podgrzewanie powietrza w nagrzewniach, które powinny być przestronne i łatwo dostępne dla oczyszczania, a posiadać ściany, sufit i podłogi nieprzenikalne dla powietrza otaczającego i nieprzepuszczalne dla wody gruntowej.

4. Nawilżanie powietrza. Przez nagrzewanie powietrza nie zmniejszamy wprawdzie bezwzględnej ilości wilgoci w niem zawartej, zmniejszamy jednak jego wilgotność, t. j. stosunek wilgoci w powietrzu zawartej do tej ilości, jaką zawierać może przy pełnym nawilżeniu. Im wyższą bowiem jest temperatura powietrza, tem większą jest ilość wilgoci, niezbędnej do zupełnego nawilżenia powietrza, czyli do jego nasycenia wilgocią (p. T. I str. 280 i tabl. str. 281). Względny zdrowotne wymagają jednak pewnej wilgotności powietrza, nie mniejszej niż 50%, wypada zatem powietrzu nagrzewanemu w nagrzewni dodać brakującej mu wilgoci. Służą do tego nawilżacze przeróżnych ustrojów, które można podzielić zasadniczo na dwa rodzaje: wodne i parowe.

Nawilżacz wodny dostarcza powietrzu wodę ciekłą, przeważnie drobno rozpylaną, a powietrze musi samo przemieniać ów pył wodny na parę, musi zatem wydawać z siebie ciepło niezbędne na wyparowanie, przyczem samo się chłodzi. Zmusza to nas zatem do nagrzewania powietrza o tyle wyżej, o ile się ono chłodzi przez takie nawilżanie, by ostatecznie otrzymać temperaturę istotnie pożądaną dla powietrza, wstępującego do pokoi i sal.

Nawilżacz parowy dostarcza powietrzu wilgoć w postaci gotowej do rozpuszczenia się w powietrzu, a więc w postaci pary. Tego rodzaju nawilżanie nie ochładza powietrza, lecz na odwrót nagrzewa je nieco, albowiem para, chłodząc się z powyżej 100° do temperatury powietrza, oddaje mu część swego ciepła.

Pośrednim rodzajem nawilżaczy będą **naczynia nawilżające**, w których wodę ogrzewamy spalinami, parą lub wodą gorącą. Z naczyń tych wilgoć przechodzi w powietrze już w postaci pary, przy niedostatecznym jednak zagrzaniu wody, powietrze musi wydawać z siebie część ciepła niezbędnego na wyparowanie wody, a całe to ciepło wtenczas, gdy naczynia nawilżające są zupełnie nieogrzewane.

Ilość A kg wody, jaką trzeba dodać powietrzu, aby je dowilżyć do pożądanej wilgotności, wyraża się wzorem:

$$A = \frac{L}{100} \left(p w - p_0 w_0 \frac{1 + \alpha t_0}{1 + \alpha t} \right) \text{ kg wody.}$$

We wzorze tym L oznacza ilość powietrza, przeprowadzanego przez nawilżacz, p wilgotność powietrza w ‰, t jego temperaturę, a w ilość wilgoci w kg, jaką w sobie zawiera 1 m^3 powietrza nawilżonego do nasycenia. Wielkości p , t , w , bez wyróżnika, dotyczą powietrza wewnętrznego, t. j. w pokoju lub sali, a wielkości p_0 , t_0 , w_0 , z wyróżnikiem $_0$, dotyczą powietrza zewnętrznego.

5. **Nawiewniki** w zwykłych pokojach najdogodniej umieszczają tuż pod sufitem, a w każdym razie wysoko ponad głowę mieszkańców, natenczas można bowiem wpuszczać powietrze do pokoju z większą prędkością, np. do $2,5 \text{ m/sec}$. (przy zastosowaniu przewietrzników). Jeżeli jednak położenie nawiewnika jest takie, że strumień powietrza zeń wypływającego trafić może w osoby w pokoju będące, to prędkość wylotowa nie powinna przekraczać $0,3 \text{ m/sec}$, w przeciwnym bowiem razie mieszkańcom dałyby się odczuć przewiewy. Strumień powietrza, wypływającego z nawiewnika, najlepiej skierować wzdłuż największego wymiaru poziomego danej sali lub pokoju, i zgodnie z tym warunkiem obrać położenie nawiewnika w ścianie. Warunek ten utrudniałby jednak często prawidłowe rozmieszczenie w ścianach kanałów nawietrzających, a pozatem warunek ów sam w sobie posiada względnie małą doniosłość, tak że wypada go spełniać tylko wtenczas, gdy to nie spowoduje żadnych trudności w przeprowadzaniu kanałów nawietrzających.

2. Wywietrzanie.

Wywiewniki w pokojach zwykłych najdogodniej będzie umieszczać po dwa na każdym pionowym kanale wywietrzającym, a mianowicie jeden z nich u podłogi, na zimę, by usuwać z pokoju powietrze z niższych warstw chłodniejszych, drugi zaś u sufitu, na lato, by wówczas usuwać naodwrot powietrze z najcieplejszych warstw wyższych. Wywiewniki te powinny być zatem zamykane, aby mógł zamknąć dolny wywiewnik latem, górny zaś zimą.

Od wywiewników prowadzimy powietrze zepsute ponajczęściej kanałami pionowymi, bądź to w górę, bądź w dół, a w wyjątkowych przypadkach przeprowadzamy powietrze zepsute od wywiewnika do takiego kanału pionowego za pośrednictwem dłuższego kanału poziomego.

Wschodzące kanały pionowe wywietrzające wyprowadzamy ponajczęściej bezpośrednio aż ponad dach. Jeżeli się zaś te kanały kończą na poddaszu, to łączymy je wszystkie, albo pewne ich grupy, za pośrednictwem kanałów poziomych w wspólne szyby wyciągowe, w których pobudzamy jeszcze ciąg bądź to podgrzewnicą, bądź też wywietrznikiem. Wypuszczanie powietrza zepsutego na poddasze jest urządzeniem wysoce wadliwym, gdyż ciepłe a nawilżone po-

wietrze z mieszkań, chłodząc się w porze zimniejszej na poddaszu, zrzuca nadmiar swej wilgoci w postaci rosy na więźbę dachową i stać się może przyczyną jej gnicia, a w każdym razie przyczyną zawilżenia poddasza. Słusznie zatem przepisy budowlane w Warszawie nie pozwalają na wypuszczanie powietrza wywietrzającego w przestrzeń poddasza.

Schodzące kanały pionowe, wywietrzające sprowadzamy zazwyczaj do piwnicy, gdzie łączymy je siecią kanałów podziemnych z głównym szybem wywietrzającym, a wielkie budynki dzielimy w tym celu na mniejsze części, obsługiwane przez oddzielne szyby. Każdy taki szyb otrzymuje swą podgrzewnicę lub wywietrznik dla wzmożenia ciągu, a przeprowadza się on przez wszystkie piętra i poddasze aż ponad dach.

Górne wyloty kanałów i szybów wywietrzających otrzymują ponad dachem odwietrki, które chronią je od naporu wiatru, a nawet odchylają kierunek wiatru w ten sposób, aby wywołać pewne ssanie z wylotu. Górny wylot kanału lub szybu należałoby zastonić od deszczu i śniegu conajmniej kapturem.

II. OGRZEWNICTWO *).

A. Wiadomości zasadnicze.

a. Straty ciepła z przestrzeni zamkniętych na zewnątrz.

Straty ciepła liczymy w ogrzewnictwie zazwyczaj na godzinę jako jednostkę czasu, straty te zaś składają się zasadniczo z dwóch części, a mianowicie: ze straty ciepła przepływającego przez ściany, okna, podłogi, sufity i t. p., oraz ze straty ciepła unoszonego przez powietrze, które wychodzi z pokoju na zewnątrz, bądź to przenikając przez ściany, szczeliny i t. p., bądź też odpływając przez kanały wywietrzające. Zład ogrzewczy (instalacya) musi nadto po przerwie w ogrzewaniu pokryć straty ciepła, powstałe z powodu wychłodzenia się ścian, podłóg, sufitów i t. d., a więc zład ogrzewczy musi dostarczyć i tę część ciepła, jaka jest potrzebna do ponownego ich zagrzania.

W stanie ustalenia ilość W ciepła, przenikająca przez przegrodę o powierzchni F m², wyrazi się wzorem:

$$W = KF(t - t_0) \text{ ciepłostek,}$$

w którym t oznacza temperaturę po cieplejszej stronie przegrody, t_0 temperaturę po drugiej stronie, a k współczynnik przenikania ciepła, liczony na 1 m² danej przegrody. Współczynnik k jest ilością ciepłos-

*) Literatura podana w uwadze na str. 572.

tek, przenikających przez 1 m² danej przegrody, w ciągu jednej godziny, przy różnicy 1^o między obustronnymi temperaturami (p. rozdz. III str. 624 i nast.).

α. Wartości współczynnika *k* przenikania ciepła (w stanie ustalenia).

1. Ściany pełne z cegły.

Grubość w m	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	1,16
<i>k</i> w cpl/godz. i m ²	2,40	1,70	1,30	1,10	0,90	0,80	0,65	0,60	0,55

Uwaga. Dla ścian, obliczanych kamieniem ciosowym, należy zwiększyć powyższe współczynniki o 15%.

2. Ściany pełne z piaskowca (ciosowego lub łomowego).

Grubość w m	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
<i>k</i> w cpl/godz. i m ²	2,20	1,90	1,70	1,55	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95

Uwaga. Dla ścian z wapieni wartości powyższe należy zwiększyć o 10%.

3. Podłogi, sufity, okna i t. p.

Strop belkowany z pułapem ślepym i polepą zwykłą (niepełną):	Posadzka drewniana, ułożona na asfalcie	1,0
jako podłoga	Posadzka kamienna, ułożona na ziemi	1,4
jako sufit	Okno pojedyncze	5,0
Sklepienie z posadzką kamienną	Okno podwójne	2,3
Sklepienie z podłogą drewnianą:	Okno w suficie, pojedyncze .	5,3
jako podłoga	" " podwójne	2,4
jako sufit	Drzwi drewniane	2,0
Podłoga drewniana, ułożona na legarach, na ziemi, z pustymi przestrzeniami między legarami	Ścianki gipsowe (na siatce), 4 do 6 cm grube	3,0
	Takież ścianki 6 do 8 cm grube	2,4

β. Straty dodatkowe.

Straty ciepła, obliczone na zasadzie współczynników powyższych należy stosownie powiększyć przez dodatki odsetkowe, a mianowicie: w razie znaczniejszej wysokości pokoju lub sali, w razie położenia ku północy i wschodowi lub wystawionego na wiatry, w razie przerw w ogrzewaniu i wogóle z uwzględnieniem sposobu, jakim zamierzamy uzyskiwać zład ogrzewczy. Zalecają się poniższe dodatki odsetkowe: dla powierzchni zwróconych ku wschodowi, północy i północo-zachodowi 10% ich strat obliczonych; dla powierzchni wystawionych bezpośrednio na wichry 10% ich strat obliczonych.

Wszystkie dane powyższe dotyczą ogrzewania bez przerw. W razie przerwy, np. nocnej lub jeszcze dłuższej, należy do obliczonej, podług danych powyższych, straty ciepła *W* (w cpl/godz.) dodać:

w razie przerwy nocnej: $\frac{0,0625 (n - 1) W}{z}$, a /

w razie przerwy dłuższej: $\frac{0,1 (8 + z) W}{z}$.

We wzorach powyższych n oznacza ilość godzin od chwili przerwania do chwili ponownego rozpoczęcia działania zładu ogrzewczego, a z ilość godzin, przeznaczonych na zagrzanie pokoiów i sal, które się wychłodziły podczas owej przerwy.

γ. Stosowne temperatury i t. p.

Najniższą temperaturę zewnętrzną t_0 , mającą być podstawą obliczenia zładu ogrzewczego, należy założyć zgodnie z warunkami klimatycznymi, a więc w Polsce około -25° , w Niemczech liczą średnio -20° , tyleż i w Odesie, w Petersburgu i Moskwie -30° , w Syberji środkowej -40° do -50° , a w północnej i więcej.

Temperaturę t_0 w piwnicach, na poddaszach i w ogóle w pokojach nieogrzewanych, do których przenika ciepło z pokojów ogrzewanych, można w naszym klimacie liczyć średnio:

w pokojach i salach nieogrzewanych, lecz leżących między ogrzewanymi, zależnie od położenia 0° do $+10^{\circ}$, średnio	$+5^{\circ}$
w piwnicach zamkniętych, oraz w pokojach nieogrzewanych, które przylegają tylko jedną ścianą do ogrzewanych	0°
w zamkniętych przejazdach, bramach, przedsionkach, przez które jednak częściej przewiewa mroźne powietrze zewnętrzne.	-5°
na poddaszach bez stropu pod dachem:	
gdy kryłba dachu metalowa lub łupkowa	-10°
gdy kryłba mniej przenikalna dla ciepła, np. warstwiczna (holcementowa) lub dachówkowa	-5°

Pożądaną temperaturę wewnętrzną t w mieszkaniach, mierzona na wysokości głowy człowieka, należałoby średnio liczyć:

w pokojach i salach dla chorych	22°
w mieszkaniach i biurach	20°
w sypialniach jednak starczy	15°
w audytorjach, salach zebrań i więzieniach	18°
ogólne sale sypialne w więzieniach (lecz nie małe celki) mogą pozostawać bez ogrzewania;	
w korytarzach i schodniach, jakoteż w salach wystawowych lub przeznaczonych na zbiory, stosownie do wymagań	10° do 18°
w kościołach liczą w Niemczech 10° do 12° , lecz u nas zimą przychodzą ludzie w tak ciepłym ubraniu, że starczy zazwyczaj	5° do 10°

podczas obrzędów ślubnych jednak byłaby pożądana wyższa temperatura, gdyż uczestnicy zdejmują płaszcze itp.;

w cieplarniach	25°
w oranżeryach	15°
w łazienkach na kąpiele ciepłe	22°

Jak już wspomniano, pożądanem jest, aby temperatury powyżej podane otrzymać w warstwie, w której się znajdują głowy mieszkańców. U podłogi temperatura będzie niższa, u sufitu wyższa. Gdy wysokość pokoju nie przekracza 3 m, różnice te można zaniedbać, dla pokojów i sal wyższych należałoby jednak je uwzględnić, obliczając straty ciepła podług temperatury średniej między przypodłogową i podsufitową. Podczas działania zładu ogrzewczego, a więc przy temperaturach zewnętrznych nie ponad $+10^{\circ}$, temperatura t' we warstwie leżącej h m ponad podłogą pokoju lub sali wysokości, określa się wzorem:

$$t' = t + 0,1 t (h - 3),$$

w którym przez t oznaczono temperaturę na wysokości głowy człowieka. Wzór ten dotyczy jednak tylko warstw, wzniesionych więcej niż 3 m ponad podłogę, a ważny jest z tem jeszcze zastrzeżeniem, że, gdy $h > 8$ m, a więc gdy t' wypadnie ze wzoru większe niż $1,5 t$, liczymy tylko $1,5 t$.

Prościej, niż w sposób powyżej podany, uwzględniamy zwiększenie się strat ciepła z powodu znaczniejszej wysokości pokoju lub sali, w ten sposób, że do obliczonych strat ciepła dodajemy po $2\%_0$ na każdy metr wysokości ponad 4 m do 8 m, po $4\%_0$ na każdy dalszy metr od 8 do 12 m, a po $5\%_0$ na każdy dalszy metr wysokości.

δ. Zagrzewanie po dłuższych przerwach w ogrzewaniu.

Już wspomniano powyżej pod β , że dodawanie większych ilości ciepła, niżby wypadło ze zwykłego obliczenia ich strat, staje się niezbędnem po przerwie w ogrzewaniu, zwłaszcza dłuższej. Na ten przypadek podaje Rietschel prosty wzór na godzinną stratę ciepła dla wielkich sal, kościołów, szkół i t. p., ogrzewanych z przerwami dłuższymi:

$$W = \frac{kF(t - t_0)}{2} + F_1 \left(23 + \frac{5(t - t_1)}{z} \right),$$

a przy ogrzewaniu powietrzem i gdy nawiewniki mieszczą się tuż nad podłogą:

$$W = \frac{kF(t - t_0)}{2} + F_1 \left(40 + \frac{10(t - t_1)}{z} \right).$$

We wzorach tych oznacza:

F powierzchnię okien, w m^2 ,

F_1 powierzchnię ścian, sufitów, podłóg, słupów i t. p., w m^2 ,

k współczynnik przenikania ciepła przez okna ($k=5$ dla okien pojedynczych, $k=2,3$ dla podwójnych),

t_0 temperaturę zewnętrzną w czasie największych mrozów (-20° do -25°).

z ilość godzin przeznaczonych na zagrzanie z początkowej temperatury t_0 (do jakiej się sala ochłodziła w czasie przerwy), na pożądaną temperaturę t (jaką chcemy osiągnąć po zagrzaniu).

Przy wysokościach sal ponad 12 m i do wyników z wzorów powyższych należy dodać po $5\%_0$ na każdy m przewyżki wysokości.

b. Wydajność powierzchni grzejących.

Wydajność W ciepła w cpl./godz. z grzejnika zależy: od wielkości F jego powierzchni w m^2 , od różnicy obustronnych temperatur (t. j. t_m średniej temperatury grzeiwa w grzejniku i t_z temperatury powietrza dopływającego na powierzchnię grzejnika), wreszcie od współczynnika k wydajności ciepła, a ilość wydawanego ciepła W wyrazi się wzorem:

$$W = k F (t_m - t_z) \text{ cpl./godz.}$$

Współczynnik k jest poniekąd współczynnikiem przenikania ciepła przez ściankę grzejnika, nie jest on jednak wielkością stałą, lecz zmienną w zależności od różnicy temperatur $t_m - t_z$, a nawet w zależności od rodzaju grzeiwa i od czynnika, który odbiera ciepło (powietrze, woda i t. p.). Dlatego też najlepiej będzie wartości współczynnika k zaczerpnąć z doświadczeń.

1. Wydajność ciepła z pary i wody poprzez ścianki grzejnika do powietrza.

Tablica współczynników wydajności k grzejników parowych i wodnych.

Rodzaj powierzchni grzejnika	Grzejnik wodny, różnica temperatur $t_m - t_z =$			Grzejnik parowy
	40°	60°	80° i więcej	
A. Żelazne:				
Gładkie rury proste poniżej 60 mm średn. zewn. (i rury Perkins'a) . . .	9,5	10,5	11,5	12,5
Takież 150 mm średn. zewn.	9	9,5	9,5	11,5
Wężownice z rur poniżej 33 mm śr. zew.	10	11	11,5	12,5
Takież powyżej 33 mm śred. zewn. .	8	9	9	11
Grzejnik drabinkowaty (z rur) pojedyn.	8	9	9,5	11,5
Takież podwójny	6	7	7	9
Grzejnik płyciasty	8	9	9,5	12
B. Żeliwne:				
Organki (radiatory)	6,5	7	7,5	9
Grzejnik żebrowany (z żeberników esowych)	3,5	4	4	4,5

Przez zwiększenie prędkości powietrza napływającego na powierzchnię grzejnika możemy powiększyć znacznie jego wydajność. Rietchel przedmuchiwał w kierunku poziomym powietrze przez szeregi pionowych rur grzejniczych, a wyniki tych doświadczeń, mogące posłużyć do oceny zwiększania się wydajności, wskutek przyspieszonego ruchu powietrza, podajemy poniżej. Zaznaczamy, że prędkość v w m/sek. mierzono w cieśninie między rurami, a współczynnik k obliczono dla wzoru: $W = k F (t_m - t)$, w którym t jest średnią

temperaturą powietrza, a więc średnią temperaturę powietrza dopływającego i odpływającego.

v w m/sek.	1	2	3	4	5	10	15	20
k	13,5	22	28	33	37	53	64	72

Na wiele lat przed doświadczeniami Rietschel'a takie zwiększanie się wydajności wyzyskiwano już w Stanach Zjedn., np. w zładach ogrzewczych ustroju Sturtevant'a.

Jeżeli grzejnik osłaniamy oponą, co stosujemy zwłaszcza do grzejników żebrowanych, to na ogół opona taka zmniejsza wydajność grzejnika, a mianowicie zależnie od swej szczelności, grubości, rodzaju tworzywa i ustroju. Zmniejszenie wspomniane możemy zaniedbać zupełnie, gdy opona u podłogi posiada dopływ powietrza dostatecznej wielkości i podobny odpływ, np. kratkę w swem wieku. Jeżeli opona tym warunkom nie czyni zadość, to wydajność zmniejsza się znacznie, np. dla opon blaszanych o 25%.⁰.

2. Wydajność ciepła ze spalin lub powietrza poprzez ścianki grzejnika do powietrza.

Stosuje się tu wzór: $W = kF(t_m - t)$, w którym t_m oznacza średnią temperaturę grzeiwa, t zaś średnią temperaturę czynnika ogrzewanego, np. powietrza, które krąży samoistnie, tylko wskutek nagrzania, bez dodatkowych środków pobudzających.

Tablica współczynników wydajności k : z grzejników spalinowych lub powietrznych.

Prędkość ruchu grzeiwa w m/sek.	Różnica temperatur $t_m - t$			
	10°	20°	30°	60° i więcej
0,5	0,8	1,2	1,4	1,8
1	1,5	2,0	2,4	2,8
2	2,4	3,1	3,5	3,9
4	3,4	4,1	4,5	4,9
6	4,0	4,7	5,0	5,5
8	4,3	5,0	5,4	5,8
10	4,5	5,3	5,7	6,0

3. Wydajność ciepła z pary lub wody, poprzez ściankę metalową do wody.

Przy prawidłowem odpowietrzeniu i odwodnieniu można liczyć z pary do wody:

$$k = 1000 \text{ do } 1200 \text{ cpl/godz.},$$

a z wody do wody:

$$k = 200 \text{ do } 400 \text{ cpl/godz.},$$

na każdy stopień różnicy średnich obustronnych temperatur i na każdy m² przegrody metalowej.

4. Otulanie przewodów.

Warstwa, 25 mm gruba, otuliny z tworzyw poniżej podanych zmniejsza wydajność ciepła, względnie do wydajności przewodu nieotulonego, o następujące odsetki:

1. Powróśla słomiane z gliną 40%	5. Korkowiec 70%
2. Azbest 45%	6. Jedwab 80%
3. Martwica krzemionkowa. 65%	7. Piłśń i wołok. 85%
4. Porowiec 70%	

Otuliny na przewodach, wyrobione z tworzyw powyższych, należy jeszcze osłonić od dostępu powietrza, np. owijając je paskami tkanin, maczanymi w dekstrynie. Nawinięcie to najdogodniej uskutecznić po linii śrubowatej w ten sposób, aby każdy zwój nakrywał częściowo zwój poprzedzający. Po wyschnięciu obwój tkaninowy otrzymuje jeszcze powłokę z farby olejnej lub lakierów swoich. Złącza kołnierzowe otulamy zazwyczaj zdejmowanymi okrywkami otulczemi, aby umożliwić sobie dostęp do naśrubków. Stosując piłśń, wołok, wyczeski jedwabiu i t. p., należy zapobiedz zagnieżdżaniu się robactwa w takich otulinach, np. przez opisany powyżej, szczelny obwój. Korek, piłśń, wołok i wyczeski jedwabne spalają się przy temperaturach wyższych, od czego chronimy je podkładem z martwicy krzemionkowej, leżącym między powierzchnią przewodu a otuliną właściwą. Na temperatury ponad 150° należałoby otuliny takie oddzielać od swego podkładu jeszcze warstwą powietrzną, a powyżej 200° lepiej stosować wyłącznie otuliny niepalne jak azbest, martwicę krzemionkową i porowce naturalne lub sztuczne.

Dalsze szczegóły p. T. 1 str. 305.

B. Złady (instalacje) ogrzewcze.

a. Ogrzewanie niespolone (piece).

1. Kominki.

Ogrzewanie mieszkań samymi tylko kominkami znajduje obecnie szersze zastosowanie prawie wyłącznie tylko w klimatach cieplejszych, jako to we Francji, Włoszech, Hiszpanii i t. p. U nas budujemy kominki raczej dla przyjemności i łączymy je zazwyczaj z piecem właściwym, albo stawiamy je dodatkowo przy ogrzewaniu zespolonym. Ich wydajność ciepła jest mało sprawna i nader niejednostajna, a ustaje zupełnie z chwilą wygaśnięcia ognia. Natomiast spełniają one dodatkową czynność wywietrzania mieszkań.

2. Piece (paleniskowe).

Rozróżniamy: 1. piece nagrzewające szybko lecz nietrwale, 2. piece nagrzewające szybko i trwale, 3. piece nagrzewające powoli lecz trwale, 4. piece gazowe, 5. piece ogrzewające i przewietrzające równocześnie.

Stosownie do rodzaju tworzywa, z jakiego piec wytworzono, stosownie do paliwa, jakim się ma opalać, stosownie do przeznaczenia, a więc wyłącznie na ogrzewanie, na ogrzewanie z nawietrzaniem lub wywietrzaniem, albo z obydwu temi czynnościami łącznie, stosownie do szybkości nagrzania i trwałości w dalszem podtrzymywaniu ciepła, wreszcie stosownie do układu kanałów spalinyowych w samym piecu, moglibyśmy piece podzielić na szeregi gatunków, a z nich wytworzyć niezliczoną prawie ilość kombinacji, które się też w handlu pojawiają pod przeróżnemi nazwami.

Dobry piec powinien być sprawny, a więc wyzyskiwać należycie ciepło zawarte w paliwie; czas na zagranie pieca nie powinien być zbyt długi, a dla mieszkań piec powinien albo posiadać znaczną pojemność cieplikową, by nie szybko ostygła, albo też jego palenisko powinno móżd działać bez przerwy; piec nie powinien posiadać nadmiernie rozpalonych powierzchni, by się na nich pył nie przypalał, a mieszkańcy o nie się nie parzyli; wydajność pieca musi być należycie dostosowana do strat ciepła; wreszcie nie ma on wydzielać z siebie ani dymu ani czadu, a obsługa jego powinna być łatwa, tak pod względem opalania, jak i oczyszczania od popiołu i sadzy. Ozdoby w postaci wypukłości lub wklęsłości, jako utrudniające oczyszczanie od kurzu, są na piecu niewłaściwe.

Aby zapobiedz nadmiernemu promieniowaniu z rozżarzonych powierzchni pieca żeliwnego, otaczają go oponą, a przez swobodną przestrzeń między tą oponą a piecem właściwym przeprowadzają z dworu świeże powietrze nawietrzające, które należycie nagrzane wypływa z za opony na pokój. Piece takie zwiemy piecami oponowymi: z nawietrzaniem lub bez niego. Powietrze nawietrzające, w braku takiej opony, możemy też nagrzewać, przeprowadzając je przez oddzielny kanał wśród pieca leżący, a ustrój taki nadaje się zwłaszcza do pieców kafłowych, lub z cegły zbudowanych.

Piece w końcu wspomniane posiadają znaczną pojemność cieplikową, którą w piecach żeliwnych zastępujemy paleniskami o działaniu bez przerwy. Takie paleniska zasypne zasypujemy odrazu większym zapasem paliwa, którego spalanie miarkujemy przez stosowne nastawianie dopływu powietrza pod ruszt; stąd i nazwa pieców miarkownych. Z pieców tego rodzaju zalecają się bardziej te, w których stos paliwa nie pali się w warstwie wierzchniej, lecz w spodniej. Przy takim bowiem układzie popiół poprzednio spalonego paliwa spada swobodnie przez ruszt do popielnika, nie zanieczyszczając paliwa, mającego się palić następnie, które powoli osuwa się na ruszt w miarę tego, jak poprzednie się spaliło; nadto zagrzewając w ten sposób najsilniej dolną część samego pieca, ogrzewamy pokój skuteczniej.

W pokojach i salach rzadziej używanych można stawiać i zwykłe piece żeliwne, jako zagrzewające szybko po dłuższej nawet przerwie. W tym przypadku właściwymi będą też i piece gazowe, aczkolwiek na ogół kosztowniejsze pod względem paliwa. Nawet z piecy gazowych lub naftowych wypada koniecznie spaliny odprowadzać przez komin na zewnątrz, gdyż wydzielają one wiele pary wodnej a nawet czad.

Wydajność pieców. Z 1 m² pieca kaflowego otrzymujemy 500 do 600 cpl./godz., przyczem jednakże jako powierzchnię czynną pieca wypada liczyć tylko jej część istotnie się nagrzewającą, t. j. część osłaniającą kanały spalinowe.

Gładkie piece żeliwne, opalane z przerwami, a więc zazwyczaj silniej się rozżarzające, wydają około 2500 cpl./godz. z każdego m², lecz tylko w czasie opalania. Wydajność łagodnie opalanych żeliwnych pieców miarkownych (zasypnych) bywa mniejsza, bo tylko 1500 do 2000 cpl./godz. i m². Gładka powierzchnia pieca przez nażebrowanie zwiększa swą wydajność średnio o 25%. Wydajność pieców gazowych zależy jest od ilości spalanego gazu, a średnio liczyć można na 3000 do 5000 cpl. z każdego m³ gazu spalonego.

3. Ogrzewanie spalinowe (kanałowe).

Z paleniska prowadzimy spaliny do komina przez dłuższe kanały poziome lub łagodnie się wznoszące, a zewnętrzne powierzchnie tych kanałów wydają z siebie ciepło niezbędne do ogrzewania. Kanały te bywają bądź to murowane z cegły, bądź też układane z rur żeliwnych, gładkich lub żebrowanych, albo z żelaznych rur blaszanych. Przy obliczaniu tego rodzaju ogrzewań należy sprawdzać nie tylko dostateczność grzejących powierzchni kanału, ale i jego przekrój, który, wobec długiej drogi spalin, musi się należycie przystosować do siły ciągu danego komina.

Ogrzewanie spalinowe stosujemy najczęściej tylko w cieplarniach, oranżeriach, suszarniach, a niekiedy i w kościołach.

4. Komin.

Ścianki kominów muszą być z tworzyw niepalnych, a same kominy powinny się wspierać bądź to na posadach murowanych, bądź też przynajmniej na innych ogniotrwałych częściach budowli. Najlepiej prowadzić każdy komin pionowo od posady aż ponad dach. Gdy to niemożliwe, należy przynajmniej nie odchyłać osi komina od pionu na więcej niż 30° (a w skrajnych przypadkach 45°). Pochyłe prowadzenie komina dozwala się tylko w ścianach ogniotrwałych, albo też wymaga ono ogniotrwałego wsparcia pochyłej części komina, np. na łuku murowanym lub na belkach żelaznych. Ścianki kominów mają być przynajmniej pół cegły grube, a od granicy posiadłości przynajmniej jedną cegłą. Kominy do ogrzewań zespólnych miewają ścianki grubsze, a w Niemczech władze budowlane, wrazie uznanej potrzeby, mają prawo określać tę grubość do 0,51 m.

W Prusach, gdy ścianki kominowe są cieńsze niż 0,25 m, wszelkie drzewo budowlane musi leżeć w odstępnie przynajmniej 0,065 m od zewnętrznej powierzchni kominu, i musi nadto od nich być przedzielone podwójną warstwą dachówki płaskiej (karpiówki). Drewniana więźba dachowa może obyć się bez tej osłony, lecz natenczas trzeba odstęp od słupka kominowego powiększyć do 0,1 m w prześwicie.

W Rosyi obowiązuje przepis, aby między budulcem budowlany i wewnętrzną powierzchnią kominu zwykłego ścianka była 1 do 1¹/₂ cegły gruba, albo do tej miary pogrubiona, a do 2-ch cegieł, gdy komin obsługuje większe paleniska, wydające spaliny o wyższej temperaturze. Nadto drzewo, przylegające do kominów należy oddzielić od nich wołokiem, który uprzednio trzeba przepoić zaprawą glinianą.

Jeżeli komin ma być przełaźny, to niezbędnym jest przekrój przynajmniej $0,42 \times 0,77$ m, a przy takich wymiarach przełaźnienie nie wymaga jeszcze szczebli, które przy większych przekrojach są niezbędne. Kominy nieprzełaźne muszą w Niemczech posiadać przekrój $0,13 \times 0,13$ m do $0,21 \times 0,21$ m, a w Berlinie przekrój prostokątny lub kołowy przynajmniej 250 cm², nie zmieniający się na całej długości kominu. W Rosyi obowiązuje dla kominów nieprzełaźnych $0,23 \times 0,23$ m (9" \times 9" ang.). Wszelkie kominy należałoby wyprowadzać przynajmniej na 0,3 m ponad grzbiec dachu.

Podług przepisów berlińskich do jednego kominu o przekroju 250 cm² wolno przyłączać nie więcej niż 3 zwykłe piece pokojowe, a na każdy następny należałoby zwiększać przekrój kominu o 80 cm². Do takiegoż kominu o przekroju 250 cm² wolno przyłączać tylko jeden trzon kuchenny. Ilość pieców i trzonów kuchennych, przyłączanych do kominu przełaźnego, o przekroju $0,42 \times 0,47$ m, nie podlega ograniczeniu.

Ponieważ oddzielnie stojący komin o małym przekroju nieznaną posiada stateczność, a zatem się łatwo przewraca podczas pożaru na poddaszu, więc zalecałoby się możliwe unikanie takich oddzielnie stojących kominów. Lepiej będzie łączyć kilka takich kominów w spólny słupak kominowy i wyprowadzać je w ten sposób łącznie poprzez poddasze nad dach.

U spodu każdego kominu, oraz na poddaszu, wreszcie przy załomach z odchyleniem osi kominowej ponad 30° od pionu, niezbędne są metalowe drzwiczki wycierowe, przymykające się do przyłgi oprawy również metalowej. Na podłodze, przy takich drzwiczkach, o ile sama podłoga nie jest niepalna, trzeba ułożyć blachę, wystającą na wszystkie strony po 0,6 m od otworu drzwiczek. Drzwiczki wycierowe mają leżeć od wszelkiego drzewa w odstępnie przynajmniej 1 m, a pod schodami drewnianymi nie należy ich wogóle umieszczać.

b. Ogrzewania zespolone (centralne).

1. Ogrzewanie wodne.

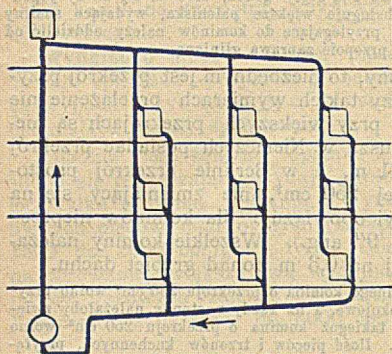
a. Ogrzewanie wodą ciepłą (niżej 100°).

Najprostszy ustrój takiego ogrzewania składa się z jednego w sobie zamkniętego, okrężnego obwodu rurowego (łączącego się z atmosferą za pośrednictwem rozszerzalnika). Część tego obwodu ogrzewałaby się z paleniska, zastępując kocioł; inne części tego obwodu, poprowadzone po ścianach pokoiów, spełniałyby czynność grzejników, reszta zaś obwodu czynność właściwych przewodów. Podobny układ ma jednak znajdując zastosowania do zładów ogrzewczych, działających wodą ciepłą, t. j. niżej 100° (stosują go jednak w ustroju Perkins'a, działającym wodą gorącą, t. j. wyżej 100°).

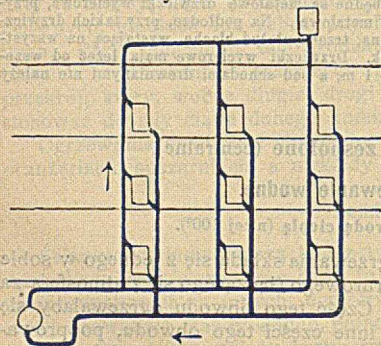
Przy ogrzewaniach wodą ciepłą, łączących się za pośrednictwem rozszerzalnika z atmosferą, w których woda wrzałaby, gdy tylko jej temperatura przekroczy 100°, w których zatem temperatura nie przekracza tej granicy, stosujemy zazwyczaj oddzielne kotły do

grzania wody i oddzielne grzejniki do ogrzewania pokoi i sal, a rury przeważnie tylko jako przewody, przez które krąży woda ciepła od kotła do grzejników i od nich z powrotem do kotła.

Rys. 1062.



Rys. 1063.



zwiększającej się objętości wody podczas jej zagrzewania.

W rys. 1063 woda dopływa do grzejników przez piony wstępujące, a odpływa z nich przez piony schodzące. Oddzielne piony dopływowe i odpływowe są tu zatem niezbędne. Odmiennym jest przebieg w układzie przedstawionym w rys. 1062: tu i piony dopływowe i odpływowe są pionami schodzącymi, woda ma w nich ten sam kierunek ruchu, t. j. w dół, możemy zatem każdą parę takich pionów zastąpić jedną pionową rurą schodzącą, do której poszcze-

W rys. 1062 i 1063 przedstawiamy dwa często stosowane układy wodnych zładów ogrzewczych. W rys. 1062 woda z kotła wznosi się możliwie pionowo ku rozszerzalnikowi, potem górą, przez główną rurę dopływową dochodzi do poszczególnych pionów dopływowych, doprowadzających wodę do grzejników, z których, przez oddzielne piony odpływowe, opada do głównej rury powrotnej i powraca przez nią do kotła.

W rys. 1063 woda z wierzchu kotła przez poziomą (a raczej łagodnie się wznoszącą), główną rurę dopływową dochodzi do spodu dopływowych pionów, wstępujących, t. t. wznoszących się ku grzejnikom. Z nich woda spływa przez oddzielne, schodzące piony odpływowe w dół do głównej rury powrotnej, przez którą wraca do kotła. Przewody powyżej grzejników najwyższego piętra, między nimi a rozszerzalnikiem, mogą być mniejszej średnicy, nie są one bowiem przewodami krążnymi, przez któreby woda miała krążyć od kotła do grzejników, lecz służą one tylko do odprowadzenia powietrza, do rozszerzalnika, a również i tej części wody, która musi przejść do niego, z powodu

gólne grzejniki przyłączałyby się dwa razy, a mianowicie górą na dopływ, dołem na odpływ wody. Taki ustrój o pionach pojedynczych znajduje również dość szerokie zastosowanie, wymaga jednak nieco większych grzejników na piętrach niższych, do których dochodzi woda chłodniejsza, bo zmieszana z wodą, odpływającą z grzejników piętr wyższych.

Ustrój kotła należy przystosować do sposobu ogrzewania: z przerwami lub bez nich. Gdy ogrzewamy budynek bez przerw, zalecają się kotły o małej pojemności wodnej, z paleniskami zasypnemi, miarkowanemi, w zależności od temperatury wody, przez stosowne miarkowniki paleniskowe. Jeżeli naodwrot ogrzewamy budynek z przerwami, np. nocnemi, to zalecają się kotły o wielkiej pojemności wodnej, mającej stanowić zapas ciepła na czas owej przerwy. W tych razach znajdują najszersze zastosowanie kotły płomienicowe, z paleniskiem wewnętrznem, albo też nawet pełne kotły walczakowe, leżące, z paleniskiem zewnętrznem, zazwyczaj naprzędniem, podolne bowiem zmniejszałyby bez potrzeby siłę krążenia, dla której możliwie niskie położenie kotła jest najodpowiedniejsze.

Wydajność kotła wodnego liczymy średnio po 8000 cpl./godz. z każdego m² powierzchni ogrzewanej, stykającej się ze spalinami, jednak z powierzchni, pozostających w bezpośrednim zetknięciu z ogniem, liczyć można nieco więcej, a mianowicie do 10000 cpl./godz. z m².

Gdy ogrzewanie działa z przerwami, oprócz powierzchni ogrzewanej kotła, należy obliczyć, czy zapas ciepła, zawartego w całym zładzie ogrzewczym, starczy na pokrycie strat ciepła podczas owej przerwy, a nadto i samą powierzchnię ogrzewaną trzeba tak powiększyć, aby zdołała pokryć nie tylko straty bieżące, lecz i straty z czasu przerwy, a więc aby zdołała zagrzać do temperatury stanu ustalenia zład wychłodzony podczas przerwy.

Jeżeli oznaczymy przez:

W obliczoną stratę ciepła, w cpl./godz., jaką zład ogrzewczy ma pokrywać,

P pojemność cieplikową całego zładu ogrzewczego na 1^o zagrzania, w cpl.,

T temperaturę wody w stanie ustalenia, a więc na początku przerwy w opalaniu,

t temperaturę, poniżej której woda niema się wychłodzić podczas przerwy, a więc temperaturę w chwili, gdy wznawiamy opalanie,

*z*₀ ilość godzin trwania jednej przerwy,

*z*_p ilość godzin między przerwami, a więc ilość godzin opalania, podczas których mamy zład doprowadzić ponownie do temperatury *T*, stanu ustalenia, to całkowita strata w okresie przerwy będzie:

$$W_p = z_p \cdot W,$$

a potrzebna pojemność cieplikowa całego zładu:

$$P = \frac{W_p}{T - t} = \frac{z_p \cdot W}{T - t}.$$

$T - t$ bywa zazwyczaj 25° do 30° .

Uwzględniając wyłącznie tylko pojemność cieplikową wody zawartej w zładzie, powinniśmy posiadać w nim P kg wody. Zazwyczaj uwzględniamy jednak i pojemność cieplikową metalu, zawartego w zładzie, potrącając z obliczonej ilości P wody po $\frac{1}{8}$ kg na każdy kg metalu. Jeżeli kocioł posiada obmurze z cegły, można uwzględnić i pojemność cieplikową tegoż obmurza, zmniejszając obliczoną wartość P o stosowną odsetkę, zależną od ustroju obmurza i kotła.

Po przerwie kocioł musi na godzinę dostarczać:

$$W_k = W \left(1 + \frac{z_p}{z_0} \right) \text{ cpl./godz.};$$

jego powierzchnia ogrzewana przy wydajności k cpl./godz. z m^2 , będzie zatem:

$$F_k = \frac{W}{k} \left(1 + \frac{z_p}{z_0} \right).$$

Grzejniki bywają wyłącznie metalowe, najczęściej żeliwne, rzadziej żelazne, a wyjątkowo tylko miedziane. Grzejniki o małej pojemności wody prędkiej się zagrzewają, prędkiej się też chłodzą po przymknięciu zawradła, wogóle pozwalają lepiej miarkować swą wydajność cieplikową, zalecają się zatem bardziej od grzejników o wielkiej pojemności, które nadto bezcelowo zajmują więcej miejsca i więcej też obciążają budynek. Niezbędną ich powierzchnię w poszczególnych pokojach obliczamy podług strat ciepła i spólczynników wydajności k , podanych na str. 592.

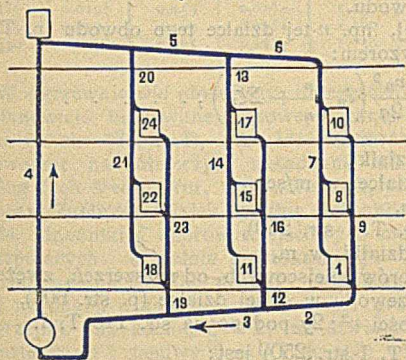
Przewody bywają przeważnie żelazne lub żeliwne, rzadziej miedziane, a łączymy je na kołnierze, kielichy lub złączki gwintowane. Uszczelki między kołnierzami bywają gumowe, z przekładką lub bez niej, z tektury przepojonej pokostem i t. p. Sieć przewodów należałoby wedle możliwości tak zaprojektować, aby sama w sobie posiadała dostateczną poddajność na wydłużanie się wskutek zagrzewania i na powrotne kurczenie się wskutek chłodzenia. Gdy przez sam układ poszczególnych części nie możemy zapewnić takiej poddajności, osiągamy ją przez wstawienie wydłużeń w odpowiednie miejsca przewodu (p. T. I str. 599).

Cała sieć przewodów powinna wznosić się stale od kotła do rozszerzalnika w ten sposób, aby powietrze, nie tworząc zatorów powietrznych, swobodnie uchodziło z całej sieci przez rozszerzalnik. Jeżeli, jak w rys. 1063, główna rura dopływowa idzie dołem, to dla odpowietrzenia sieci, jak już powyżej wspomniano, prowadzimy do rozszerzalnika cieńsze rury odpowietrzające od najwyższych punktów pionów wschodzących (dopływowych). Chcąc zaoszczędzić tych rur, moglibyśmy w owych najwyższych punktach pionów, lub na każdym, poszczególnym grzejniku, założyć kurki lub samoczynne za-

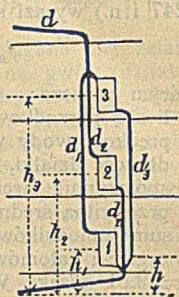
wory odpowietrzające, jednakże ustrój taki będzie mniej dogodny w użyciu.

Obliczanie sieci przewodów. Każdy kawałek sieci, który ma przeprowadzać jednakową ilość ciepła, i posiada ten sam przekrój zwać będziemy działką sieci bez względu na to, czy ona składa się z kilku kawałków rur, czy też tylko z jednego, oraz bez względu na to, czy dana działka posiada miejscowe rozszerzenie, w postaci grzejnika lub kotła, czy też go nie posiada. W rys. 1064 przedstawiono zarys sieci, będący powtórzeniem rys. 1062, lecz każdą działkę oznaczono w nim liczbą porządkową 1 do 24.

Rys. 1064.



Rys. 1065.



Zakładamy, że rury dopływowe są tak dokładnie otulone, że możemy w nich zaniedbać stratę ciepła i liczyć, że woda, wychodząca z kotła z temperaturą t' , dopływa do każdego z grzejników z tąże temperaturą t' . Zakładamy dalej, że woda chłodzi się jednako w każdym z grzejników, że więc z każdego z nich wypływa z temperaturą t'' . Jeżeli nadto oznaczymy przez h wznios środka danego grzejnika ponad środkiem kotła (np. h_1, h_2, h_3 w rys. 1065), a przez a stosunek kurczenia się wody skutkiem chłodzenia się w temże grzejniku, to czynna wysokość ciśnienia dla obwodu sieci, przechodzącego przez dany grzejnik i przez kocioł będzie:

$$h'(\text{czynne}) = ah.$$

Wartości a dla różnych temperatur t' i t'' podano w tablicy poniższej, przyczem zaznaczamy jeszcze, że w ogrzewaniach wodą gorącą, wysokiego ciśnienia (np. Perkins'a), liczą zazwyczaj $t' = 150^\circ$ do 140° , a $t'' = 100^\circ$ do 90° ; w ogrzewaniach wodą gorącą, średniego ciśnienia, $t' = 130^\circ$, $t'' = 80^\circ$; wreszcie dla ogrzewań wodą ciepłą (nizkiego ciśnienia) liczymy ponajczęściej $t' = 85^\circ$, a $t'' = 65^\circ$.

Tablica stosunków α kurczenia się wody wskutek chłodzenia.

t' °C	t'' °C	α	t' °C	t'' °C	α	t' °C	t'' °C	α
150	100	0,0446	90	70	0,0127	85	70	0,0094
140	90	0,0414	90	75	0,0097	80	60	0,0117
130	80	0,0385	85	60	0,0150	80	65	0,0090
90	60	0,0183	85	65	0,0123	75	60	0,0086
90	65	0,0156						

Otrzymana w ten sposób, czynna wysokość ciśnienia ah jest niejako siłą, wywołującą krążenie w obwodzie sieci, który przechodzi przez ów grzejnik i przez kocioł. Czynna ta wysokość ciśnienia musi zatem być równa sumie wysokości oporów ruchu w poszczególnych działkach tego obwodu.

Opór ruchu w dowolnej, np. n -tej działce tego obwodu (p. T. I str. 247 i n.) wyrazi się wzorem:

$$r_n = \frac{v_n^2}{2g} \left(l_n \frac{\lambda_n}{d_n} + \sum \zeta_n \right), \dots \dots \dots I$$

w którym oznacza:

n liczbę porządkową działki,

v prędkość wody w działce, w m/sek.,

l długość działki, w m,

λ współczynnik tarcia (p. T. I str. 250),

d przeszwitną średnicę działki, w m,

$\sum \zeta$ sumę mnożników oporów miejscowych, od rozszerzeń, zwężeń, zagięć i załomów przewodu w danej działce (p. str. 603),

$g = 9,81$ m/sek. Wartości $v^2 : 2g$ podano na str. 146 T. I.

Podług Weisbach'a (p. T. I str. 250) jest:

$$\lambda = 0,01439 + \frac{0,0094711}{\sqrt{v}}$$

Tablica wartości λ podług powyższego wzoru Weisbach'a.

v	λ	v	λ	v	λ	v	λ
0,020	0,0814	0,095	0,0451	0,170	0,0374	0,245	0,0335
0,025	0,0743	0,100	0,0443	0,175	0,0370	0,250	0,0333
0,030	0,0691	0,105	0,0436	0,180	0,0367	0,255	0,0332
0,035	0,0650	0,110	0,0430	0,185	0,0364	0,260	0,0330
0,040	0,0618	0,115	0,0423	0,190	0,0361	0,265	0,0328
0,045	0,0590	0,120	0,0417	0,195	0,0358	0,270	0,0326
0,050	0,0568	0,125	0,0412	0,200	0,0356	0,275	0,0325
0,055	0,0548	0,130	0,0407	0,205	0,0353	0,280	0,0323
0,060	0,0531	0,135	0,0401	0,210	0,0351	0,285	0,0321
0,065	0,0515	0,140	0,0397	0,215	0,0348	0,290	0,0320
0,070	0,0502	0,145	0,0393	0,220	0,0346	0,295	0,0318
0,075	0,0490	0,150	0,0388	0,225	0,0344	0,300	0,0317
0,080	0,0479	0,155	0,0385	0,230	0,0341	0,305	0,0315
0,085	0,0469	0,160	0,0381	0,235	0,0339	0,310	0,0314
0,090	0,0460	0,165	0,0377	0,240	0,0337	0,315	0,0313

v	λ	v	λ	v	λ	v	λ
0,320	0,0311	0,395	0,0295	0,470	0,0282	2,000	0,0211
0,325	0,0310	0,400	0,0294	0,475	0,0281	2,500	0,0204
0,330	0,0309	0,405	0,0293	0,480	0,0280	3,000	0,0198
0,335	0,0308	0,410	0,0292	0,485	0,0280	4,000	0,0191
0,340	0,0306	0,415	0,0291	0,490	0,0279	5,000	0,0187
0,345	0,0305	0,420	0,0290	0,495	0,0279	6,000	0,0183
0,350	0,0304	0,425	0,0289	0,500	0,0278	7,000	0,0180
0,355	0,0303	0,430	0,0288	0,600	0,0266	8,000	0,0178
0,360	0,0302	0,435	0,0288	0,700	0,0257	9,000	0,0176
0,365	0,0301	0,440	0,0287	0,800	0,0250	10,00	0,0174
0,370	0,0300	0,445	0,0286	0,900	0,0244	12,00	0,0171
0,375	0,0299	0,450	0,0285	1,000	0,0239	14,00	0,0169
0,380	0,0298	0,455	0,0284	1,250	0,0229	16,00	0,0168
0,385	0,0297	0,460	0,0284	1,500	0,0221	18,00	0,0166
0,390	0,0296	0,465	0,0283	1,750	0,0215	20,00	0,0165

W ogrzewnictwie stosujemy najczęściej wyciągane rury żelazne, a mianowicie tak zwane gazowe, łączące się na gwint (p. tablica dolna na str. 431 T. I), albo też tak zwane rury kotłowe, łączone przeważnie na kołnierzyki nasadzone lub luźne (p. str. 588 T. I). Podług tych średnic rur, w handlu będących, należy dobrać średnicę poszczególnych działek i podług nich obliczyć prędkości v i opory oharcia. Mnożniki ζ oporów miejscowych można liczyć w wartościach następujących: na załom prostokątny $\zeta = 1$; na prostokątne kolanko zaokrąglone $\zeta = 0,3$ do $0,5$; na kolanko nawrotne (180°) $0,5$ do $0,8$; na nagłe, a znaczne rozszerzenie przekroju, np. u wlotu rury w grzejnik lub kocioł, $\zeta = 1$; na otwarty zawór $\zeta = 0,5$ do 1 ; na otwarte kurki i zasuwki $\zeta = 0,1$ do $0,3$; wreszcie na niezweżone zakrzywienia przewodu promieniem większym niż pięć średnic rury $\zeta = 0$. Jak już zaznaczyliśmy, czynna wysokość ciśnienia obwodu danego musi być równa sumie oporów w poszczególnych jego działkach, a więc np. dla obwodu, przechodzącego przez grzejnik Nr. 11 (rys. 1064) będzie:

$$ah_{11} = r_{11} + r_{12} + r_3 + r_4 + r_5 + r_{13} + r_{14} \dots \text{II.}$$

Każda z tych wysokości oporów r , stosownie do wzoru I, zawiera dwie niewiadome, t. j. v i d . Dla danego obwodu mamy zatem $2 \times 7 = 14$ niewiadomych, do których oznaczenia posiadamy tylko 7 równań warunkowych, a mianowicie dla każdej działki poszczególnie równanie w postaci:

$$v_n = \frac{W_n}{10000} \frac{1}{Cd^2(t' - t'')} \dots \text{III.}$$

We wzorze tym W_n oznacza ilość ciepła, przeprowadzanego na godzinę (w cpl.) przez daną działkę, d jej średnicę, a C stałą o wartości $C = 276$ dla ogrzewania wodą ciepłą, a $C = 267$ dla ogrzewania wodą gorącą średniego ciśnienia.

Mamy zatem 7 takich równań (kształtu III) dla poszczególnych działek i jedno równanie (kształtu II) dla całego obwodu, ogółem

8 równań ma 14 niewiadomych, z których musimy zatem 6 uważać jako z góry dane. Zazwyczaj zakładamy średnice przewodów głównych jako znane z warunku, aby prędkość w częściach bardziej od kotła oddalonych była około 0,08 m/sek., a w częściach bliżej kotła położonych wzrastała do 0,15 m/sek. Otrzymawszy w ten sposób wszystkie średnice, z wyjątkiem działki, przynależnej do danego grzejnika (np. Nr. 11), obliczamy jej średnicę (d_{11}), oraz prędkość (v_{11}) z poniższych dwóch równań:

$$r_{11} = \frac{v_{11}^2}{2g} \left(l_{11} \frac{\lambda_{11}}{d_{11}} + \sum \zeta_{11} \right) = ah_{11} - r_{12} - r_3 - r_4 - r_5 - r_{13} - r_{14}. \quad \text{IV,}$$

$$v_{11} = \frac{W_n}{10000} \frac{1}{Cd_{11}^2 (t' - t'')}. \quad \dots \quad \text{V,}$$

które najdogodniej rozwiązać sposobem prób z wartościami przybliżenie założonemi.

W podobny sposób obliczamy wszystkie obwody, a o ile obwód następny ma działki wspólne z obwodem już obliczonym, to wyniki poprzedniego obliczenia dla tej działki uważamy jako wiadome, dane z góry dla obliczenia obwodu następnego *).

Rozszerzalnik stawiamy w najwyższym punkcie sieci tak, aby przezeń powietrze z całego zładu ogrzewczego swobodnie mogło wychodzić. Rozszerzalnik otrzymuje przelew na wypadek przepięnienia, a na poziomie nieco niższym rurkę sygnałową, sprowadzoną zazwyczaj do kotłowni. Ponieważ woda przy zagrzaniu $+4^{\circ}$ do $+100^{\circ}$ rozszerza się o 4,3% swej objętości (p. str. 316 T. I), więc użytkowa pojemność między najniższym i najwyższym poziomem wody w rozszerzalniku powinna być nie mniejsza niż około 5% ogólnej objętości wody, zawartej w całym zładzie ogrzewczym, wraz z kotłem. Zazwyczaj liczą całkowitą objętość rozszerzalnika na 10% zawartości całego zładu.

β. Ogrzewanie wodą gorącą (wyżej 100°).

Cały zład ogrzewczy stanowi jeden obwód rurowy jednakowej średnicy, którego jedna część, możliwie najniższa, zwinięta w węzownicę, zastępuje kocioł, inne części oprowadzane po ścianach, zwłaszcza we wnękach podokiennych, zastępują grzejniki, reszta zaś dopiero stanowi przewody, łączące ów kocioł z grzejnikami. Perkins stosuje prawie wyłącznie rury o średnicy zewnętrznej 33 mm, a prześwietnej 23 mm. Jeden m bieżący takiej rury posiada powierzchnię zewnętrzną, t. j. grzejną, prawie dokładnie 0,1 m², czyli na 1 m² grzejnika potrzeba 10 m bieżących takiej rury. Z powodu małej zawartości wody w takim zładzie, może on łatwo zamarznąć w czasie przerwy w opalaniu, czemu zapobiegają zazwyczaj przez taką domieszkę spirytusu do wody, aby mieszanina zawierała około

* W nowszych wydaniach podręcznika Rietschel'a (p. uwaga odsyłaczowa na str. 572) podano tablice i przykłady, które ułatwiają znacznie powyższe, zrudne obliczenia.

33% alkoholu *). Ponieważ ciśnienie w tego rodzaju zładach bywa nieraz bardzo znaczne, więc niezbędnym jest manometr je wskazujący, oraz zawór bezpieczeństwa, mieszczący się zazwyczaj w rozszerzalniku. Gotowy zład, przed oddaniem do użytkowania, należy poddać ciśnieniu próbnemu 150 atm. Urządzając zawór bezpieczeństwa, przez który nadmiar wody (z powodu jej rozszerzania się) lub para (w razie nadmiernej prężności) uchodzi do rozszerzalnika, należy dodać odnogę z drugim zaworem, a mianowicie ssawnym, przez który woda z rozszerzalnika wraca do sieci, gdy się w niej obniży ciśnienie. By uniknąć dwóch tych zaworów, stawiają też rozszerzalnik zamknięty, zazwyczaj w postaci rury pionowej, wypełnionej powietrzem, które się spręża w miarę, jak woda rozszerza swą objętość pod wpływem ciepła. I w tym przypadku niezbędne są przyrządy, chroniące od przekroczenia pewnych granic ciśnienia, względnie temperatury, a więc albo zawór bezpieczeństwa, albo lepiej korek ze stopu metalowego, topniejącego przy temperaturze krańcowej, na jaką zład obliczono.

Rury Perkins'a łączymy na złączki z gwintem prawo i lewo zwitym. Jeden koniec rury obrabiamy tak, aby tworzył płaską powierzchnię pierścieniową, drugi zaś zaostrzamy w rzeź kolistą, który przy dokręcaniu złączki wrzyna się w powierzchnię pierścieniową końca drugiej rury, przez co wytwarzamy szczelne złącze, nie wymagające oddzielnej uszczelki.

Zwoje węzownicy, zastępującej kocioł, są ponajczęściej walcowate, t. j. zwinięte po linii śrubowej, a przy ich ogrzewaniu należałoby stosować układ przeciwpądowy, t. j. dążność ruchu spalin ma być odwrotna względem dążności ruchu wody. Węzownice, spełniające czynność grzejników są zawrotkami, t. j. węzownicami tworzącymi kilka linii równoległych, z których sąsiednie łączą się ze sobą półkolami naprzemiany w jednym, względnie w drugim końcu, a woda przebiega przez nie w kilku zawrotach.

Gotowy zład napełniamy wodą, doprowadzaną do najniższego punktu przez kurek na odnodze, bądź to wprost z wodociągu, bądź też pompując wodę do sieci.

Każda poszczególna sieć, stanowiąca obwód okrężny, a więc w sobie zamknięty, miewa zazwyczaj nie ponad 160 do 180 m długości: w budynkach bardziej rozległych wypadnie zatem stosować większą ilość takich zładów cząstkowych, a pożądanem jest, aby każdy z nich obsługiwał pokoje, leżące na tem samym piętrze. Rzecz prosta, że w jednym obmurzu możemy stawiać po dwie lub po kilka nawet węzownic opalanych, przynależnych do różnych zładów cząstkowych.

Często wyróżniają z ogrzewań wodą gorącą, w zależności od stosowanych temperatur krańcowych: ogrzewania **średniego**, względnie

*) Mieszanina taka, zawierająca 33% alkoholu wrze pod zwykłym ciśnieniem atmosferycznym już przy temperaturze 83,5°. Domieszka alkoholu zwiększa zatem prężność par wydzielających się z mieszaniny, a zwiększenie podobne nie może być pożądanem, bo, np. przy 180°, nadprężność czystej pary wodnej jest już i tak dość wysoka, gdyż blisko 10 at.

wysokiego ciśnienia. Kresem temperatury dla pierwszego rodzaju bywa 130° do 140°, dla drugiego zaś 140° do 180°. Temperaturą, rozgraniczającą te dwa rodzaje, byłaby zatem temperatura 140°, odpowiadająca bezwzględnej prężności pary około 4 atm. Podział taki nie posiada jednakże większego znaczenia, gdyż obydwa rodzaje nie różnią się zasadniczo od siebie, obydwa bowiem są układami zamkniętymi, pracującymi pod ciśnieniem przewyższającym atmosferyczne.

Obliczenie sieci. Jeżeli przez W oznaczymy całą największą stratę danego zładu cząstkowego (jednego obwodu) w cpl./godz., to dla rur Perkins'a o średnicy $^{23}/_{33}$ mm, długość l_1 wężownicy opalanej, w m będzie:

$$l_1 = 0,0016 W.$$

Długość l_2 rur, stanowiących przewody między tą wężownicą opalaną a grzejnikami, określamy z układu samej sieci, a część tę wypadaloby osłonić otulinami od strat ciepła. Wreszcie długość l_3 rur w grzejnikach określamy w m, podług wzorów przybliżonych:

$$l_3 = 0,0109 W,$$

gdy grzejniki składają się z rur ułożonych prosto lub w zawrotkach na ścianach, a

$$l_3 = 0,0145 W,$$

gdy grzejniki składają się z wężownic walcowatych, t. j. śrubowato zwiniętych.

Rozdzielanie długości l_3 grzejników na poszczególne pokoje wymaga starannego obliczenia, gdyż w tego rodzaju zładach nie możemy miarkować wydajności poszczególnych grzejników niezależnie od pozostałych, lecz tylko wydajność całego zładu przez więcej lub mniej nateżone opalanie. Dlatego też rozdzielania l_3 między poszczególne grzejniki najwłaściwiej dokonywać nie na zasadzie największej straty W ciepła, w czasie najsilniejszych mrozów, lecz na zasadzie straty W_m , obliczonej dla średniej temperatury zewnętrznej w porze roku, w której opalanie jest niezbędne.

We warunkach co dopiero określonych oznaczymy przez:

W_m stratę ciepła, jaką dany zład ma pokrywać przy owej średniej temperaturze zewnętrznej, w cpl./godz.,

h pionowy odstęp między poziomem środków grzejników i poziomem środka wężownicy opalanej, w m,

t'_m temperaturę wody w rurze wstępującej,

t''_m temperaturę wody w rurze schodzącej,

v_m średnią prędkość wody w sieci, w m/sek.,

λ_m spójczynniki tarcia wody w przewodzie, obliczony dla v_m podług wzoru Weisbach'a str. 602,

t temperaturę pokojową,

ϑ temperaturę, z jaką powietrze ulatuje z grzejników,

k spójczynniki wydajności ciepła rury Perkins'a, o średnicach $^{23}/_{33}$ mm, w cpl. na m² wewnętrznej powierzchni rury,

a jeżeli nadto zastosujemy podstawienia:

$$A = \frac{365\,450\,000 (l_1 + l_2 + l_3)}{W_m k},$$

$$B = \frac{W_m}{2800},$$

$$C = 0,000\,022\,183\,l_3 k,$$

to otrzymamy 3 równania:

$$t'_m = v^3_m A \lambda_m + \frac{B}{v_m}, \quad t''_m = v^3_m A \lambda_m - \frac{B}{v_m},$$

$$\frac{C}{v_m} = \log \frac{t'_m - \vartheta}{t''_m - \vartheta}.$$

W równaniach tych wielkości A , B i C są wiadome, jako określone powyższymi podstawieniami, a trzy niewiadome v_m , t'_m i t''_m obliczymy najdogodniej sposobem prób i przybliżeń, biorąc v_m za zmienną niezależną. Wartości ϑ i k są w przybliżeniu znane z doświadczenia, i aczkolwiek zmienne, w zależności od t'_m i t''_m , to zmienność ich jest na ogół niezbyt znaczna, możemy je zatem uznać za stałe podług danych poniższych:

$\vartheta = t + 5^0$, a $k = 15$, gdy grzejnik nieosłonięty składa się nie z więcej niż z dwóch poziomych rur ponad sobą leżących;

$\vartheta = t + 10^0$, a $k = 14$, gdy grzejnik z dwóch rur ponad sobą jest zasłonięty kratką, albo gdy bez takiej zasłony składa się on z trzech lub czterech takich rur ponad sobą;

$\vartheta = t + 15^0$, a $k = 13$, gdy grzejnik z trzech lub więcej rur ponad sobą leży poza kratką.

Ściśle biorąc, dane powyższe są ważne dla $t'_m = 150^0$, a $t''_m = 80^0$, lecz, jak już wspomniano, można je liczyć jako w przybliżeniu niezależne od t'_m i t''_m , przynajmniej w granicach stosowanych w praktyce ogrzewań wodą gorącą. Dla wody ciepłej, nieprzekraczającej 100^0 , możnaby ϑ liczyć nieco mniejsze, pozostawiając jednak wartości k bez zmiany.

Po obliczeniu wartości v_m , t'_m , t''_m , przystępujemy do właściwego obliczenia grzejników, a raczej długości ich rur. Pierwszy grzejnik o długości g_1 ma wydawać W_1 cpl./godz. przy średniej temperaturze zewnętrznej. Woda dopływa do niego ze znaną temperaturą $t'_1 = t'_m$, a odpływa z niego z niewiadomą temperaturą t''_1 , którą oznaczymy ze wzoru:

$$t''_1 = t'_1 - \frac{W_1}{1400 v_m}.$$

Długość g_1 rur grzejnika określimy zaś ze wzoru:

$$g_1 = \frac{32,2 W_1}{k(t'_1 - t''_1)} \log \frac{t'_1 - \vartheta}{t''_1 - \vartheta}.$$

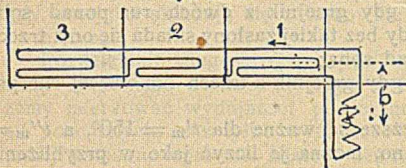
Przystępując do obliczenia drugiego grzejnika, znamy potrzebną jego wydajność ciepła W_2 , oraz temperaturę wody dopływającej t'_2 ,

jako równą temperaturze t_1'' , wody wypływającej z pierwszego grzejnika. Oznaczamy zatem w sposób podobny temperaturę t_2'' wody wypływającej z drugiego grzejnika, oraz jego długość g_2 . W ten sposób obliczamy kolejno grzejnik za grzejnikiem, a temperatura t''_n wody, wypływającej z n -tego, t. j. ostatniego grzejnika, powinna być równa obliczonej już poprzednio temperaturze t''_m wody w rurze opadającej, suma zaś długości rur: $\sum g_n = g_1 + g_2 + \dots + g_n$, powinna być równa ogólnej ich długości l_3 , poprzednio już obliczonej. Gdyby się okazała nierówną l_3 , to różnicę $l_3 - \sum g_n$ należy rozdzielić między poszczególne grzejniki w prostym stosunku do obliczonych ich długości g_1, g_2, g_3 i t. d.

Jeżeli obwód prowadzimy w sposób, przedstawiony w rys. 1066, w którym pozioma rura, doprowadzająca wodę do grzejnika w pokoju 3, ogrzewa zarazem pokoje 1 i 2, to najdogodniej będzie grzejnikową część sieci rozdzielić w obliczeniu nie na trzy grzejniki, jakby się zdawało najprościej, lecz na pięć grzejników:

- Nr. 1 = rura górna w pokoju 1,
- Nr. 2 = " " " " 2,
- Nr. 3 = cztery zwoje zawrotki w pokoju 3,
- Nr. 4 = trzy " " " 2,
- Nr. 5 = " " " " 1.

Rys. 1066.



Dalej postępujemy w sposób nieco odmienny niż poprzednio, a mianowicie: Dla grzejnika 1 znamy: jego długość g_1 , temperaturę dopływową $t'_1 = t'_m$, oraz v_m , jako stałe w całej sieci, wreszcie przybliżoną wartość ϑ , możemy zatem z po-

wyższych dwóch wzorów oznaczyć: wydajność grzejnika W_1 , oraz temperaturę wody odpływającej t''_1 , będącą zarazem temperaturą dopływową t'_2 następnego grzejnika 2, który obliczamy w taki sam sposób. Resztę zaś grzejników, t. j. 3, 4 i 5, obliczamy już w sposób podany poprzednio, z tą jedynie różnicą, że potrzebna wydajność W_4 , grzejnika 4, będzie o W_2 mniejsza od straty, obliczonej dla pokoju 2, i podobnie wydajność W_5 , grzejnika 5, będzie o W_1 mniejsza od straty pokoju 1. Wreszcie błąd obliczenia, t. j. $l_3 - \sum g_i$, rozdzielamy jak poprzednio, lecz poprawki, przypadające na g_1 , wzgl. g_2 , dorzucamy do g_5 , wzgl. g_4 , gdyż długości g_1 i g_2 są nam z góry dane.

7. Wodne ogrzewania szybkokrężne.

W ostatnich latach wchodzi coraz to więcej w użycie wodne ogrzewania szybkokrężne, mające na celu zachowanie zalet ogrzewania wodnego przy zmniejszeniu kosztów urządzenia, zwłaszcza

kosztów sieci, przez zmniejszenie jej średnic, możliwe z powodu sztucznie zwiększonej siły krążenia wody.

Siłę krążenia możemy zwiększyć rozmaitymi sposobami, a mianowicie:

1) przez dodawanie tej siły z zewnątrz, np. za pośrednictwem pomp, napędzanych od silnika, smoczków napędzanych parą z kotła parowego, leżącego poza właściwą siecią ogrzewania, dalej przez wtłaczanie powietrza w główną rurę wznosną (skutkiem czego w rurze tej otrzymamy słup mieszaniny wody i powietrza, znacznie lżejszy od słupów wodnych w rurach opadnych, a różnica ciśnień tych słupów przedstawia dodaną siłę krążenia) i t. p.;

2) wytwarzamy podobny słup lżejszej mieszaniny w głównej rurze wznosnej, jednakże nie mieszaniny wody z powietrzem, lecz mieszaniny wody i pary, i to pary nie doprowadzanej z zewnątrz, ale pary, wydzielającej się w samej wznosnej rurze z wody, którą w tym celu zagrzewamy w kotle ponad 100°.

Stosując takie lżejsze mieszaniny powietrza, względnie pary z wodą w rurze wznosnej, musimy następnie usunąć z nich owo powietrze, względnie parę, aby w rurach opadnych otrzymać w istocie cięższe słupy wody bez domieszki powietrza lub pary. Powietrze usuwamy w sposób najprostsz, prowadząc mieszaninę z rury wznosnej do rozszerzalnika, z którego powietrze uchodzi, wydzielając się samoczynnie z wody, gdyż jest od niej znacznie lżejsze. Zastosowanie tego samego sposobu do usunięcia pary z mieszaniny nie byłoby właściwe, gdyż para, ulatująca ze zładu ogrzewczego, unosiłaby ze sobą znaczne ilości ciepła, bez żadnego pożytku dla samego ogrzewania. W celu zapobieżenia takiemu marnotrawstwu ciepła należy parę tę skroplić w taki sposób, aby ciepło w niej zawarte, bądźto pozostało w zładzie ogrzewczym, bądź też, aby je przynajmniej wyzyskać celowo. W pierwszym przypadku jedynym prawie środkiem skraplającym parę jest woda, powracająca z grzejników do kotła, która się w nich ochłodziła o tyle, że może skroplić ową parę; w drugim przypadku możnaby parę skraplać, przeprowadzając ją, lub jej mieszaninę z wodą przez oddzielny grzejnik (lub przez kilka takich grzejników), względnie wysoko położonych, o ile warunki miejscowe pozwolą celowo wyzyskać ciepło wydawane z tych grzejników, np. do podgrzewania kanałów lub szybów wywietrzających i t. p. Zawsze jednak woda powrotna (wracająca z grzejników) będzie najwłaściwszym czynnikiem do skraplania owej pary. Samo skraplanie, jak wogóle skraplanie pary (p. T. I str. 930 i n.) może być albo naprzeponne, gdy para jest oddzielona przeponą od czynnika ochładzającego (od chłodziwa), albo bezprzeponne, gdy para się wprost miesza z chłodziwem. A że parę skraplamy najstosowniej w bliskości miejsca, gdzie się z mieszaniny wydziela, a więc w bliskości wierzchu owego słupa mieszaniny wody i pary, więc musimy wodę powrotną z grzejników doprowadzać do tego punktu i z niego dopiero prowadzić dalej w dół do kotła.

Woda, wypływająca z głównej rury wznosnej, nawet po wydzieleniu z siebie pary, jest warem o temperaturze 100°. W zwy-

kłych ogrzewaniach szybkokrężnych, prowadzimy ów war wprost do grzejników, których wydajność ciepła miarkujemy przez zmniejszenie lub zwiększanie ilości tego waru, dopływającego do grzejnika, a to przez stosowne nastawienie zawora lub kurka, miarkującego grzejnik. Ze względów zdrowotnych jednak temperatura 100° wody w grzejniku jest wysoce niepożądana. Radzą sobie w ten sposób, że doprowadzają ów war do grzejnika nie górą, lecz wpuszczają go u spodu w grzejnik, skutkiem czego war ten, jako lżejszy i posiadający zatem dążność do wznoszenia się w grzejniku, miesza się z wodą wypełniającą grzejnik i w nim już poczęści ochłodzoną. Przy takim układzie temperaturę powierzchni grzejnika możemy utrzymywać znacznie niższą niż 100°, miarkując jej wysokość przez zwiększenie lub zmniejszenie ilości waru dopływającego. Układ ten nie dozwala jednak uchodzić powietrzu z grzejnika przez rurę dopływową, wymaga on zatem zastosowania dodatkowych przyrządów odpowietrzających, np. oddzielnych zaworów, kurków lub rurek odpowietrzających.

Niedogodności tej możemy zapobiedz, jeżeli chłodniejszą wodą powrotną będziemy nie tylko skraplałi parę we wspomnianej mieszaninie pary i wody, lecz ochładzali całą ową mieszaninę do pożądanej temperatury, a więc nawet znacznie poniżej 100°, przyczem prowadzilibyśmy wodę do grzejników nie jako war 100°, lecz w temperaturze już miarkowanej podług potrzeby, t. j. podług zmieniającej się temperatury na dworze. Podobnie jak mogliśmy skraplać parę naprzeponnie lub bezprzeponnie, tak samo i chłodzenie mieszaniny wodą powrotną może być naprzeponne lub bezprzeponne.

Chłodzenie naprzeponne uskuteczniamy w ten sposób, że np. wodę powrotną doprowadzamy do naczynia zamkniętego, którego dna przeciwnie połączony są pewną ilością rur, stanowiących przeponę. Przez rury te prowadzimy mieszaninę pary i wody, która z głównej rury wznosnej wstępuje w dolne końce rur, skrapla w nich swą parę i chłodzi się dalej, a ochłodzona naleźycie (do 90° w czasie silnych mrozów, a 60° lub niżej w porze łagodniejszej) wypływa górnym końcem rur do rozszerzalnika, z niego zaś płynie dalej do grzejników.

Chłodzenie bezprzeponne najdogodniej urządzić za pośrednictwem smoczka, a raczej strumienicy wodnej (por. skraplacz smoczkowy T I str 934). Przez dyszę smoczka przepływa strumień mieszaniny pary i wody, ssie wodę powrotną i wtłacza mieszaninę obydwóch strumieni do rozszerzalnika lub wprost w główny przewód dopływowy. Stożkowata iglica, przesuwana w otworze dyszy, zmienia podług potrzeby przekroje swobodne albo samej dyszy, albo i dyszy i gardzieli, miarkując w ten sposób i siłę krążenia i temperaturę mieszaniny wodnej, wypływającej ze smoczka.

Zamiast chłodzić powrotnie wodę, przegrzaną w kotle wyżej 100°, możnaby wytwarzać w rurze wznosnej ów lżejszy słupek mieszaniny pary i wody wprost przy niższych temperaturach. W tym celu należałoby urządzić zład zamknięty, a więc nie łączący się z atmosferą, a w całym takim zładzie zamkniętym utrzymywać stale próżnię, przystosowaną do pożądanej temperatury parowania. Utrzy-

manie takiej próżni wymaga jednak złożonych przyrządów pomocniczych, które będą zawsze dodatkiem wielce niepożądanym w zładach ogrzewczych; ich ustrój bowiem powinien być jaknajprostszy.

2. Ogrzewanie parowe.

Ogrzewanie parowe niskoprężne posiada kocioł, nie podlegający przepisom państwowym o kotłach parowych, o ile nadprężność pary nie przekracza 0,5 atm, a jego wnętrze łączy z atmosferą rura, przynajmniej 8 cm prześwitu w Niemczech ($3\frac{1}{2}$ " ang. = 90 mm w Rosyi), zamknięta syfonem wodnym, którego wysokość nie ma przekraczać 5 m (w Rosyi zaś 2,5 saż. = 5,33 m).

Ogrzewanie parowe wysokoprężne zasila się z kotłów, podlegających przepisom państwowym o kotłach parowych wogóle. Prężność pary dowolna, nie przekracza jednak zazwyczaj 5 do 6 atm. w kotle i w głównym przewodzie dopływowym do sieci, a 1,5 do 2 atm. w samej sieci i grzejnikach. Prężność pary zmniejszamy przyrządem samoczynnym, które miarkuje zmniejszoną prężność pary.

Ogrzewanie niskoprężne zaopatrujemy przeważnie w kocioł o działaniu bez przerw, a więc z paleniskiem zasypnym i z miarkownikiem paleniskowym, który utrzymuje stałą prężność pary w kotle.

Wydajność kotła opłomkowego liczą po 8000 cpl./godz. z m², a z kotła płomienicowego do 10000 cpl./godz. z m² pow. ogrzew.

Grzejniki są w zasadzie takie same jak do ogrzewań wodnych; o ich obliczaniu p. str. 592.

Przewody na parę, prawie wyłącznie żelazne, łączą się przy mniejszych średnicach na złączki gwintowane (gwint lewo i prawozwity, albo z dodaniem nakrętek dla uszczelnienia), przy większych zaś na kołnierze (z uszczelkami z tektury azbestowej, z metali i t. p.). Przewody odwadniające są zazwyczaj podobne, czasami jednak i z rur miedzianych. Zalecają się oddzielne przewody na parę, a oddzielne na wodę skroploną. Gatunki rur żelaznych są również takie same jak dla ogrzewań wodą ciepłą, a więc albo gazowe (p. T. I str. 431 i 587), albo tak zwane kotłowe (p. T. I str. 588).

Siec przewodów powinna posiadać dostateczną poddajność na wydłużenia i kurczenia przy znacznych i nagłych zmianach temperatury, jakie tu zachodzą, a jeżeli tej poddajności sama w sobie nie posiada, to należy ją osiągnąć przez wstawienie wydłużeń w odpowiednie miejsca przewodu. Nadto należy układać rury w ten sposób, ażeby dozwalał na swobodne ich przesuwanie się, a więc np. wspierać na wałkach, podwieszać na wahakach i t. p.

Nader ważne jest prawidłowe odpowietrzenie całego zładu. Jeżeli powietrze nie znajduje swobodnego ujścia z całego zładu, poprzez sieć odwadniającą, na zewnątrz, to wypada w miejscach właściwych założyć oddzielne przyrządy odpowietrzające, a o ile one nie działają samoczynnie, trzeba też starannie je obsługiwać. Cała sieć powinna (od najwyższego swego punktu do kotła) posiadać spadek nieprzerwany, a jeżeli się to nie da uskuteczyć, to, by uniknąć zato-

rów wodnych, trzeba osobno odprowadzać wodę z najniższych punktów takich zakłębnięć przewodu.

Do odprowadzania wody skroplonej najstosowniejszymi będą takie odwadniacze, które oprócz wody wypuszczają i powietrze, nieprzepuszczając jednak pary, a które, gdy się po zamknięciu dopływu pary w grzejniku wytworzy próżnia, wpuszczają wąż z powrotem powietrze. Warunek w końcu wspomniany nabiera większego znaczenia, zwłaszcza dla grzejników niedostatecznie wytrzymałych na ciśnienie od zewnątrz; takie grzejniki bowiem uległyby zgnieceniu przez ciśnienie atmosfery, gdyby w nich powstała znaczniejsza próżnia.

Woda skraplająca się w grzejnikach i przewodach, jako czysta woda przekroplona (pominąwszy zabieraną z przewodów rdzę i t. p.), nadaje się dobrze do ponownego zasilania nią kotłów, a w ogrzewaniach niskoprężnych sływa ona zazwyczaj samoczynnie do kotła.

Obliczenie przewodów. Całą sieć dzielimy (podonie jak w ogrzewaniu wodą ciepłą p. str. 601 i n.) na pewną liczbę działek podług nakreślonego uprzednio zarysu sieci. Oznaczmy przez:

W ilość ciepła, jaką dana działka ma oddać w swym końcu, w cpl./godz.,

W' stratę ciepła danej działki, w cpl./godz.,

Q ilość pary, która wydaje ciepło W , w kg/godz.,

Q' ilość pary, która wydaje ciepło W' , w kg/godz.,

p_1 , wzgl. p_2 prężność bezwzględną pary na końcu, wzgl. u początku danej działki, w kg/m²,

d , wzgl. D , wewnętrzną, wzgl. zewnętrzną średnicę przewodu w danej działce, w m,

l długość danej działki, w m,

k współczynnik przenikania ciepła; dla rury nieotulonej $k = 4$ cpl./godz. i m², a dla otulonej, zależnie od rodzaju otuliny p. str. 594,

t_m temperaturę, odpowiadającą średniej prężności pary w danej działce,

r_m ciepłok parowania (p. T. I str. 283) pary o średniej prężności w danej działce, w cpl./kg,

r ciepłok parowania pary o prężności p_1 , w cpl./kg,

t temperaturę powietrza, otaczającego daną działkę przewodu, a otrzymamy wzory:

$$W' = \pi D l k (t_m - t), \quad Q = \frac{W}{r}, \quad Q' = \frac{W'}{r_m},$$

$$d = 0,0945 \sqrt[5]{\frac{l Q (Q + Q')}{(p_2 - p_1) (p_2 + p_1 + 6120)}};$$

dla ogrzewań niskoprężnych zaś wzór dogodniejszy:

$$d = 0,01 \sqrt[5]{\frac{0,268 l W (W + W')}{(p_2 - p_1) (p_2 + p_1 + 6120)}}.$$

Prężność pary w grzejniku najbardziej oddalonym od kotła zakładamy 13000 do 15000 kg/m^2 w ogrzewaniu wysokoprężnym, a 10500 kg/m^2 w niskoprężnym. Prężność bezwzględną w kotle zakładamy natomiast 40000 do 60000 kg/m^2 dla ogrzewań wysokoprężnych, a 11500 do 13000 kg/m^2 dla niskoprężnych. Ze zarysu sieci znamy całą długość od kotła do najdalszego grzejnika. Różnicę prężności między tymi punktami skrajnymi znamy z założeń powyższych: rozdzielamy ją równomiernie na całą długość, z czego obliczamy prężność u początku i na końcu każdej działki, dla której znamy nadto W i W'' , aczkolwiek w wartościach niezupełnie dokładnych. Znamy dokładną ilość ciepła, niezbędną dla grzejników, stratę zaś wskutek skraplania się pary w przewodach obliczamy podług ich ocenionych średnic. Ze znanych tych ilości obliczamy średnice d poszczególnych działek, podług wzorów końcowych, a w razie gdy okażą się znaczne różnice między nimi a średnicami ocenionymi, należy obliczenie powtórzyć, biorąc, zamiast pierwotnie ocenionych, średnice wynikające z pierwszego obliczenia.

Rury odwadniające miewają średnice 0,5 do 0,7 razy większe niż przynależne rury parowe, stosownie do tego czy opadają pionowo, czy też leżą prawie poziomo. Jednakże rury poniżej 19 mm prześwitu nie zalecają się wogóle na przewody odwadniające, a gdy rury parowe mają 25 do 44 mm prześwitu, to przynależne rury odwadniające miewają 25 mm prześwitu.

Dla zwykłych, parowych zładów ogrzewczych możemy, zwłaszcza do projektu przedwstępnego, zaoszczędzić sobie mozolnego obliczania podług dokładnych wzorów powyższych, posiłkując się wzajemian tablicami z podręcznika Rietschel'a *).

W nowszych czasach ogrzewanie parowe, niskoprężne starano się udoskonalic w dwóch zwłaszcza kierunkach:

1) Przez zastosowanie miarkowników, nastawiających dopływ do poszczególnych grzejników tak, aby w pokoju lub sali utrzymywać stale tę temperaturę, na jaką miarkownik nastawimy. Właściwy miarkownik, otwierając lub przysmykając maleńki zaworek na dodatkowym przewodzie powietrza sprężonego, działa za jego pośrednictwem na przeponę, która nastawia zawór przy grzejniku.

2) Przez utrzymywanie dowolnie zmiennej próżni w sieci zamkniętej, można parować wodę przy pożądaney temperaturze (nawet znacznie niżej 100°), przystosowanej do chwilowej potrzeby, co dozwala w sposób zespolony miarkować wydajność całego zładu ogrzewczego równo dokładnie, jak w ogrzewaniach wodą ciepłą, a nawet ze skutkiem prędszym, a to z powodu mniejszej pojemności cieplkowej zładów parowych.

Urządzenia powyżej wspomniane są jednakże jeszcze dość złożone w swym ustroju.

*) H. Rietschel, Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungsanlagen.

3. Ogrzewanie parowo-wodne.

Jest to zwykle ogrzewanie wodne (p. str. 597 i n.), którego kocioł jednakże ogrzewa się nie bezpośrednio paleniskiem i jego spalinami, lecz parą, doprowadzaną z oddzielnego źródła, często wspólnego dla kilku lub kilkunastu takich wodnych zładów ogrzewczych.

4. Grzejniki wodne, ogrzewane parą.

Grzejniki, napełnione wodą, ogrzewamy parą poprzez przeponę, pozatem kocioł i cały układ sieci nie różni się od zwykłego ogrzewania parowego. W takim ogrzewaniu parowym możemy też napełniać grzejniki wodą skraplającą się z pary, a przez otwieranie, wzgl. zamknięcie zaworów na odpływach, odprowadzających wodę z różnych poziomów grzejnika, możemy utrzymać w nim poziom wody na określonej wysokości, a natenczas wydajność jednostkowa ciepła z górnych powierzchni parowych grzejnika będzie większa niż z jego dolnych powierzchni, ogrzewanych łagodniej wodą. Układy te zwiększają pojemność cieplikową grzejnika, pozwalają na ogół korzystać z powierzchni ogrzewanych łagodniej wodą, a w czasie silnych mrozów można grzejnik w końcu wspomniany, przez zupełne spuszczenie z niego wody, przemienić w grzejnik czysto parowy.

W zwykłą sieć ogrzewania parowego możemy wstawiać dla poszczególnych pokoi, stosownie do ich przeznaczenia: dla jednych zwykle grzejniki parowe, dla drugich pierwszy, a dla pozostałych drugi z powyżej opisanych ustrojów grzejników, napełniających się wodą.

5. Ogrzewanie powietrzne.

Pokoje ogrzewają się wyłącznie powietrzem ciepłym, do nich doprowadzanem w sposób zupełnie podobny jak w zładach przewietrzających. Stosownie do tego, jakim grzeiwem ogrzewamy nagrzewnice, rozróżniamy ogrzewania: **spalinowo-powietrzne, wodno-powietrzne, parowo powietrzne**, a nawet **parowo-wodno-powietrzne**.

Powietrze nagrzane wstępuje do pokoju, zazwyczaj z temperaturą nie ponad 40°, przez nawiewniki tak wysoko położone, aby strumień ciepłego powietrza nie trafiał jeszcze w głowy mieszkańców. Jedynie podczas zagrzewania mieszkań wychłodzonych, dopóki się w nich ludzie nie znajdują, można nawietrzać czasowo powietrzem cieplejszem (do 50°), a w salach wyższych ponad 6 m zalecają się na ten okres zagrzewania nawiewniki dodatkowe, umieszczone tuż nad podłogą.

Jeżeli z tej samej nagrzewni mamy do różnych pokoi doprowadzać powietrze niejednakowej temperatury, to zaleca się do poszczególnych kanałów nawietrzających doprowadzić kanały z powietrzem nienagrzaniem i u wlotu do kanału nawietrzającego mieszać ze sobą strumienie powietrza nagrzanego i nienagrzanego, miarkując ich wzajemny stosunek, a więc i temperaturę ich mieszanki, przez nastawianie kłapy.

Jako nagrzewnicę możemy stosować dowolnego rodzaju grzejniki lub piece; w piecach jednakże ustrój paleniska powinien być taki, aby można było opalać, oraz oczyszczać piec od popiołu i sadzy z poza nagrzewni. Pożądanem jest, aby powierzchnie nagrzewnicy nie nagrzewały się ponad 100° . Warunkowi temu nie odpowiadają jednak nagrzewnice żeliwne lub żelazne, ogrzewane wprost spalinami.

Nagrzewnice, zagrzewane bezpośrednio z paleniska (ogniowe lub spalinowe), budujemy ponajczęściej z cegły, z rur kamionkowych, z żeliwa, rzadziej z żelaza. Prawidłowość budowy takiej nagrzewnicy określają warunki następujące: przenikanie ciepła na wielkie powierzchnie zewnętrzne, co zapobiega ich rozżarzaniu się; równomierne rozdzielanie się ciepła tak na powierzchnię nagrzewnicy, jak i na całą nagrzewnię; możliwie jednakowe przepływanie powietrza wzdłuż rozmaitych części powierzchni nagrzewającej; swoboda wydłużania się poszczególnych części; mała ilość i szczelność spoin; łatwość w oczyszczaniu z kurzu, popiołu i sadzy.

Wydajność z 1 m^2 żeliwnej powierzchni nagrzewnicy gładkiej liczyć można po 2000 cpt./godz. , a żebrowanej 1200 do 1500 cpt./godz.

W obliczaniu wypada rozróżnić 2 przypadki zasadnicze:

1) Wymiana powietrza pozostaje w zależności li tylko od strat ciepła, jakie pokryć mamy.

Jeżeli oznaczymy przez:

W stratę ciepła danego pokoju lub sali, w cpt./godz. ,

L objętość wymiany w $\text{m}^3/\text{godz.}$, mierzonej w powietrzu o temperaturze t^0 ,

t_0 temperaturę powietrza, wypływającego z nawiewnika,

t temperaturę powietrza, odlatującego we wywiewnik,

α spójczynnik rozszerzalności powietrza na 1^0 ,

a więc $\alpha = 1 : 273 = 0,003665$,

to otrzymamy wzór:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0,307(t_0 - t)}$$

Suma wyników L dla poszczególnych pokoi i sal, ogrzewanych z tej samej nagrzewni, wyrażona w objętości powietrza o t^0 , przedstawia nam ilość powietrza, jaką nagrzewnica zagrzać musi z temperatury największych mrozów do temperatury t_0^0 .

Przekroje kanałów nawietrzających i wywietrzających obliczamy jednakże nie dla stanu podczas największych mrozów, lecz tak aby działały jeszcze prawidłowo przy zewnętrznej temperaturze 0^0 i z następującymi zastrzeżeniami: Temperaturę w kanałach nawietrzających należy liczyć:

$$t' = \frac{W_0(1 + \alpha t)}{0,307 L'} + t,$$

w którym to wzorze W_0 oznacza stratę ciepła przy 0^0 , a

$$L' = m L,$$

wreszcie spódczynnik m posiada wartości, podane w tablicy poniższej:

Tablica wartości m .

Temperatura w nawiewnikach podczas mrozów -20^0	Temperatura w pokojach i salach	
	$+20^0$	$+15^0$
$t' = 36^0$	0,714	0,643
$= 40^0$	0,725	0,687
$= 50^0$	0,732	0,698

2) Wymiana powietrza w każdym pokoju lub sali jest z góry określona, a wypada obliczyć temperaturę, z jaką powietrze ma wstępować w nawiewniki do każdego poszczególnego pokoju lub sali. Temperaturę tę obliczamy podług wzoru:

$$t' = \frac{W(1 + at)}{0,307 L} + t.$$

Z wyników tego obliczenia wybieramy największy t_1' ; do tej też temperatury musimy nagrzewać powietrze w nagrzewnii. Do pokoi, wymagających takiej temperatury t_1' , doprowadzamy to nagrzane powietrze bez domieszki chłodnego, do pozostałych zaś, dla których temperatura t' ma być niższa, dodajemy do powietrza nagrzanego stosowną ilość powietrza chłodnego. Mieszanie to uskuteczniamy przez stosowne nastawienie kłapy u zbiegu kanału, prowadzącego powietrze nagrzane, z kanałem na powietrze chłodne.

Jeżeli dla danego pokoju oznaczymy przez L z góry określoną objętość wymiany w m^3 , mierzoną przy temperaturze t , a przez t_0 temperaturę na dworze, to objętość owa, sprowadzona do temperatury t^0 , będzie:

$$L_0 = \frac{L(1 + at_0)}{1 + at}.$$

Z tej ilości część ma iść jako domieszka chłodna, omijając nagrzewnię, resztę zaś musimy nagrzać z t_0 do t_1' , a mianowicie ilość o objętości:

$$L_1 = \frac{L(1 + at_0)(t' - t_0)}{(1 + at)(t_1' - t_0)}.$$

We wzorze tym t' oznacza temperaturę mieszaniny, nawietrzającej dany pokój, a t_1' temperaturę powietrza, wychodzącego z nagrzewnii.

Nagrzewnicę obliczamy podług potrzeby ciepła przy najniższej temperaturze zewnętrznej, sieć kanałów natomiast dla najwyższej temperatury zewnętrznej, przy jakiej jeszcze mamy zapewnić ową z góry określoną wymianę powietrza.

Jeżeli, przy obliczaniu temperatur t' , dla pewnych pokoi temperatura t_a , z danej wymiany L_0 , wypadnie za wysoka, to dobieramy

w nagrzewni odpowiednią temperaturę t_1' , a wymianę tych pokoi, dla których $t' > t_1'$, zwiększamy stosownie z L_0 na nL tak, aby pokój ogrzewał się dostatecznie. W takim przypadku do obliczenia sieci kanałów (przy najwyższej temperaturze zewnętrznej podczas przewietrzania) należy liczyć większą z dwóch objętości, t. j. L_0 , albo nL . Wartość współczynnika n podano w tablicy poniższej, w założeniu, że największe mrozy nie przekraczają -20° .

Tablica wartości współczynnika n .

Najwyższa temperatura zewnętrzna, przy której naznaczona wymiana ma być jeszcze zapewniona	Temperatura u nawiewnika					
	36°	40°	50°	36°	40°	50°
	Największe mrozy -20° , w pokoju $+20^\circ$			Największe mrozy -20° , w pokoju $+15^\circ$		
0°	0,717	0,721	0,733	0,684	0,685	0,698
$+5^\circ$	0,632	0,638	0,650	0,577	0,581	0,592
$+10^\circ$	0,530	0,538	0,547	0,436	0,441	0,452

Do obliczenia kanału zakładamy w nim temperaturę t' podług wzoru:

$$t' = \frac{W'(1 + \alpha t)}{0,307 L'} + t,$$

w którym W' oznacza stratę ciepła, pokrywana przez dany kanał przy temperaturze zewnętrznej, przy której mamy jeszcze zapewnić naznaczoną z góry wymianę powietrza, a L' oznacza większą z powyższych dwóch objętości L_0 , wzgl. nL .

Dalsze obliczenie sieci kanałów jest zupełnie podobne do obliczenia sieci przewietrzających, podanego na str. 579 i n.

III. PRZENIKANIE CIEPŁA.

a. Napływ, przepływ i wypływ ciepła przy przenikaniu przez ścianki.

1. Napływ ciepła z płynu na powierzchnię, lub odwrotnie.

Jeżeli oznaczymy przez:

F pole powierzchni, w m^2 ,

ϑ temperaturę powierzchni, w stopniach,

t temperaturę płynu (cieczy lub gazu), w stopniach,

z trwanie napływu ciepła, w godz.,

Q ilość ciepła, napływającego z płynu na powierzchnię, w cpl. (gdy wynik jest ujemny, ciepło wypływa z powierzchni do płynu),

α współczynnik napływu ciepła, w cpl. na godzinę i 1 m², oraz na 1° różnicy temperatur, a mianowicie napływu ciepła z płynu na powierzchnię lub odwrotnie wypływu ciepła z powierzchni do płynu, gdyż obydwie te wartości są jednakowe, to otrzymamy wzór:

$$Q = \alpha Fz(t - \vartheta).$$

Wartość współczynnika α zależy nie tylko od rodzaju powierzchni i płynu, ale i od warunków ruchu płynu względem powierzchni, a wartość ta bywa:

1) Napływ ciepła z wody lub innej cieczy wrzącej:

$$\alpha = 10000;$$

zwawe krążenie cieczy powiększa, a jego brak zmniejsza tę wartość.

2) Napływ ciepła z pary się skraplającej: ta sama wartość, t. j.

$$\alpha = 10000;$$

przez należyte odpowietrzanie i szybkie usuwanie wody skroplonej napływ zwiększa się, a w przeciwnym razie zmniejsza.

3) Napływ ciepła z cieczy nie wrzących i w stanie spokoju:

$$\alpha = 500;$$

wartość ta podlega zmianom w zależności od krążenia wśród cieczy, uwarunkowanego postacią powierzchni i grubością warstwy cieczy.

Jeżeli ciecz płynie wzdłuż powierzchni z prędkością v m/sek., lecz tylko w granicach $v = 0,05$ do 2 m/sek., to

$$\alpha = 300 + 1800 \sqrt{v}.$$

Gdy wodę wprawiamy w ruch mieszadłami, współczynnik α wzrasta, a wartość jego będzie:

$$\alpha = 2000 \text{ do } 4000,$$

a to zależy od skuteczności mieszadła.

4) Z powietrza, gazów i przegrzanych par w stanie spoczynku, średnio:

$$\alpha = 4;$$

lecz zależy od krążenia wewnętrznego, a więc od postaci powierzchni i t. p., wartość współczynnika waha się w granicach:

$$\alpha = 2 \text{ do } 8.$$

Wreszcie gdy gazy te płyną wzdłuż powierzchni z prędkością $v = 1$ do 100 m/sek., natenczas będzie:

$$\alpha = 2 + 10 \sqrt{v}.$$

2. Przenikanie ciepła przez ściankę, rozgradzającą dwa płyny.

α . Przenikanie ciepła przez ścianki płaskie.

Jeżeli oznaczymy przez:

t_1 temperaturę płynu cieplejszego, w stopniach,

t_2 temperaturę płynu chłodniejszego, w stopniach,

ϑ_1 , wzgl. ϑ_2 temperatury obustronnych powierzchni ścianki, w stopniach,

F' pole powierzchni ścianki, w m^2 ,

α_1 , wzgl. α_2 współczynniki napływu ciepła z obydwóch płynów na powierzchni ścianki,

δ grubość ścianki, w m,

λ współczynnik przewodnictwa ciepła w tworzywie ścianki, t. j. ilość ciepła w cpl./godz., przepływająca przez przekrój $1 m^2$, na jeden stopień różnicy temperatury między przekrojami skrajnymi, leżącymi we wzajemnym odstępnie $1 m$,

k współczynnik całkowitego przenikania ciepła przez ściankę, a więc napływu, przepływu i wypływu ciepła, w cpl./godz. i na 1° różnicy temperatur,

Q i z te same wielkości jak powyżej pod 1, to otrzymamy wzór:

$$Q = k F z (t_1 - t_2);$$

a współczynnik k przenikania otrzymamy ze związku:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}.$$

Temperatury obustronnych powierzchni ścianki określamy wzorami:

$$\vartheta_1 = t_1 - \frac{k}{\alpha_1} (t_1 - t_2), \text{ oraz } \vartheta_2 = t_2 + \frac{k}{\alpha_2} (t_1 - t_2).$$

Współczynniki λ przewodnictwa ciepła rozmaitych tworzyw,
w cpl./godz. i 1° różnicy, przez $1 m^2$, na odległość $1 m^*$).

Alkohol	0,18	Mur z kamienia łomowego	
Bawełna	0,012 do 0,016		1,3 do 2,1
Cegła	0,70	Nafta	0,13
Cement	0,06	Nikiel	50
Cyna	55	Oliwa	0,15
Cynk	95	Ołów	30
Gliceryna	0,25	Otuliny (p. T. Istr. 305)	0,05 do 0,15
Glin	175	Pilśń	0,03
Glina	0,70	Platyna	60
Kamień kotłowy	2	Powietrze	0,02
Kauczuk	0,17 do 0,3	Rtęć	6
Konstantan (stop o stałym		Smary olejne	0,1
przewodnictwie elektrycz-		Sośnina (wzdłuż włókien).	0,1
nem, mimo zmieniającej		„ (w poprzek „).	0,03
się temperatury)	20	Srebro	360
Korek	0,26	Stal miękka	35 do 45
Kreda	0,8	„ szklisto twarda	22
Lód	2	Szkoło	0,35 do 0,70
Marmur	0,43 do 0,65	Tektura	0,16
Miedź czysta	355	Twardziec (kwarzec)	0,035
„ zwykła	300	Węgiel kamienny	0,11
Mosiądz	55 do 110	Woda	0,5

*) Landolt i Bernstein, Physikalisch-chemische Tabellen.

Wojłok	0,03	Żelazo skowalne	50 do 60
Złoto	250	Żeliwo (żelazo lane).	40

Kilka przypadków szczególnych przenikania ciepła przez ścianki płaskie, jednakowej grubości.

Podstawiając we wzorze powyższym na $\frac{1}{k}$ wartość:

$$\frac{1}{k_0} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}, \text{ otrzymamy:}$$

$$k = \frac{k_0}{1 + k_0 \frac{\delta}{\lambda}},$$

a wartości k_0 w poszczególnych przypadkach będą:

Ciepło przenika z pary do cieczy wrzącej $k_0 = 3000$ do 6000

” ” ” ” ” nie wrzącej:

ciecz w spokoju $k_0 = 300$ do 600

ciecz płynie. $k_0 = 1700 \sqrt[3]{v}$ (v od $0,05$ do 2 m/sek.)

ciecz poruszana mieszadłem $k_0 = 1500$ do 2500

Gdy ścianka jest metalowa, zwłaszcza miedziana lub mosiężna, i bardzo cienka, zaniehbując wyraz $k_0 \frac{\delta}{\lambda}$, możemy liczyć $k = k_0$.

Ponieważ wartość $\frac{1}{\alpha}$ dla powietrza lub gazu jest bardzo wielka, w stosunku do tejbże wartości dla wody wrzącej lub skraplającej się pary, wreszcie w stosunku do wartości $\frac{\delta}{\lambda}$ dla cienkich ścianek metalowych, możemy zaniehbować w stosownych przypadkach wartości w końcu wspomniane i zakładać, że $\vartheta_1 = \vartheta_2$, a natenczas będzie:

Gdy ciepło przenika z wody wrzącej lub ze skraplającej się pary, przez cienką ściankę metalową, w powietrze lub gaz, albo też odwrotnie:

$$k = \alpha \text{ (wartości dla powietrza);}$$

gdy zaś ciepło przenika z powietrza (lub gazu), przez taką ściankę, do powietrza (lub gazu), będzie:

$$k = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

A że ponajczęściej będzie $\alpha_1 = \alpha_2$, więc w takim przypadku wzór ten uprości się jeszcze na:

$$k = \frac{\alpha}{2}.$$

Przenikanie ciepła przez ściankę, przy zmieniającej się temperaturze obu stronnych płynów.

Gdy się temperatura płynu cieplejszego, skutkiem oddawania ciepła, obniża z t_1' do t_1'' , a równocześnie płyn chłodniejszy, skutkiem wchłaniania ciepła, się zagrzewa z t_2' do t_2'' , to ilość ciepła, przenikłego podczas okresu z godzin, będzie:

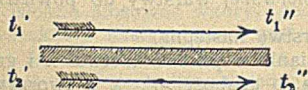
$$Q = kFz \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}}.$$

A jeżeli przez G_1 , wzgl. G_2 oznaczymy ilości owych płynów w kg, przez c_1 zaś, wzgl. c_2 ich ciepłiki właściwe (p. T. I str. 317), to otrzymamy dodatkowe dwa związki, a mianowicie:

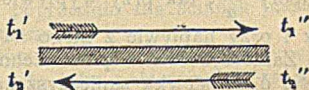
$$Q = c_1 G_1 (t_1' - t_1''), \text{ wzgl. } Q = c_2 G_2 (t_2'' - t_2').$$

Wzory powyższe zatrzymują swą ważność i w tych przypadkach, gdy płyny przepływają wzdłuż powierzchni, a natenczas wypada różniczać spółprądy (rys. 1067) od przeciwprądów (rys. 1068). W rysun-

Rys. 1067.



Rys. 1068.



kach tych oznaczono temperatury w poszczególnych punktach w sposób zgodny ze znakowaniem wzorów powyższych.

Do wszystkich tych przypadków można też stosować następujący wzór przybliżony:

$$Q_0 = kFz \left(\frac{t_1' + t_1''}{2} - \frac{t_2' + t_2''}{2} \right),$$

a tablica poniższa podaje stosunki wyniku Q_0 wzoru przybliżonego i dokładnej wartości Q , wynikającej ze wzoru ścisłego. Dane tej tablicy mogą też posłużyć do wprowadzenia poprawek we wyniki wzoru przybliżonego.

$\frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1,5 \\ \text{albo} \\ 2/3 \end{array} \right.$	1	1,5 albo 2/3	2 albo 1/2	3 albo 1/3	4 albo 1/4	5 albo 1/5	10 albo 1/10	100 albo 1/100
$\frac{Q_0}{Q} =$	1	1,014	1,038	1,099	1,154	1,210	1,410	2,35

Tablica i wzory powyższe nie tracą swej ważności i w tym przypadku, gdy tylko jeden z płynów zmienia swą temperaturę, podczas gdy drugi pozostaje w temperaturze stałej: wypada natenczas założyć tylko $t_1'' = t_1'$, albo też odwrotnie $t_2'' = t_2'$.

Skraplając parę i chłodząc dalej wodę skroploną, powinniśmy obliczenie rozdzielać na dwie części i obliczać oddzielnie przenikanie ciepła przez ściankę dla skraplania pary i oddzielnie dla dalszego chłodzenia wody skroplonej.

Przenikanie ciepła przez ściankę wielowarstwową. Jeżeli ścianka składa się z kilku warstw o grubościach $\delta, \delta', \delta'' \dots$, a tworzywa tych warstw mają przewodnictwa $\lambda, \lambda', \lambda'' \dots$, i jeżeli zaniedbamy opór przy wypływie z jednej warstwy na drugą, który to opór, przy szczelnem zetknięciu się warstw, będzie nieznaczny, to otrzymamy spólczynnik całkowity oporu dla przenikania ciepła przez taką ściankę wielowarstwową:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{\delta''}{\lambda''} + \dots$$

Jeżeli jednak dwie takie warstwy sąsiednie nie przylegają do siebie ściśle, lecz pozostawiają między sobą pewną przestrzeń swobodną, to przestrzeń taką należy liczyć za oddzielną warstwę powietrzną i uwzględniać dla niej nietylko opór przepływu $\frac{1}{\lambda}$, lecz i opory $\frac{1}{\alpha}$, tak przy wypływie z pierwszej warstwy do powietrza, jak i przy napływie z niego na warstwę następną.

Zanieczyszczenie powierzchni ścianki o przewodnictwie λ i grubości δ warstwą zanieczyszczającą, o grubości δ' , a z tworzywa o przewodnictwie λ' , zmniejsza przenikalność warstwy dla ciepła w stosunku:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{k'}{k} = \frac{1}{1 + \frac{\delta'}{\lambda'} k}$$

Przykłady. Ścianka miedziana, ogrzewana parą, ogrzewa wodę wrzącą, a gdy jej powierzchnie są zupełnie czyste, ich spólczynnik k niechaj będzie 3000. Zanieczyszczenie jednej powierzchni warstwą osadu, 1 mm grubą ($\delta' = 0,001$), o przewodnictwie $\lambda' = 1$, zmniejszy wydajność ciepła w stosunku $Q' : Q = 1 : 4$. Taka sama warstwa osadu na powierzchni kotła, ogrzewanego spalinami, jeżeli powierzchnia w stanie czystym miała pierwotnie przenikalność $k = 20$, zmniejszy ją tylko w stosunku $Q' : Q = 0,98$.

β) Przenikanie ciepła przez ścianki walcowate.

Oprócz znakowań, powyżej już objaśnionych, oznaczymy jeszcze dodatkowo przez:

d_z zewnętrzną średnicę rury, w m,

d_w wewnętrzną średnicę rury, w m,

d_p średnicę powierzchni przylegania wzajemnego obydwóch warstw, w m, w przypadku, gdy ścianka rury składa się z dwóch warstw,

l długość rury, w m.

Ilość ciepła, przenikająca przez zwykłą jednowarstwową ściankę rury, określa się wzorem:

$$Q = l\pi z \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1 d_w} + \frac{1}{\alpha_2 d_z} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_z}{d_w}},$$

ważnym dla przypadku, gdy płyn cieplejszy znajduje się wewnątrz rury, w przypadku odwrotnym wypada we wzorze przestawić nawzajem wielkości α_1 i α_2 . Gdy natomiast ścianka rury składa się z dwóch warstw o przewodnictwie λ_w warstwy wewnętrznej (np. rury właściwej) i λ_z warstwy zewnętrznej (np. otuliny, osadu i t. p.), natenczas ilość ciepła, przenikająca przez ściankę, będzie:

$$Q = l\pi z \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1 d_w} + \frac{1}{\alpha_2 d_z} + \frac{1}{2\lambda_w} \ln \frac{d_p}{d_w} + \frac{1}{2\lambda_z} \ln \frac{d_z}{d_p}}.$$

I ten wzór stosuje się bezpośrednio w przypadku, gdy płyn cieplejszy znajduje się wewnątrz rury, w przypadku odwrotnym zaś wypada znów przestawić nawzajem wielkości α_1 i α_2 .

Do **zwykłych rur** o ściankach metalowych można z dostateczną ścisłością stosować wzory, podane poprzednio dla ścianek płaskich, wszakże z następującymi zastrzeżeniami:

Jeżeli współczynniki α_1 i α_2 napływu ciepła z płynów na powierzchnię są w przybliżeniu jednakowe, to jako pole ścianki przenikalnej należy liczyć powierzchnię pośrednią między zewnętrzną a wewnętrzną, czyli za średnicę rury brać wielkość $1/2 (d_z + d_w)$.

Gdy współczynniki α_1 i α_2 różnią się znacznie w swych wartościach, natenczas trzeba za powierzchnię przenikania liczyć tę, przy której znajduje się płyn o mniejszym współczynniku α .

W kotłach parowych i wodnych za powierzchnię ogrzewaną liczymy zatem powierzchnię stykającą się ze spalinami, a więc w płomienicach i płomieniówkach wewnętrzną, w opłomkach zewnętrzną, w przegrzewaczach natomiast liczymy powierzchnię pośrednią.

b. Promieniowanie ciepła.

Gdy dwa ciała o niejednakowej temperaturze stoją naprzeciwko siebie, ciepło z ciała cieplejszego promieniuje na zimniejsze, które wchłania w siebie owe ciepło napromieniowane i nabiera pozoru, jakoby samo promieniowało chłód. Dlatego też mówimy, aczkolwiek niezupełnie ściśle, i o promieniowaniu zimna.

Przypadek najprostszy otrzymamy, gdy powierzchnia F ciała cieplejszego (np. rury parowej, grzejnika, pieca i t. p.) posiada stałą temperaturę bezwzględną Θ i gdy jest otoczona chłodniejszymi powierzchniami (np. ścian, mebli i t. p.) również o stałej bezwzględnej temperaturze T , natenczas ilość ciepła wypromieniowanego Q określa nam wzory:

podług Dulong'a i Petit'a: $Q_r = C_1 F z (1,0077^\Theta - 1,0077^T)$,

podług Stefan'a:
$$Q_r = C_2 F z \left[\left(\frac{\Theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right],$$

podług Rosetti'ego:
$$Q_r = C_3 F z \left[\left(\frac{\Theta}{100} \right)^2 - 1,9 \right] (\Theta - T).$$

Gdy chodzi o ilość zimna wypromieniowanego, np. z przewodów oziębiających, należy we wzorach powyższych zastąpić Θ przez T i na odwrót.

Stałe C_1 , C_2 , C_3 owych wzorów wahają się co do swej wartości w szerokich granicach, a to w zależności przeważnie od mniejszego lub większego stopnia wygładzenia powierzchni.

Dla zwykłych powierzchni metalowych, częściowo już utlenionych, dla murów, papieru, drzewa, tkanin, powłoki z farby olejnej, oraz dla rozżarzonego i płomienującego paliwa, można wartości owych stałych liczyć średnio:

$$C_1 = 52,35 \text{ *)} \quad C_2 = 4, \quad C_3 = 0,5.$$

Natomiast powierzchnie metalowe, błyszcząco wygładzone promieniują zaledwie $1/10$ tej ilości ciepła.

c. Przenikanie ciepła przy jednoczesnym napływie i promieniowaniu.

Ścianka o powierzchni F (m²) przez z godzin z płynu o temperaturze t_1 przeprowadzi na drugą stronę, do płynu o temperaturze t_2 , ilość ciepła:

$$Q = K F z (t_1 - t_2),$$

w którym to wzorze współczynnik K przyjmuje wartości, zależne od warunków szczególnych, a mianowicie:

1. Ciepło przenika z wody lub pary, poprzez ściankę metalową, w powietrze, np. z grzejnika parowego lub wodnego:

$$K = k + 0,5 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^2 - 1,9 \right].$$

We wzorze tym dla powietrza spokojnego $k = 4$, a T_1 (zgodnie z wzorem Rosetti'ego z pod b) będzie temperaturą bezwzględną pary, względnie wody.

2. Powierzchnia kotłów ogrzewana ogniem bezpośrednio:

a) Palenisko wewnętrzne:

$$K = k + 0,5 \frac{F_r}{F} \left(\frac{T_1}{100} \right)^2,$$

w którym to wzorze F_r oznacza powierzchnię rusztu, F bezpośred-

*) Pierwotny wzór Dulong'a i Petit'a dla temperatur podług skali Celsjusza, ma stałą $C_1' = 425$.—Wzór ów przekształcono powyżej na temperatury bezwzględne, ze stałą $C_1 = 52,35$.

nie ogrzewaną powierzchnię kotła, a T_1 temperaturę bezwzględną nad rusztem, a więc temperaturę spalania.

Sam zaś spódczynnik k zależy w znacznej mierze od prędkości lotu spalin, a zatem i od ilości B kg węgla, spalanego na godzinę i na 1 m^2 rusztu. Średnio liczyć można:

$$k = 2 + 2\sqrt{B}.$$

β) Palenisko podolne.

$$K = k + C \left(\frac{T_1}{100} \right)^2,$$

we wzorze tym stała $C = 0,4$ do $0,6$, a najlepiej liczyć ją średnio $0,5$, gdyż doświadczenia praktyczne wykazały dla tej wartości zgodność wyników wzoru z wynikami doświadczeń. Wartość spódczynnika k i znaczenie temperatury T_1 są te same, jak dla palenisk wewnętrznych.