

CZEŚĆ TRZECIA

BADANIE SILNIKÓW, MASZYN I URZĄDZEŃ CIEPLNYCH.

I. Badanie kotła parowego.

1. Uwagi ogólne.

Badanie kotła parowego (generatora pary) ma na celu zebranie spostrzeżeń, które pozwoliłyby osądzić, jak pracuje całe urządzenie kotłowe i jego części pod względem wydajności i sprawności, porównać otrzymane wyniki badania z innemi, zebranemi gdzieindziej i uważanemi dla podobnych warunków za normalne, a w razie zaobserwowanych różnic— znaleźć i usunąć powody tego, wreszcie badanie kotłów przeprowadza się przy tak zw. odbiorach kotłów nowych czyli sprawdzaniu czy dostarczone urządzenie posiada zapewnione w umowie własności.

W każdym z tych wypadków badanie przeprowadzone jest podobnie z tą tylko różnicą, że, zależnie od celu pomiaru, dopuszczona może być różna dokładność spostrzeżeń, pozatem przy próbach odbiorczych, aby uniknąć zatargów prawnych, warunki, w których przeprowadzone ma być badanie, omawia się z góry w umowie lub powołuje na t. zw. normy odbiorcze, ustalone przez zrzeszenia zawodowe (Normy amerykańskie, niemieckie i t. p.).

a) Czas trwania pomiaru.

Wyniki badania kotła łatwiej mogą być obciążone błędem, niż wyniki badania innych urządzeń mechanicznych, gdyż wchodzi tu w grę trudność utrzymania stanu zupełnej równowagi cieplnej podczas pomiaru. Przyjmując nawet odosobnienie obserwowanego układu oraz ściśle ustalenie charakterystycznych dla pracy kotła wielkości, pozostaje jeszcze niepewnym stan paleniska, masy wody i obmurza na początku i końcu okresu pomiaru; stan ten musi być taki sam, aby część ciepła dostarczonego do kotła nie została zachowana lub odebrana z paleniska, wody oraz obmurza kotła.

a) Stan paleniska powinien być taki sam na końcu i początku pomiaru nie tylko pod względem wysokości warstwy paliwa, ale i pod względem stopnia przepalenia się opału na rusztach, co szczególnie ma znaczenie dla palenisk zasilanych ręcznie, gdyż paliwo pomiędzy narzuceniem na ruszty i zupełnym spalaniem się przechodzi różne stadia. Przyjmując, że różnica w ocenie wysokości warstwy węgla wynosi tylko 1 cm, czemu odpowie w przybliżeniu 8 kg węgla na 1 m² powierzchni rusztu, otrzymamy przy ośmiogodzinnym pomiarze i przy spalaniu 100 kg węgla na 1 m² powierzchni rusztu błąd:

$$\frac{8^{\text{kg}}}{8^{\text{h}} \cdot 100} \cdot 100 = 1\%.$$

b) Stan masy wody w kotle zawartej obserwujemy na wodowskazach, wobec jednak falowania poziomu wody w kotle porównanie stanu początkowego z końcowym nie jest łatwe i pociągnąć może błąd. Jeżeli różnica poziomu wody przy rozpoczęciu i zakończeniu sześciogodzinnego pomiaru wynosi 5 mm, a powierzchnia wody w kotle wynosi 18 m² i kocioł wytwarza 1500 kg/h pary, to błąd przez to wywołany będzie:

$$\frac{5 \cdot 18}{1500 \cdot 6} \cdot 100 = 1\%.$$

W grę tu wchodzi jednak jeszcze stan tej wody w kotle pod względem zawartości w niej pęcherzyków parowych, co zmienia się przy tej samej produkcji pary zależnie od tego czy ciśnienie w kotle opada czy się wznosi. Przy wzroście ciśnienia ilość pęcherzyków jest większa, przy zmniejszaniu się — mniejsza. Stąd ważnem jest, by nie tylko na końcu i początku okresu pomiaru był ten sam poziom wody, ale by panowała ta sama, stała prężność. Ma to także jeszcze znaczenie ze względu na oznaczenie ilości ciepła zabieranego przez produkowaną parę, tę jednak poprawkę łatwo uwzględnić rachunkiem.

c) Stan cieplny obmurza, jako zbiornika ciepła o dużej pojemności, może wywierać poważny wpływ na wyniki pomiaru tembardziej, że trudno jest stwierdzić przez zewnętrzną obserwację czy stan nagrzania się obmurza w danym okresie nie uległ zmianie. W każdym razie przed rozpoczęciem pomiaru kocioł musi być pewien czas w ruchu (4—6 h), a następnie szereg obserwacji dorywczych, robionych w ciągu np. 1 godziny, powinien potwierdzić, że, przy zachowaniu równowagi pod innym względem, stosunek produkowanej pary i spalonego węgla nie wzrasta, co w przeciwnym razie świadczyłoby, że obmurze jeszcze nie jest nagrzane do właściwego stanu równowagi, po uzyskaniu której należy dopiero rozpocząć pomiar właściwy, aby uniknąć z tego powodu błędów.

Jeżeli uwzględnimy jeszcze wpływ usuwania żużla (szlakowania), co połączone jest z chwilowym doprowadzeniem zimnego powietrza

w znacznym nadmiarze i obniżeniem temperatury w palenisku, jasne się staje, że okres obserwacji kotła podczas pomiaru, w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa popełnienia błędu, musi być stosunkowo długi i, jak wynikało z poprzedniego, wynosić powinien w tym wypadku, gdy oznaczamy ilość spalanego węgla — 8 godzin, gdy oznaczamy tylko ilość odparowanej wody — 6 godzin. Przy zupełnej równowadze cieplnej całego układu może być okres nieco skrócony, szczególnie przy opalaniu paliwem płynnym lub gazowym; przy zmiennym obciążeniu okres ten powinien być przedłużony. Paleniska automatyczne pozwalają, przy tych samych pozostałych warunkach, zmniejszyć czas trwania pomiaru z 8 na 6 godzin.

b) Stan kotła przed pomiarem.

Przed przystąpieniem do badania kotła nieodzownym jest doprowadzenie go do stanu normalnego, o ile oczywiście otrzymane wyniki mają być traktowane jako normalne. Wprawdzie jest to zasada, która obowiązuje przy normalnych badaniach wszelkich urządzeń mechanicznych, jednak przy kotle, ponieważ stan jego trudno jest zzewnątrz ocenić podczas pomiaru, powinna być specjalnie podkreślana.

Pod stanem kotła rozumieć należy w tym wypadku czystość powierzchni ogrzewanej i to tak od strony kanałów dymowych, jak przede wszystkim od strony wody, aby zapewnić normalne warunki przewodnictwa ciepła oraz pełną przepuszczalność kanałów. Oznacza to, że podczas badania, o ile wyniki pomiaru nie mają być obciążone pod tym względem błędem, kocioł powinien być wolny wewnątrz od kamienia kotłowego, rury wewnętrzne i powierzchnie przewodzące ciepło wolne od popiołu i sadzy, zaś ruszty podczas pomiaru powinny być periodycznie oczyszczane od żużla, utrudniającego przepływ powietrza.

2. Wielkości charakteryzujące pracę kotła.

Sposób pracy kotła charakteryzuje się ogólnie kilku liczbami stosunkowymi, dającymi zresztą miarę względną. Jeżeli oznaczymy przez H powierzchnię ogrzewaną kotła w metrach kw., D — ilość odprowadzanej z kotła w godzinie pary w kg czyli, przy stałym poziomie wody, ilość wtłoczonej do kotła wody w godzinie, R — powierzchnię rusztów w m^2 , to:

a) Stosunek D/H , zwany natężeniem powierzchni ogrzewanej, wskazuje jak intensywnie jest wytwarzana para. O ile ogólnie liczba ta daje tylko przybliżone pojęcie o intensywności przejmowania ciepła przez wodę w kotle, bo, zależnie od zasilania kotła mniej lub bardziej gorącą wodą, to samo natężenie powierzchni ogrzewanej kotła D/H odpowiadać będzie różnym warunkom pracy, to jednak dla pewnego kotła, pracujące-

go stale w tych samych warunkach, liczba ta jest przecież miarą jego obciążenia.

b) Stosunek B/R , zwany natężeniem powierzchni rusztu, mówi, ile w danym okresie spala się kg paliwa na jednostce powierzchni rusztu, a więc przy opalaniu kotła stale tym samym węglem uzyskuje się również pewną miarę intensywności spalania. Porównywanie stosunków B/R dla różnych rodzajów węgla a nawet dla różnych typów palenisk daje tylko bardzo ogólne pojęcie o stopniu forsowania paleniska.

c) Stosunek D/B czyli t. zw. wielokrotność odparowania albo w skróceniu odparowanie, dałby bardzo dobry obraz pracy kotła, podając ile $1 kg$ węgla wyprodukuje kg pary, gdyby para wytwarzana przez kocioł i spalany węgiel były wszędzie jednakowe. Zależnie od ciśnienia i temperatury pary oraz temperatury wody zasilającej a jednocześnie od wartości opałowej węgla, stosunek ten przy równie sprawnych procesach osiągnąć może różne wartości, stąd pojęcie to, przystępne i łatwo dające się oznaczyć, używane jest w codziennej praktyce tylko do ogólnej oceny pracy kotła czynnego stale w tych samych warunkach.

Usiłowanie nadania pojęciu „odparowania” bardziej uniwersalnego, znaczenia przez wprowadzenie pojęć dodatkowych: pary normalnej t. j. tworzącej się z wody o $0^{\circ} C$, a posiadającej ciśnienie $1 at$ i temperaturę $100^{\circ} C$ oraz pojęcie węgla normalnego, t. j. o wartości opałowej 6000 kal/kg , sprawy nie polepsza, bo odbiera stosunkowi D/B prostotę formy i łatwość oznaczenia, a jednocześnie nie nadaje mu miary bezwzględnej. Stąd do ścisłych określeń sposobu pracy kotła używa się powszechnie pojęcia t. zw. sprawności kotła, która pozwala ocenić jak doprowadzone ciepło zostało zużytkowane oraz ustalić straty.

d) Sprawność paleniska. Ciepło tkwiące w paliwie doprowadzanem do paleniska kotła, t. j. w odniesieniu do kg — jego wartość opałowa W_u , nie zostaje całkowicie wywiązane, bo część węgla spadnie do popielnika w stanie niespalonym, część węgla pójdzie do komina jako sadza, część wreszcie ciepła nie zostanie wywiązana wskutek możliwości niezupełnego utlenienia się jego składników, a więc obecności w spalinach tlenu węgla i metanu. Te straty powodują, że w palenisku wywiąże się z $1 kg$ paliwa tylko W_u' ciepła, przyczem stosunek

$$\eta_p = \frac{W_u'}{W_u}$$

zwie się sprawnością paleniska.

e) Sprawność powierzchni ogrzewanej jest stosunkiem ciepła doprowadzonego do pary w kotle — do ciepła wywiązanego rzeczywiście w palenisku. Jeżeli kocioł wytwarza $D kg$ pary w godzinie o zawartości ciepła i z wody o temperaturze t_0 kosztem spalonych $B kg$ węgla, z któ-

rych każdy wydzielił, dzięki stratom w palenisku, tylko W'_u kcal/kg, to sprawność powierzchni ogrzewanej przedstawi się jako stosunek

$$\eta_{IH} = \frac{D(i-t_0)}{B \cdot W'_u}$$

f) Sprawność ogólna kotła jest miarą strat ogólnych w kotle i wyraża się stosunkiem ciepła, odprowadzonego z układu, do ciepła doprowadzonego czyli

$$\eta_H = \frac{D(i-t_0)}{B \cdot W_u}$$

albo
$$\eta = \eta_p \cdot \eta_H = \frac{W'_u}{W_u} \cdot \frac{D(i-t_0)}{B \cdot W'_u} = \frac{D(i-t_0)}{B \cdot W_u}$$

O ile kocioł składa się po za generatorem pary także z przegrzewacza i podgrzewacza, obok sprawności ogólnej kotła, stosuje się pojęcie sprawności ogólnej urządzenia kotłowego, która oczywiście będzie większa, bo przy tym samym mianowniku licznik będzie większy, gdyż ciepłok całkowity pary i w odniesieniu do pary przegrzanej będzie większy, zaś temperatura wody t_0 , mierzona nie bezpośrednio przed kotłem po przejściu podgrzewacza, ale przed nim, będzie mniejsza.

g) Spółczynnik nadmiaru powietrza. Wobec tego, że ilość powietrza teoretycznie potrzebna do utlenienia paliwa w palenisku nie wystarcza, doprowadzamy zawsze więcej, miarą tego jest t. zw. współczynnik nadmiaru powietrza jako stosunek ilości powietrza rzeczywiście doprowadzonej L do teoretycznie potrzebnej L_t

$$\lambda = \frac{L}{L_t}$$

Zbyt mała wartość λ wytwarza niebezpieczeństwo niezupełnego spalania i tworzenia się tlenku węgla (CO), zbyt duża — powoduje, dzięki doprowadzeniu zbędnej ilości powietrza, obniżenie temperatury w palenisku i zwiększenie strat. Zależnie od rodzaju paliwa i typu paleniska wartość współczynnika $\lambda = 1,3 - 1,9$, w każdym razie w danych warunkach powinna być możliwie najmniejsza.

Wartość współczynnika λ przy znanym składzie spalin, zawierających b % bezwodnika węglowego, o % tlenu, n % azotu, wyraża się związkiem:

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{o}{n}}$$

Przy paliwie suchem i o małej zawartości wodoru przyjąć można

$$\lambda = \frac{21}{21-0}.$$

O ile spalanie jest niezupełne i analiza wykryła w spalinach $co\%$ tlenku węgla, to

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{o - co}{n}}.$$

Przy ręcznym narzucaniu węgla wielkość λ ulega ciągłej zmianie zależnie od chwilowego stanu paliwa w palenisku i od regulowania dopływu powietrza, zatem w tych wypadkach można mówić tylko o średniej wartości współczynnika nadmiaru powietrza.

3. Straty ciepłne w kotle.

a) Strata w popielniku. Strata ta, wywołana przedostawaniem się niespalonego węgla do popielnika, oznacza się albo w ten sposób, że przeciętną próbkę popiołu z popielnika wyżarzamy w tyglu platynowym, podczas czego węgiel w niej zawarty spala się (patrz str. 112), a ze zmniejszenia się wagi próbki po wyżarzeniu sędzimy o ilości zawartego w niej węgla C_0 . Odnosząc tę ilość węgla C_0 do całkowitej ilości wydzielonego w popielniku kotła popiołu P_0 możemy oznaczyć ile w ogóle przedostało się węgla do popielnika, a więc ile kalorii straciliśmy z każdego kilograma węgla czyli oznaczyć stratę w popielniku

$$S_p = \frac{P_0 C_0}{B} \cdot 8080.$$

Stratę tę można znaleźć także i w ten sposób, że porównujemy przeciętną ilość popiołu w popielniku otrzymaną przy spalaniu np. 1 kg węgla P_0/B z procentową zawartością popiołu w próbce węgla P (patrz str. 112) Nadwyżka popiołu ponad istotnie w węglu zawarty daje ilość węgla jaka się z popiołem przedostała do popielnika, więc stratę w popielniku wyrazić można także jako

$$S_p = \left(\frac{P_0}{B} - P \right) W_u.$$

b) Strata wywołana przez niedokładne spalanie, szczególnie, gdy w spalinach jest metan, co zresztą jest wypadkiem rzadszym, nie daje się tak łatwo oznaczyć wobec tego, że skład spalin, mimo stanu równowagi kotła, przecież ulega zmianom i wobec tego, że tych niespalonych

składników jest bardzo mało. Zawartość ich w spalinach oznaczyć można w ten sposób, że próbkę spalin, po uprzednim pochłonięciu CO_2 i SO_2 w ługu potasowym, spalamy przepuszczając przez kwarcową rurkę z rozżarzoną drucikiem platynowym. Z kontrakcji i ilości wytworzonego bezwodnika węglowego można oznaczyć zawartość metanu i tlenku węgla (patrz str 127). Wobec dużego rozcieńczenia tej mieszaniny łatwo przy spalaniu popełnić błąd.

Wreszcie stratę wywołaną przez wydzielanie się węgla w postaci sadzy oznacza się w przybliżeniu w ten sposób, że pewną znaną ilość spalin przepuszczamy przez filtr azbestowy; osadzoną sadzę w filtrze — spalamy, a z ilości wytworzonego przy spalaniu bezwodnika węglowego sądzimy o ilości sadzy. Metoda ta jest niedokładna, gdyż, po za błędami samego doświadczenia, obarczona jest niepewnością czy próbka zassanych spalin zawiera tyle sadzy, ile średnio przy spalaniu węgla się wydziela, gdyż część jej mogła osiąść w kanale dymowym.

Oznaczanie strat wywołanych przez niespalenie się metanu i wydzielanie się sadzy jest, ze względu za niedokładność oznaczeń, dokonywane tylko wyjątkowo tembardziej, że straty te są małe, dla przeciętnych warunków mieszczą się w granicach dopuszczalnych błędów (1—2%).

c) Strata kominowa pochodzi stąd, że spaliny uchodzą do kominu przy wysokiej temperaturze unosząc ze sobą ciepło, które przy ich oziębieniu do temperatury kotłowni t_1 mogłoby być zużytkowane.

Jeżeli objętość spalin uchodzących do kominu przy spalaniu 1 kg paliwa jest V_s , ich ciepło właściwe jest c_p , zaś temperatura w czopuchu T , to strata kominowa wyrazi się symbolicznie

$$S_k = V_s \cdot c_p (T - t_1).$$

Wartość V_s , m^3 znaleźć można, znając skład paliwa i spalin, następująco:

Jeden kilogram czystego węgla przy spalaniu zupełnem wytworzy $V_m/12 \text{ m}^3$ bezwodnika węglowego, przyczem V_m jest objętością 1 mola, wspólną dla wszystkich gazów i wynoszącą przy 0° i 760 mm Hg — 22,42, przy 15° i 1 at — 24,42 m^3 . Ponieważ w paliwie jest tylko $c\%$ czystego węgla, więc wytworzy się bezwodnika węglowego z 1 kg paliwa:

$$\frac{c}{100} \cdot \frac{V_m}{12} \text{ m}^3$$

co według analizy stanowi w spalinach $b\%$.

Wobec tego, że udział tlenu i azotu w spalinach wynosi $o\%$ i $n\%$, więc całkowita objętość spalin wyrazi się sumą:

$$V_s = \frac{c}{100} \cdot \frac{V_m}{12} \left(1 + \frac{o}{b} + \frac{n}{b} \right),$$

a uwzględniając parę wodną, jako produkt spalania zawartego w paliwie wodoru $h\%$ i wyparowania wilgoci węgla $k\%$, otrzymamy

$$V_s = 1,867 \frac{c}{100} \left(1 + \frac{o}{b} + \frac{n}{b} \right) + \frac{9h + k}{100 \gamma} m^3/kg.$$

Mnożąc V_s przez różnicę temperatur spalin przy opuszczaniu urządzenia kotłowego i przy wlocie do paleniska oraz przez ciepło właściwe poszczególnych składników, otrzymujemy stratę kominową

$$S_k = \left[1,867 \frac{c}{100} \left(c_p' + c_p'' \frac{o}{b} + c_p''' \frac{n}{b} \right) + c_p'''' \frac{9h + k}{100 \cdot 0,808} \right] (T - t_1) \text{ kal/kg}$$

węgla, gdzie T jest temperaturą przed zasuwą czopucha, a t_1 temperaturą kotłowni.

Ciepło właściwe gazów zmienia się wraz z temperaturą, lecz dla gazów dwuatomowych jak O_2 , N_2 , CO bardzo nieznacznie tak, że można dla tych gazów przyjąć średnie ciepło właściwe, w granicach temperatur spotykanych przeciętnie przy kotłach $180^\circ - 300^\circ C$, jako stałe, wynoszące

$$c_p = 0,30 \text{ kal/m}^3 \left(\frac{0}{760} \right),$$

zaś dla CO_2 odpowiednio do temperatur:

$$c_p' = 0,410 \text{ kal/m}^3 \text{ dla zakresu od } 0^\circ \text{ do } 100^\circ C$$

$$c_p' = 0,424 \quad " \quad " \quad " \quad 100^\circ \quad " \quad 200^\circ C$$

$$c_p' = 0,437 \quad " \quad " \quad " \quad 200^\circ \quad " \quad 300^\circ C$$

wreszcie dla pary wodnej w spalinach, przy tych niskich jej ciśnieniach, ciepło właściwe przyjmuje się jako:

$$c_p'''' = 0,38 \text{ kal/m}^3 \left(\frac{0}{760} \right).$$

Niekiedy przyjmuje się ciepło właściwe spalin, za wyjątkiem pary wodnej, jako jednorodnej całości, a wówczas:

$$S_k = \left[1,867 \frac{c}{b} \cdot 0,32 + \frac{9h + k}{100 \cdot 0,808} \cdot c_p'''' \right] (T - t_1).$$

W sposób przybliżony obliczyć można stratę kominową ze wzoru Siegerta:

$$S_k = 0,65 \cdot \frac{T - t_1}{b} \text{ } \%$$

Spółczynnik 0,65 ma zastosowanie tylko dla przeciętnych gatunków węgla kamiennego; dla torfu, koksu, paliwa płynnego, gazowego i t. p. współczynnik ten ulega odpowiednim zmianom.

W tych wypadkach, gdy analiza wykryła w spalinach obecność tlenku węgla $k_2\%$, objętość gazu, a więc i strata kominowa, zmieni się odpowiednio i obliczyć ją można przy pomocy związku:

$$S_k = \left[\frac{1,867c}{100} \left(\frac{c_p' \cdot b + c_p'' \cdot o + c_p''' \cdot n + c_p'''' \cdot k_2}{b + k_2} \right) + c_p'''' \frac{9h + k}{100 \cdot 0,808} \right] (T - t_1).$$

d) Strata przez nieszczelności. Strata ta stanowi część straty kominowej i jest przez nią objęta, a powstaje ona stąd, że między paleniskiem a wylotem do czopucha istnieje szereg nieszczelności w obmurzu i przy zasuwach, dzięki czemu, wskutek niższego ciśnienia panującego w kanałach dymowych kotła, dostaje się tam powietrze zzewnątrz.

Stratę wywołaną przez nieszczelności znaleźć można w ten sposób, że, na podstawie znanego składu paliwa i przeprowadzonej analizy spalin za paleniskiem, gdzie jednak proces palenia się został już zakończony, oraz przy zasuwie w czopuchu, oblicza się objętość spalin dla tych dwóch miejsc a różnica daje ilość powietrza, która się przedostała zzewnątrz.

Objętość spalin suchych obliczamy ze związku:

$$V_s = 1,867 \frac{c}{b},$$

wstawiając otrzymane z analizy spalin procentowe wartości na b czyli na objętościowy udział w spalinach bezwodnika węglowego.

Strata więc przez nieszczelności wyrazi się w równaniu:

$$S_n = (V_s'' - V_s') c_p (T - t),$$

gdzie pod V_s'' rozumiemy objętość spalin w czopuchu, zaś pod V_s' — za paleniskiem.

W kotłach z płomienicami analizę gazów wykonywa się w tym celu przy wyjściu spalin z płomienic do kanałów dymowych oraz przed zasuwą.

e) Straty przez promieniowanie, przewodzenie i t. p. oznacza się jako resztę do 100% po odjęciu procentowych ilości ciepła: udzielonego parze, straconego przez niezupełne spalanie w popielniku i uniesionego do komina.

4. Sposób przeprowadzenia pomiaru kotła.

Warunkiem nieodzownym otrzymania pewnych i miarodajnych dla sprawności kotła wyników przy pomiarze jest uzyskanie w tym okresie stanu równowagi cieplnej, co się objawi stałością cyfry odparowania, więc stosunku D/B , a następnie stałością ciśnienia i temperatury pary, wody zasilającej i spalin, a także ich składu chemicznego. Im silniejsze są wahania się tych wartości względem średnich, tem w wynikach pomiaru tkwić może większy błąd, tem mniej odpowiadają zebrane spostrzeżenia średnim warunkom pracy kotła.

Pożądane jest przed rozpoczęciem właściwego pomiaru dokonanie krótszego pomiaru wstępnego nietylko, by oznajmić personel pomocniczy

z jego funkcjami i robieniem spostrzeżeń, ale by sprawdzić stan równowagi cieplnej kotła, a dopiero wówczas, gdy wyniki, zależnie od skali naszych wymagań czy potrzeb, uznamy za wystarczające, przystąpić do właściwego pomiaru.

Do najważniejszych należy oznaczanie ilości spalonego węgla i równocześnie odparowanej wody.

a) Oznaczanie ilości spalonego węgla odbywa się przez ważenie, przyczem przy rusztach automatycznych w ten sposób, że do kosza przed paleniskiem wprowadza się stale odważane, mniej więcej te same, ilości węgla, notując czas potrzebny do spalania tego węgla, zaś przy zasilaniu ręcznym waży się poszczególne taczki lub wózki z węglem, dowożonym przed palenisko. Jednocześnie należy zwracać uwagę, by grubość warstwy palącego się węgla nie ulegała większym zmianom i by narzucanie węgla odbywało się możliwie w stałych odstępach czasu.

Co pewien czas odrzuca się drobne ilości węgla w ilości jednej lub dwóch łopat, aby uzyskać materiał na średnią próbkę paliwa do oznaczenia jego wartości opałowej (patrz str. 103). Po wzięciu próbki pozostały węgiel musi być przy obliczeniu rozchodu węgla uwzględniony.

b) Oznaczanie ilości wody wtłaczanej do kotła odbywa się, zależnie od warunków miejscowych: przez mierzenie objętości zasysanej wody przez pompę zasilającą kocioł z dużego, wzorcowanego zbiornika, wypełnionego wodą albo przez stałe wlewanie odważanej wody do małego zbiorniczka, skąd ją czerpie pompa i wprowadza do kotła. Podczas pomiaru należy utrzymywać możliwie stały poziom wody w kotle.

W tych urządzeniach, gdzie badanie kotłów odbywa się często, dobre usługi oddaje urządzenie jak na rys. 84. Zbiornik główny wody połączony jest przy pomocy rury z kurkiem ze zbiornikiem, ustawionym na wadze, z którego woda po odważeniu przepływa do małego zbiornika zasilającego, połączonego z kotłem. W miarę jak z niego odpływa woda do pompy, więc i do kotła, doprowadzamy wodę świeżą ze zbiornika na wadze, aby poziom na początku i końcu pomiaru był ten sam; dla otrzymania podczas pomiaru kontrolnych wartości D/B pożądanem jest by stale poziom ten nie ulegał większym wahanom.

Wszelkie wodomiary do badań ilości tłoczonych do kotła wody nie nadają się, służyć one mogą tylko do bieżącej kontroli ruchu kotłów.

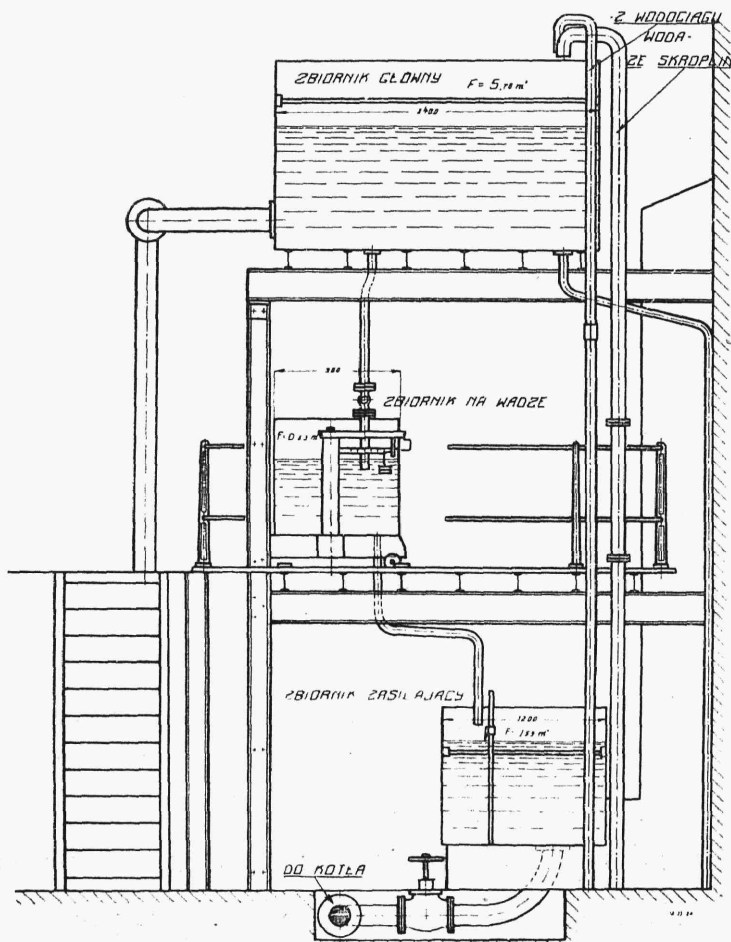
Rurociągi, łączące zbiornik zasilający z kotłami, muszą być szczelne, należy więc wszelkie odgałęzienia i zawory odciąć przy pomocy zaślepek czyli krążków z blachy, włożonych pomiędzy kołnierze rur.

Podczas okresu badania kotła ruch pomp zasilających, o ile są one parowe — zasilanych parą z innych kotłów, powinien być możliwie ciągły i jednostajny, a poziom wody w kotle nie powinien ulegać zmianom.

Aby sprawdzić stan równowagi cieplnej kotła należy wyniki spo-

strzeżeń co do rozchodu węgla i wody ujmować w wykres, jak na rys. 85, a przebieg krzywych i utworzony z nich stosunek $\frac{\Delta D}{\Delta B}$ dla różnych okresów

LABORATORIUM MASZYN POLITECHNIKI WARSZ
URZĄDZENIE DO POMIARU WODY ZASILAJACEJ KOTŁY



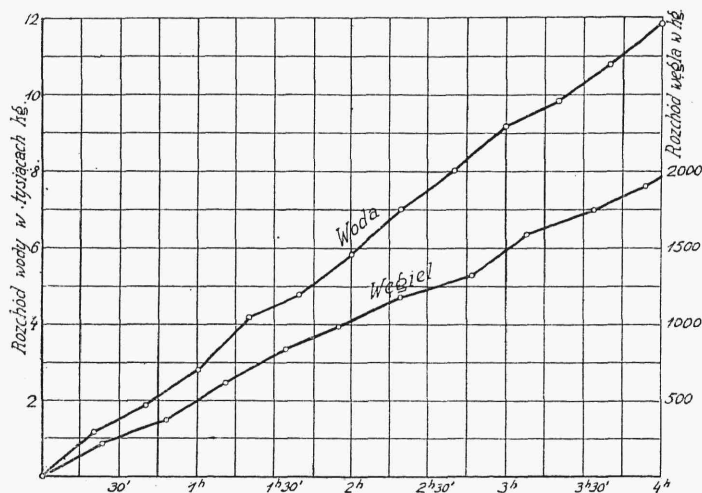
Rys. 84.

pomiaru wykaże czy nastąpiło rzeczywiście ustalenie się równowagi; stosunek ten w tym wypadku powinien być prawie stały,

Używanie injektorów do zasilania kotłów podczas pomiarów nie powinno mieć miejsca, chyba w wypadkach wyjątkowych np. na parowozach, a to z tego powodu, że wyciekanie z nich wody podczas ich uruchamiania a także i normalnego ruchu prowadzi łatwo do błędów

w oznaczeniach, a pozatem i sam proces odbywający się w kotle jest wówczas nieco odmienny, niż przy zasilaniu pompą.

c) Oznaczanie popiołu i żużla odbywa się w ten sposób, że popielnik bezpośrednio przed rozpoczęciem pomiaru całkowicie się



Rys. 85.

oczyszcza, podczas okresu badania popiół i żużel w miarę potrzeby wygarnia się z popielnika, a w chwili zakończenia pomiaru usuwa się resztę pozostałości i łącznie z żużlem, usuniętym z rusztów w okresie badania, razem waży się i notuje.

Usuwanie żużla podczas pomiaru powinno odpowiadać przeciętnym warunkom pracy kotła t. zn., powinno się odbywać możliwie rzadko, jako czynność, przy której następuje niepotrzebne studzenie paleniska, jednak tak często, by ruszty zachowały dostateczną przelotność powietrza, zapewniającą normalny przebieg palenia się.

d) Prężność pary wytworzonej w kotle oznacza się przy pomocy manometru kontrolnego lub zwykłego, lecz wzorcowanego, zaś temperaturę pary przy pomocy termometru rtęciowego lub termoelektrycznego (żelazo-konstantan).

Do ciśnienia odczytanego na manometrze, jako do nadciśnienia, dodać należy ciśnienie atmosferyczne, które wyrażone w atmosferach będzie $\frac{b \text{ mm Hg}}{737,4}$, gdzie b oznacza chwilowy stan barometru przy 15°C , zaś $737,4 \text{ mm Hg} = 1 \text{ at}$ również przy 15°C .

O ile do odczytywania temperatury, która mierzy się bezpośrednio za przegrzewaczem, stosowane są termometry rtęciowe, muszą być one

wzorcowane, bo w tych granicach temperatur najlepsze termometry ulegają trwałym zmianom, a różnice w spostrzeżeniach dochodzić mogą do kilkunastu stopni. Tulejka, w którą wkłada się termometr, powinna być dokładnie oczyszczona ze skoksowanego oleju i wypełniona świeżym smarem na wysokie temperatury lub opiłkami metalowymi.

Odczytywanie ciśnień i temperatur odbywać się powinno co 10—15 min., przytem spostrzeżenia nie powinny zawsze przypadać na czas narzucania węgla, ale na różne okresy i stany w palenisku. To samo tyczy się spostrzeżeń co do temperatury w czopuchu, składu spalin i ciągu w kotle.

W tych wypadkach, gdy kocioł nie posiada przegrzewacza i wytwarza parę nasyconą, panuje przy oznaczaniu stanu pary niepewność co do jej wilgotności, która, zależnie od obciążenia powierzchni ogrzewanej i systemu kotła pod względem stosunku ilości produkowanej pary do wielkości zwierciadła wody, waha się od 0,98—0,94. Stan wilgotności pary oznaczyć można przy pomocy kalorymetru dławiącego parę (patrz str. 176.)

e) Temperaturę spalin oznacza się przy pomocy pyrometrów termoelektrycznych, wykonanych jako ogniwa żelazo-konstantan. Stosowanie pyrometrów rtęciowych mniej się do tego celu nadaje wobec temperatur spalin w czopuchu, dochodzących do 400° C, a, w specjalnych wypadkach, nawet i wyższych. Miejsce spojenia ogniwa termoelektrycznego sięgać powinno tak głęboko w kanał dymowy przed zasuwą, by znajdowało się ono w środku przekroju kanału, przyczem sposób umieszczenia pyrometru powinien być tego rodzaju, by dopływ zimnego powietrza przez nieszczelności zasuwy w czopuchu nie miał wpływu na wskazania pyrometru. Otwór w sklepieniu, przez który wsuwa się pyrometr, uszczelnąć należy azbestem, końcami bawełnianymi i gliną.

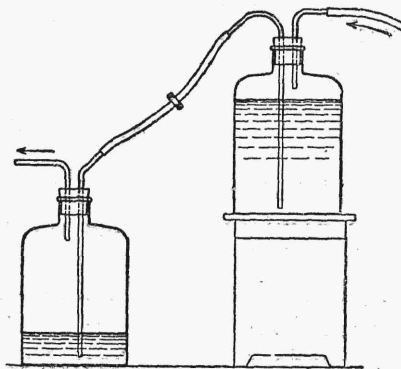
Spostrzeżenia robić należy co 10—15 minut przy tych samych zastrzeżeniach co i pod d), by odczytywane na pyrometrze temperatury przypadały na różne okresy procesu odbywającego się w palenisku.

f) Skład chemiczny spalin oznacza się przez analizę w aparacie Orsata lub podobnym (patrz rys. 76). Ponieważ skład spalin zmienia się w związku z chwilowym stanem paleniska, przymknięciem zasuwy kominowej i t. p., więc, aby uzyskać średni skład spalin, wskazane jest stałe powolne czerpanie spalin do aspiratora, [którym może być szczelne szklane naczynie lub blaszany zbiornik, powypełniane wodą, nasyconą poprzednio bezwodnikiem węglowym. Strumień odpływającej z aspiratora wody tak dobieramy, by otrzymać próbkę spalin z dłuższego, stanowiącego pewną całość, okresu. Dwie—trzy analizy tak zebranych spalin dają rzeczywiście, w razie zgodności wyników, wartość średniego ich składu. Aby móc użyć ponownie wody nasyconej już bezwodnikiem węglowym, stosuje się chętnie kolejno na zmianę zbiorniki podwójne (patrz rys. 86).

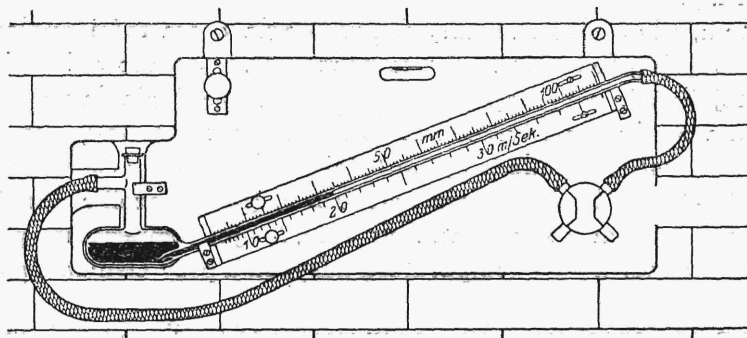
Po za czerpaniem średniej próbki do aspiratora należy co 20 — 30 minut dokonywać bieżącej analizy spalin, co, w związku ze stanem w danej chwili ciągu, pozwala nam ustalić warunki racjonalnego prowadzenia procesu spalania w palenisku. W ten sposób znaleziony skład spalin jest funkcją ciągu, grubości warstwy paliwa i stadjum jego przepalenia się na rusztach.

Gdy czerpiemy spaliny do analizy z płomienicy należy używać do tego rurek porcelanowych, gdyż rurki żelazne, przy wysokiej tampanującej temperaturze, o ile jest w spalinach tlenek węgla, mogą wpłynąć na skład chemiczny próbki.

g) Ciąg w kotle za paleniskiem i przed zasuwą jest w danych warunkach miarą dopływu powietrza i oporów przepływu przez warstwę paliwa na rusztach. Oznacza się go za pomocą rurki szklanej zgiętej w kształcie litery U, napełnionej wodą zabarwioną fuksyną (piezometr)



Rys. 86.



Rys. 87.

i przyłączonej jednym ramieniem, przy pomocy węża gumowego i żelaznej rurki przechodzącej przez obmurze kotła, do paleniska lub do kanału dymowego przed czopuchem. Ponieważ mamy tu do czynienia z niewielkimi różnicami poziomów wody w rurek stosuje się z dobrym skutkiem t. zw. ciągomierze lub pneumometry, które posiadają jedno ramie nachylone do poziomu pod pewnym kątem, dzięki czemu, przy tych samych różnicach ciśnień, przesunięcie meniska cieczy jest, liczone linjowo wzdłuż pochyłonego ramienia rurki, dłuższe w stosunku do $1/\sin \alpha$ (patrz rys. 87). Aby różnice poziomów zwiększyć stosuje się pozatem zamiast wody ciecz lżejszą, zazwyczaj alkohol o ciężarze gatunkowym 0,8, co, oczywiście,

w rachunku uwzględnić należy lub odpowiednio dobrać podziałkę na ciąg mierzu.

Rurka żelazna, która przechodzi przez obmurze kotła, sięgać powinna w głąb kanału dymowego i posiadać wylot zwrócony nie przeciw prądowi gazu.

5. Bilans cieplny kotła parowego.

Jeżeli stan układu, jakim w danym wypadku jest kocioł parowy, podczas pomiaru nie ulega zmianie, jeżeli stan obmurza, wody w kotle i t. p. pod względem swego zasobu ciepła nie zmienia się, dostarczone w postaci paliwa do paleniska ciepło zostaje, w przypadku ogólnym, w następujący sposób zużytkowane: część ciepła ogrzewa w podgrzewaczu (economiser) wodę zasilającą kocioł, część zamienia tę wodę w kotle na parę nasyconą, część wreszcie — przegrzewa wytworzoną parę w przegrzewaczu. Reszta ciepła zawartego w paliwie jest bezpośrednio dla procesu stracona, bo przechodzi do popielnika w postaci niespalonego węgla lub, nie wywiązując się wskutek niezupełnego spalania się paliwa na tlenek węgla lub metan, uchodzi do komina w postaci gorących spalin, wreszcie wypromieniowuje i t. p.

Zatem, gdy doprowadzamy B kg/h węgla o wartości opałowej użytecznej W_u kcal/kg (patrz str. 103), to iloczyn $B \cdot W_u$ stanowi 100% bilansu.

Z tej ilości, przy odparowaniu D kg/h, część ciepła zużywamy na ogrzewanie wody w podgrzewaczu od temperatury t_0 do t_2 , dostarczając jej $D (t_2 - t_0)$ kcal/h, w kotle przy wartości ciepłota pary i kcal/kg zużytkowujemy $D (i - t_2)$ kcal/h i w przegrzewaczu $D c_p (t - \vartheta)$, jeżeli c_p jest średnim ciepłem właściwym pary (patrz str. 175), t — jej temperaturą po wyjściu z przegrzewacza, a ϑ — temperaturą nasycenia przy ciśnieniu panującym w kotle.

Wartość i oznaczamy albo z wykresów IS ¹⁾ albo ze związku dla pary przegrzanej:

$$i = 594,7 + 0,477 t - \mathfrak{S} p^1)$$

Zatem pozycje dodatnie bilansu będą:

$$\frac{D (t_2 - t_0)}{B W_u} 100\%; \quad \frac{D (i - t_2)}{B W_u} 100\%; \quad \frac{D \cdot c_p (t - \vartheta)}{B W_u} 100\%.$$

Pozostała ilość ciepła jest stracona i jak wspomniane wyżej częściowo w popielniku jako

$$\left(\frac{P_0}{B} - P \right) W_u \text{ kcal,}$$

¹⁾ B. Stefanowski. Termodynamika techniczna. 1923.

w postaci wydzielonej sadzy w ilości C , kg/m^3 spalin, co stanowi

$$V_s \cdot C_s \cdot 8080 \text{ kal},$$

wreszcie przez niezupełne spalanie się tlenku węgla i metanu, których udział w spalinach stwierdzono jako $co\%$ i $mt\%$, co stanowi

$$V_s \left(\frac{co \cdot 2800}{100} + \frac{mt \cdot 7820}{100} \right) \text{ kal},$$

częściowo zaś pójdzie do komina unosząc ciepła

$$V_s \cdot c_p \cdot (T - t_1) \text{ kal/kg}.$$

Reszta stanowić będzie straty wskutek promieniowania, przewodzenia i t.p. oraz mieścić będzie także błędy doświadczenia.

Zestawiając więc bilans cieplny kotła otrzymamy:

Dostarczono w 1 kg paliwa: $W_u \text{ kal/kg}$ 100%

Zużytkowano w podgrzewaczu:

$$\frac{D (t_2 - t_0)}{B} \text{ kal} \quad \frac{D (t_2 - t_0)}{B W_u} 100\%$$

w kotle:

$$\frac{D (i - t_2)}{B} \text{ kal} \quad \frac{D (i - t_2)}{B W_u} 100\%$$

w przegrzewaczu:

$$\frac{D (t - \vartheta) c_p}{B} \text{ kal} \quad \frac{D (t - \vartheta) c_p}{B W_u} 100\%$$

Stracono w popielniku:

$$\left(\frac{P_0}{B} - P \right) W_u \text{ kal} \quad \left(\frac{P_0}{B} - P \right) 100\%$$

w sadzy:

$$V_s \cdot C_s \cdot 8080 \text{ kal} \quad \frac{V_s \cdot C_s \cdot 8080}{W_u} 100\%$$

w niespalonych gazach:

$$V_s \left(\frac{co \cdot 2800}{100} + \frac{mt \cdot 7820}{100} \right) \text{ kal} \quad \frac{V_s (co \cdot 2800 + mt \cdot 7820)}{W_u} 100\%$$

w kominie:

$$V_s \cdot c_p (T - t_1) \text{ kal} \quad \frac{V_s \cdot c_p (T - t_1)}{W_u} 100\%$$

Promieniowanie i t. p. stanowi resztę.

Razem	$W_u \text{ kal}$	100%
-------	-------------------	------

Przykład.

dn. 7.II.1925.

Badanie kotła z dwiema płomienicami (Cornwall) w ABC.

Stan barometru $b=750 \text{ mmHg}$. Średnia temperatura kotłowni $t_0 = 25^\circ\text{C}$.
 Powierzchnia ogrzew. kotła $H_k = 64,6 \text{ m}^2$. Powierzchnia rusztu $R = 1,9 \text{ m}^2$.

Powierzchnia ogrzewana przegrzewacza $H_p = 20,0 \text{ m}^2$.Użyteczna wartość opałowa węgla $W_u = 7040 \text{ kcal/kg}$.

Skład chemiczny węgla: $c=78,0\%$, $h=4,1\%$, $o=1,0\%$, $s=1,0\%$, $n=0,9\%$,
 wilgotność $k=12,3\%$, popiół $P=2,7\%$.

Paleniska płaskie zasilane ręcznie.

Pomiar został rozpoczęty przy stanie równowagi urządzenia o godzinie 3^{00} , zakończony przy takim samym stanie paleniska i poziomu wody o 7^{03} .

Rozchód węgla i wody ujmuje następująca tablica:

Rozchód węgla			Rozchód pary		
Czas	Węgiel w kg	B kg/h	Czas	Woda w kg	D kg/h
3 00	—		3.00	—	
3.25	111		3.32	981	
4.03	169	267	4.00	841	1833
4.30	120		4.33	970	
4 55	118	275	5.00	871	1826
5.25	134		5.31	959	
6.00	153	265	6 01	911	1825
6.34	148		6.29	909	
7.03	128	259	7.01	951	1835
Razem 243'	1081		Razem 241'	7393	

Zatem

$$B = \frac{1081}{243} 60 = 267 \text{ kg/h}$$

zaś

$$D = \frac{7393}{241} 60 = 1831 \text{ kg/h.}$$

Żużla i popiołu wytworzono w palenisku w godzinę:

$$P_0 = 13,2 \text{ kg/h.}$$

Pozostałe spostrzeżenia ujęte są w następującą tabelę:

Czas	Skład spalin						Temper. spal. przed zasuwą $T^{\circ}\text{C}$	Ciąg		Para		Temperatura wody zasilają- cej t_0	Uwagi
	U wylotu płomienie			W czopuchu				w pale- niku	przed zasuwą	pręż- ność p	tempe- ratura t		
	$b=\text{CO}_2$ o/o	$o=\text{O}_2$ o/o	$co=\text{CO}$ o/o	$b=\text{CO}_2$ o/o	$o=\text{O}_2$ o/o	$co=\text{CO}$ o/o							
3.00	—	—	—	—	—	—	352	7,7	14,0	11,5	300	39	Szla- kowa- nie
3.20	10,6	8,6	0	10,1	9,0	0,7	340	7,4	11,3	11,7	313	39	
3.40	11,2	8,2	0	10,5	9,2	0,1	310	7,4	11,5	11,5	304	44	
4.00	12,2	7,2	0	—	—	—	340	9,9	15,8	11,6	303	44	
4.20	11,2	8,4	0,1	10,2	9,3	0,1	380	10,4	15,6	11,3	320	39	
4.40	10,8	8,4	0	—	—	—	270	7,4	11,6	10,8	297	36	
5.00	10,7	8,4	0,3	9,0	11,0	0,2	375	10,4	17,0	11,6	313	36	
5.20	11,5	8,1	0,2	—	—	—	395	13,8	22,3	11,5	329	33	
5.40	11,5	8,3	0	7,8	11,7	0,2	356	10,9	17,5	11,8	321	36	
6.00	11,5	8,3	0	9,5	10,2	0,2	355	9,9	15,9	11,5	323	40	
6.20	—	—	—	9,5	10,4	—	390	10,5	17,1	11,6	313	35	
6.40	11,1	8,7	0,1	9,7	10,6	0,1	385	13,1	20,6	11,5	323	35	
Śred- nio	11,23	8,26	0,07	9,54	10,18	0,2	354,5	9,9	15,85	11,49	313,3	38	

Prężność bezwzględna:

$$p = 11,49 + \frac{750}{737,4} = 12,54 \text{ at}$$

Na podstawie zebranych spostrzeżeń oblicza się:

1. Ciepło dostarczone przez kocioł parze: ciepłik całkowity pary z wykresu IS lub ze wzoru Mollier-Callendara:

$$i = 594,7 + 0,477 t - 3p = 594,7 + 0,477 \cdot 313,3 - 0,57 \cdot 12,54$$

$$i = 737,1 \text{ kal/kg.}$$

Wobec temperatury wody zasilającej kocioł $t_0 = 38^\circ$, ciepło przejęte przez 1 kg pary:

$$i - t_0 = 737,1 - 38 = 699,1 \text{ kal/kg,}$$

zatem

$$D(i - t_0) = 1831 \cdot 699,1 = 1\,280\,000 \text{ kal/h}$$

2. Ciepło dostarczone do paleniska:

$$B \cdot W_u = 267 \cdot 7040 = 1\,880\,000 \text{ kal/h}$$

3. Sprawność ogólna urządzenia:

$$\eta_0 = \frac{D(i - t_0)}{B \cdot W_u} = 0,681 \quad \text{czyli } 68,1\%$$

4. Odparowanie:

$$\frac{D}{B} = \frac{1831}{267} = 6,86 \text{ kg/kg}$$

5. Natężenie powierzchni ogrzewanej:

$$\frac{D}{H} = \frac{1831}{64,6} = 28,3 \text{ kg/m}^2$$

6. Natężenie powierzchni rusztów:

$$\frac{B}{R} = \frac{267}{1,9} = 140,5 \text{ kg/m}^2$$

7. Strata wskutek niezupełnego spalania:

a) w popielniku:

$$S_p = \left(\frac{P_o}{B} - P \right) W_u = \left(\frac{13,2}{267} - 0,027 \right) 7040 = 158 \text{ kal/kg}$$

czyli
$$\frac{158}{7040} \cdot 100 = 2,2\%$$

b) na sadzę: w 1 m^3 spalinsuchych znaleziono sadzy $C_s = 0,000213 \text{ kg/m}^3$, zatem, wobec tego że objętość opalin wytworzonych z 1 kg paliwa wynosi:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{c}{100} \cdot 1,867 \left(1 + \frac{o}{b} + \frac{n}{b} \right) + \frac{9h + k}{0,808} = \\ &= 0,78 \cdot 1,867 \left(1 + \frac{10,18}{9,54} + \frac{80,26}{9,54} \right) + \frac{9 \cdot 0,041 + 0,123}{0,808} \\ V_s &= 15,85 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

strata wskutek wydzielenia sadzy będzie:

$$S_s = C_s \cdot V_s \cdot 8080 = 0,000213 \cdot 15,85 \cdot 8080 = 27,2 \text{ kcal/h}$$

czyli
$$\frac{27,2}{7040} \cdot 100 = 0,4\%$$

c) przy niezupełnym spaleniu się węgla na CO :

$$S_{co} = V_s \cdot \frac{co \text{ } \%}{100} \cdot 2800 = 15,85 \cdot 0,002 \cdot 2800 = 88,8 \text{ kcal/kg}$$

czyli
$$\frac{88,8}{7040} \cdot 100 = 1,3\%$$

8. Sprawność paleniska:

$$\begin{aligned} \eta_p &= \frac{W_u'}{W_u} = \frac{W_u - (S_p + S_s + S_{co})}{W_u} = \frac{7040 - 274}{7040} \\ \eta_p &= \frac{6766}{7040} = 0,96 \quad \text{czyli } 96\% \end{aligned}$$

9. Sprawność powierzchni ogrzewanej:

$$\eta_H = \frac{\eta_o}{\eta_p} = \frac{0,681}{0,96} = 0,71 \quad \text{czyli } 71\%$$

10. Strata kominowa.

a) Po wstawieniu wartości do wzoru podanego poprzednio:

$$S_k = \left[\frac{1,867}{100} c \left(c_p' + \frac{a}{b} c_p'' + \frac{n}{b} c_p''' \right) + c_p'''' \frac{9h + w}{100 \cdot 0,808} \right] (T - t_1)$$

otrzymujemy:

$$S_k = \left[\frac{1,867 \cdot 78}{100} \left(c_p' + \frac{10,18}{9,54} c_p'' + \frac{80,26}{9,54} c_p''' \right) + c_p'''' \frac{9 \cdot 0,041 + 0,123}{0,808} \right] (354,5 - 25)$$

$$S_k = 1640 \text{ kal/kg} \quad \text{czyli} \quad \frac{1640}{7040} \cdot 100 = 23,3\%$$

b) używając do obliczenia straty kominowej wzoru, w którym przyjęta jest jednakowa wartość ciepła właściwego dla wszystkich składników gazowych, mianowicie 0,32, otrzymujemy

$$S_k = \left(1,867 \frac{c}{b} \cdot 0,32 + \frac{9h + k}{100 \cdot 0,808} \cdot 0,48 \right) (T - t_1)$$

$$S_k = \left(1,867 \frac{0,78}{0,0954} \cdot 0,32 + \frac{9 \cdot 0,041 + 0,123}{0,808} \cdot 0,48 \right) (354,5 - 25)$$

$$S_k = 1740 \text{ kal/kg} \quad \text{czyli} \quad \frac{1740}{7040} \cdot 100 = 24,7\%$$

c) według wzoru Siegerta otrzymujemy w procentach:

$$S_k = 0,65 \frac{T - t_1}{b\%} = 0,65 \frac{354,5 - 25}{9,54} = 22,0\%$$

11. Stratę wskutek niszczenia obmurza obliczamy, oznaczając ciepło unoszone do komina przez różnicę objętości spalin przy wejściu do czopucha i przy wyjściu z płomienic; tę ostatnią wartość oblicza się na zasadzie składu chemicznego spalin podobnie jak poprzednio:

$$S_o = (V_s - V'_s) c_p (T - t_1) = 0,286 (15,85 - 13,47) (354,5 - 25)$$

$$S_o = 225 \text{ kal/kg} \quad \text{czyli} \quad \frac{225}{7040} \cdot 100 = 3,2\%$$

12. Spółczynnik nadmiaru powietrza:

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{a}{n}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{10,18}{80,25}} = 1,563$$

Na podstawie obliczonych w ten sposób wartości zestawiamy bilans ciepła w odniesieniu do 1 kg węgla:

1. Dostarczono do paleniska ciepła W_u <i>kal</i>	7040	<i>kal</i>	100	$\frac{\circ}{\circ}$
2. Para przejęła $\frac{D}{B} (i - t_o)$ <i>kal/kg</i>	4790	<i>kal</i>	68,1	$\frac{\circ}{\circ}$
3. Straty wskutek niepełnego spalania:				
a) strata w popielniku	158,0	<i>kal</i>	2,2	$\frac{\circ}{\circ}$
b) strata przez sadzę	27,2	<i>kal</i>	0,4	$\frac{\circ}{\circ}$
c) strata wskutek niespalonego CO	88,8	<i>kal</i>	1,3	$\frac{\circ}{\circ}$
4. Strata kominowa:				
a) właściwa strata	1415	<i>kal</i>	20,1	$\frac{\circ}{\circ}$
b) strata przez nieszczelności	225	<i>kal</i>	3,2	$\frac{\circ}{\circ}$
5. Promieniowanie i t. p.	336	<i>kal</i>	4,7	$\frac{\circ}{\circ}$
Razem	7040	<i>kal</i>	100	$\frac{\circ}{\circ}$

II. Badanie parowej maszyny tłokowej.

1. Uwagi ogólne.

Badanie parowego silnika tłokowego czyli t. zw. maszyny parowej może mieć na celu oznaczenie jej mocy i rozchodu pary, poszczególnych strat cieplnych czyli t. zw. bilansu, sprawdzenie stanu jej organów rozrząd-
czych i tłoka oraz zdolności regulacyjnej, pozatem badania mogą mieć na
celu rozwiązywanie zagadnień naukowych.

Każde badanie należy dostosować nie tylko do jego celu, ale także do warunków, w których się ono odbywa i do typu silnika. Wszystkie te badania, podczas których odbywa się oznaczanie rozchodu pa-
ry lub strat cieplnych, wymagają stanu równowagi maszyny, t. zn. stanu, podczas którego jej obciążenie, temperatury i ciśnienia pary nie podlegają
silniejszym wahaniom, których dopuszczalne granice zależą od żądanego stopnia dokładności pomiaru, a więc od jego celu.

Czas trwania pomiaru może być tem krótszy im stan równowagi jest lepszy. Długość tego okresu zależy także od metody stosowanej do oz-
naczania rozchodu pary, przy oznaczaniu go przy pomocy skraplania pary w skraplaczu powierzchniowym i przy stałym obciążeniu, wyniki dostatecz-
nie dokładne otrzymać można już po upływie godzinowego pomiaru, w in-
nych wypadkach okres ten może się przeciągnąć do 6, a nawet 12 godzin.

Częstość robionych spostrzeżeń również zależy od wahań w odczy-
tywanych wielkościach i od wymaganej dokładności pomiaru, przy dokład-
nych a względnie krótko trwających badaniach odczytuje się wszelkie cha-
rakteryistyczne wartości co 5—10 minut, przy pomiarach dłuższych co