

VI. Wykorzystanie ciepła odpadowego silników.

1. Wykorzystanie pary odlotowej silników parowych.

Para odlotowa silników parowych już po zupełnem rozprężeniu, choćby nawet do ciśnienia w skraplaczu, unosi ze sobą z silnika około 60% ciepła doprowadzonego do niej w postaci paliwa. Wykorzystanie ciepła tkwiącego w parze odlotowej posiada więc zrozumiałe znaczenie gospodarcze, a ciepło to może być użytkowane przez zakład przemysłowy do celów grzejnych zamiast ciepła doprowadzanego zzewnątrz w parze świeżej lub w innej formie.

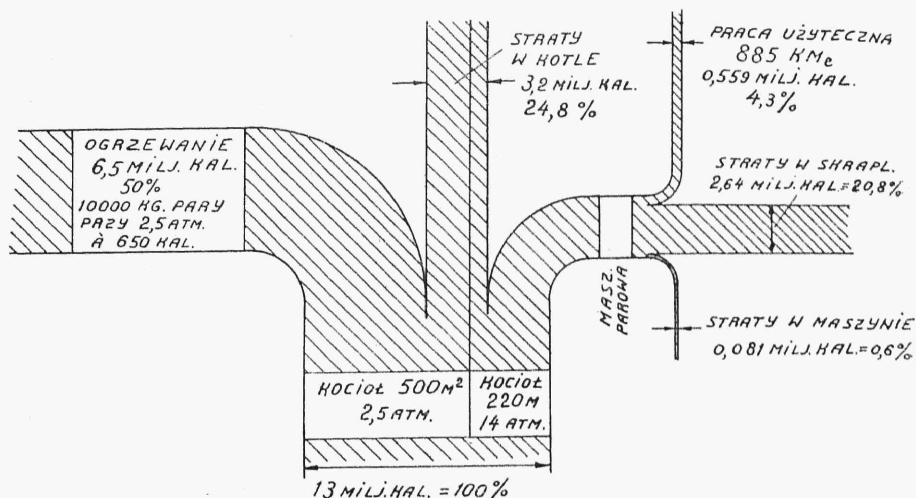
Zasada ta, tak oczywista, znana jest od bardzo dawna, w przemyśle, cukrowniczym już w drugiej połowie ubiegłego wieku stosowano parę odlotową z silników do warzenia soku cukrowego, jednak dopiero na przełomie dwudziestego stulecia zasada ta doznała szerszego zrozumienia, gdy silnikowi parowemu wypadło stoczyć walkę z rywalami z postaci innych silników. Pod wpływem nacisku gospodarczego chęć użytkowania ciepła odlotowego przenika coraz szersze koła techników i prowadzi do łącznego traktowania wytwarzania energii do celów napędowych i ciepła do celów grzejnych, a więc do szukania najlepszego rozwiązania dla całości urządzeń ciepłowniczych.

Poprzednio do wytwarzania energii stosowany był ogólnie silnik ze skraplaczem pary, dający jak najmniejszy rozchód pary, natomiast ciepła do celów grzejszych dostarczała para świeża, pobierana wprost z osobnych kotłów. Ponieważ ze względu na wymiary przewodów parowych zazwyczaj produkowaną była para wysokoprężna, więc w miejscu zapotrzebowania dławiono ją ze znacznymi stratami na niskie ciśnienie wtzw. zaworach reducyjnych. Dziś dąży się do tego, by zamiast tych zaworów stosować silnik parowy, w którym ciśnienie pary się obniża, ale przy jednoczesnem wykonywaniu pracy, a para po jego przejściu użytą być może, jak poprzednio, do celów grzejnych.

Jakie korzyści daje takie połączenie wytwarzania energii mechanicznej z ogrzewaniem, niech zailustruje następujący przykład (rys. 24): w urządzeniu fabrycznem ma być wytworzone 885 KM_e oraz dostarczone 6,5 milionów kalorii do celów ogrzewniczych przy ciśnieniu 2,5 at abs. W tym celu w kotłowni czynne są dwa kotły, jeden na 500 m² powierzchni ogrzewalnej i 2,5 at abs oraz drugi, dostarczający pary o ciśnieniu 14 at abs do silnika i posiadający powierzchnię ogrzewalną 220 m². Licząc się ze stratami, obydwie kotły muszą otrzymać z zewnątrz 13 milionów kalorii.

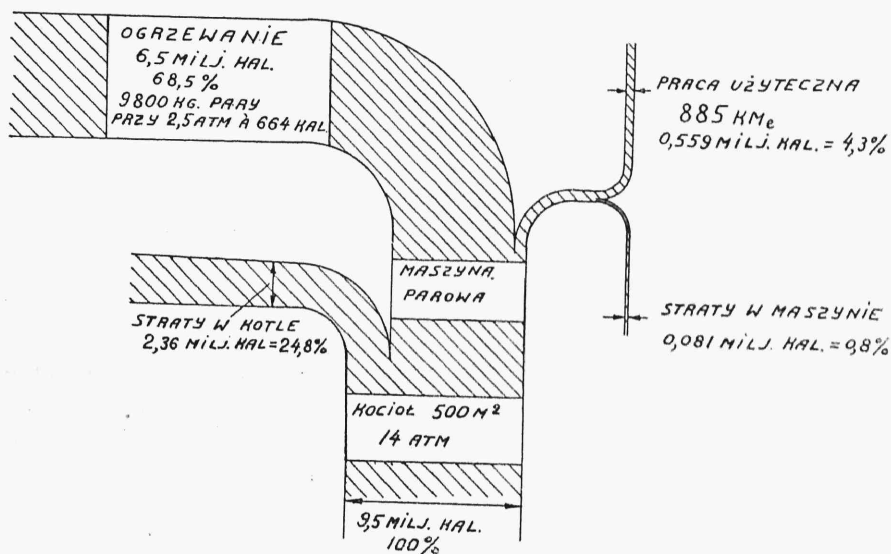
Jeżeli jednak, zamiast ekonomicznej pracy silnika ze skraplaczem, zastosujemy pracę z przeciwciskiem 2,5 at abs, i parę wylotową skierujemy do celów ogrzewniczych, pokaże się, że wprawdzie rozchód pary

w silniku wzrośnie, ale ogólne zapotrzebowanie ciepła do obu celów zmniejszy się, gdyż zamiast 13 milionów kalorii wystarczy wytworzyć



Rys. 24.

9,5 mil., a w związku z tym i powierzchnia potrzebnych kotłów zmniejszy się z 720 m² do 500 m² (patrz rys. 25).



Rys. 25.

Ciepło w technice stosowane bywa, po za wytwarzaniem energii, do:

- odparowania ciał stałych w zamkniętych naczyniach (celuloza, szmaty, kości i t. p.),

b) warzenia cieczy do celów fabrykacyjnych (sok cukrowy, solanka i t. p.),

c) podgrzewania cieczy (farbiarstwo, rozcieńczanie chemikaliów, ogrzewanie wodne i t. p.),

d) ogrzewania powietrza (ogrzewnictwo, suszarnictwo i t. p.).

Zależnie od potrzebnego przy ogrzewaniu ciśnienia czy temperatury, odprowadza się z maszyny parę przy pewnej próżni, mamy wówczas maszyny ze skraplaczem, przy ciśnieniu atmosferycznym — maszyny wydmuchowe lub przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego — maszyny z przeciwpnęnością.

Jeżeli ciepło skraplania pary (parowania wody), uchodzące z cylindra do skraplacza, by tam być zniszczonem, zostanie na drodze między cylindrem i skraplaczem zużytkowane w podgrzewaczu wody czy powietrza, stanowi to będzie bezsporny zysk, gdyż związane z tym lekkie podniesienie ciśnienia w skraplaczu wywrze znikomy wpływ na rozchód pary w silniku.

Możliwość wyzyskania ciepła pary o ciśnieniu niższym od atmosferycznego zachodzi jednak tylko wtedy, gdy potrzebujemy bądź powietrza, bądź wody o temperaturze średniej, gdyż temperatura pary odlotowej jest niska i w następujący sposób zależna od jej ciśnienia:

<i>p at abs</i>	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
<i>t° C</i>	45,6	53,7	59,8	64,6	68,7	75,5

Tu jednak należy także uwzględnić konieczny spadek temperatury przy przenikaniu ciepła przez powierzchnie grzejne.

Woda ogrzana przez parę o niższym od atmosferycznego ciśnieniu nadaje się do mycia, kąpania i t. p., zaś nagrzane powietrze w ten sposób służyć może do ogrzewania pomieszczeń przy temperaturach zewnętrznych wyższych nieco od 0° C.

Przy takim urządzeniu 1 kg pary, uchodzącej do skraplacza przy prężności 0,2 at, może ogrzać 50 kg powietrza od + 10° do + 50° C, przy czem wilgotność jego zmniejszy się z 80% do 12%.

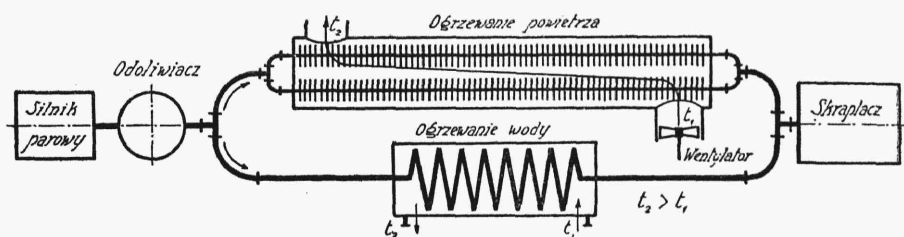
Schemat urządzenia do wyzyskania ciepła pary uchodzącej do skraplacza jest taki, jak na rysunku 26.

Włączenie podgrzewaczy wpływa nieznacznie na podniesienie przeciwpnęności, co szczególnie u silników tłokowych, które już w swym założeniu nie mogą wyzyskać dużej próżni z powodu wymiarów cylindra i organów wypustowych, nie odbija się niemal na rozchodzie pary. Turbiny są wrażliwsze pod tym względem, lecz w wypadkach, gdy zapotrzebowa-

nie ciepła jest w stosunku do oddawanej pracy znaczne, metoda ta może się okazać korzystną.

Przy podniesieniu przeciwcisnienia maszyny w celu wyzyskania ciepła pary odlotowej, wobec tego, że rozchód pary w porównaniu z maszyną ze skraplaczem wzrośnie mniej więcej w stosunku spadów adiabatycznych ciepła, korzyści tej metody tylko wtedy będą oczywiste, gdy cała ilość pary odlotowej zostanie zużyta do ogrzewania — zamiast pary świeżej. W tym wypadku zużytkowanie ciepła pary dolotowej do pracy i do ogrzewania, dojdzie do 100% a rozchód pary na koniagodzine wyniesie, po odjęciu ciepła odlotowego, jako pozycji dodatniej, tylko 632 kcal czyli około 1 kg pary, co najlepiej ilustruje przykład przytoczony na str. 52 (rys. 25).

W tych natomiast wypadkach, gdy zapotrzebowanie pary do celów grzejnych jest mniejsze od ilości pary odlotowej, a więc, gdy jej część musi być wypuszczana w powietrze, w tych wypadkach korzyści nie są tak oczywiste i należy warunki te bliżej rozpatrzyć.



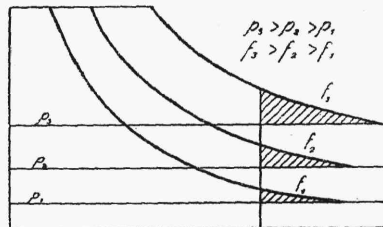
Rys. 26.

Przez zwiększenie przeciwcisnienia wzrasta rozchód pary, jednocześnie przez użycie pary odlotowej z maszyny do celów grzejnych oszczędza się na parze świeżej, używanej do tego celu. Chcąc więc wyciągnąć słuszne wnioski należy obie te pozycje, odpowiednio wyliczone, ze sobą zestawiać.

Przyrost rozchodu pary przy powiększaniu przeciwcisnienia w parowym silniku tłokowym rzeczywistym jest niemal proporcjonalny do przyrostu rozchodu ciepła w silniku doskonałym, pracującym w tych samych warunkach. Stąd z wykresu IS , uwzględniając zmianę przeciwcisnienia, bez trudności znaleźć można procentowe zwiększenie się rozchodu pary silnika teoretycznego, a więc i silnika rzeczywistego.

Rozpatrując te zmiany dla różnych ciśnień zauważymy, że rozchód pary pod wpływem przyrostu przeciwcisnienia dla silnika tłokowego jest stosunkowo nieznaczny i będzie tem mniejszy, im większe jest ciśnienie dolotowe pary. Tu właśnie występuje zaleta silników parowych wysokoprężnych, które pozwalają podnieść przeciwcisnienie w dużych granicach bez obawy wzrostu rozchodu pary. W każdym razie należy wielkość

ciśnienia odlotowego utrzymywać na możliwie niskim poziomie i bez potrzeby, jak to się niestety przeważnie dzieje, nie podnosić go, tembardziej, że w związku z tym wzrastać będą straty wskutek niezupełnego rozprężania się pary w cylindrze. Mianowicie, jeżeli silnik ma dawać tę samą moc, to różnym przeciwcisnieniom odpowiadać będzie różny stopień napełnienia cylindra, a więc przy większym przeciwcisnieniu większe będą straty wskutek niezupełnego rozprężania się pary (rys. 27).



Rys. 27.

Zależnie więc od wielkości przeciwcisnienia rozchód pary się zmieni, a zatem przesunie się graniczna wartość koniecznego minimum pary odlotowej, które musi być zużyte do ogrzewania, aby ruch silnika, jako grzejnego z przeciwcisnieniem, stał się rentownym. Zazwyczaj zużytkowanie już około 40% pary odlotowej silnika do celów ogrzewniczych wystarcza by, nawet przy wypuszczaniu reszty pary w powietrze, zrównoważyć skasowanie ogrzewania świeżą parą; w miarę procentowego wzrostu zapotrzebowania pary rentowność się zwiększa, osiągając swe maximum przy 100% zużytkowania pary odlotowej, gdyż wówczas sprawność ogólna wyzyskania ciepła pary przekroczy 90%.

Zamiana ruchu ze skraplaczem na ruch z przeciwpnęnością w silnikach tłokowych jest prawie zawsze możliwa bez zmian samego silnika, o ile tylko organy rozrządzące pozwalają na takie zwiększenie napełnienia, któreby zrównoważyło wzrost ciśnienia odlotowego i pozwoliło na rozwinięcie tej samej mocy, pozatem wymaga silnik intensywniejszego smarowania cylindra wskutek wyższej temperatury ścianek oraz odoliwiania pary.

Obecność w parze odlotowej smarów, pochodzących stąd, że tłoki silników, pras, młotów muszą być smarowane, jest nader niepożądana, bo smar, osadzając się na przewodach, niejednokrotnie w miejscach niedających się oczyścić, nie tylko zwęża przekroje przepływu pary i wywołuje nadżarcia metalu, ale przede wszystkim utrudnia, a niekiedy wręcz uniemożliwia, przenikanie ciepła przez obłożone skoksowanym smarem powierzchnie grzejne. Dlatego starać się należy o możliwie dokładne odoliwianie pary odlotowej, tembardziej zresztą, że tą drogą można odzyskać z powrotem do 80% smarów, które po oczyszczeniu mogą być ponownie użyte do podrzędnych celów.

Odoliwianie, następujące w t. z. odoliwiaczach, polega na tem, że strumień pary ze smarami jest odchylany od swego kierunku, dzięki czemu cząsteczki oliwy, jako ponad tysiąc razy cięższe, są na zasadzie swej bezwładności wydzielane z ogólnego prądu i odprowadzane, przyczem

straty ciśnienia przy przejściu przez odoliwiacz nie powinny wynosić więcej jak 2 do 5%. Odoliwianie pary przegrzanej jest trudniejsze i to tem bardziej, im temperatura początkowa była wyższa, gdyż smar znajduje się wówczas w postaci pary, której odoliwiacz nie jest w stanie oddzielić; pozatem przy smarowaniu bezpośredniem cylindra łatwiej parę odoliwić, niż przy wprowadzaniu smaru do pary przy wlocie jej do cylindra.

Odoliwianie pary przy dostatecznie dużych odoliwiaczach, przy stosowaniu smarów o wysokim punkcie zapłonu oraz pary niezbyt wysoko przegrzanej, otrzymuje się niemal zupełne, pozwalające na stosowanie pary odlotowej wszędzie tam, gdzie styka się ona pośrednio z ogrzewanym ciałem.

Silniki parowe wirnikowe czyli turbiny mogą być również wykonane jako silniki grzejne. Pod względem termodynamicznym turbina nie jest właściwie z typu silników grzejnych, gdyż odwrotnie jak silnik tłokowy, z mniejszą sprawnością zamienia ciepło na pracę w części wysokoprężnej, natomiast właśnie w części niskoprężnej, kiedy silnik tłokowy, dzięki oddziaływaniu ścian cylindra i ograniczonemu przekrojowi zaworu wylotowego, nie może korzystnie wyzyskać próżni, turbina pracuje najlepiej.

Mimo to, jeżeli coraz częściej spotykamy turbiny parowe grzejne, to spowodowane to jest innemi własnościami turbiny grzejnej, równoważącemi mniejszą jej sprawność, która zresztą dzięki omówionym w poprzednim rozdziale ostatnim zmianom w budowie, zapewne wkrótce dorówna silnikowi tłokowemu.

Jeżeli przy silniku tłokowym, mało wrażliwym na wzrost przeciwności, wskazaliśmy na konieczność niepodnoszenia bez wyraźnej potrzeby ciśnienia odlotowego, przy turbinie parowej staje się to wskazaniem jeszcze ważniejszym. Np. w tej samej turbinie znaleziono:

przy ciśnieniu odlotowym	1 at	sprawność wewnętrzna	0,600
"	"	2 at	" 0,565
"	"	4 at	" 0,499

Niska sprawność turbin grzejnych pochodzi stąd jeszcze, że dotąd wykonywane są one z bardzo małą ilością wirników, niekiedy z jednym, pracującym przy bardzo dużych prędkościach pary, więc przy dużych oporach, ale dzięki temu silnik jest mały i prosty. Dziś jesteśmy w okresie rewizji tych poglądów, jak to, zresztą, poprzednio była mowa.

Dzięki tej mniejszej sprawności turbiny para odchodzi z niej w stanie znacznie suchszym, niż z silnika tłokowego, i to im sprawność mniejsza, tym mniejsza jest wilgotność pary, w pewnych wypadkach, zresztą dosyć częstych, para z turbiny może uchodzić nawet w stanie przegrzanym. Jest to zjawisko niepożądane wszędzie tam, gdzie para dostaje się bezpośrednio do aparatów grzejnych, gdyż para przegrzana ma znacznie

mniejszy współczynnik przenikania ciepła, a więc i skutek ogrzewania będzie mniejszy. Natomiast tam, gdzie para odlotowa prowadzona jest przez przewody parowe do dalej położonych miejsc zapotrzebowania ciepła, przegrzanie pary jest pożądane, gdyż po drodze para je straci, wykazując jednocześnie mniejsze straty w przewodach.

O ile przegrzanie pary odlotowej źle wpływa na procesy technologiczne stosuje się jej ochładzanie przez wtryskiwanie wody, co jednak jest zabiegiem sztucznym, dającym bardzo niepewne wyniki. Jedynie słusznym środkiem zaradczym jest taki dobór części wysokoprężnej, by para opuszczała turbinę w stanie nasyconym, albo zmniejszenie przegrzania pary wlotowej.

Że turbina grzejna mimo mniejszej sprawności znajduje coraz większe zastosowanie, powodem tego jest ogólna zaleta wszystkich turbin zajmowania mało miejsca, nadawanie się doskonale do napędu prądnic elektrycznych, które posiadają wówczas również małe wymiary, a poza to oddawanie pary odlotowej zupełnie bez smarów. Ma to w wielu wypadkach, szczególnie przy bezpośrednim zetknięciu się pary z wyrobami, duże, jakkolwiek przeceniane, znaczenie.

Po za ogólną przydatnością obu tych typów silników parowych do celów grzejnych i dostosowaniu się do wymagań przemysłu, przy bliższym rozpatrzeniu występują tu następujące właściwości tych dwóch rodzaj maszyn. Silniki tłokowe, jakkolwiek posiadają większe opory mechaniczne ($\eta_m = 0,85 - 0,90$) niż wirnikowe ($\eta_m = 0,96 - 0,98$), lepiej zamieniają ciepło pary na pracę, co niema znaczenia tylko wtedy, gdy wskutek niedostatecznej ilości pary odlotowej, dostarczanej przez silnik, musimy dodawać do ogrzewania jeszcze parę świeższą.

Maszyna parowa z przeciwnością przy małym napełnieniu pracuje niekorzystnie podwójnie: wobec tworzenia się na wykresie pętli o pracy ujemnej oraz wobec dużych oporów mechanicznych; turbina parowa grzejna przy małych obciążeniach, wobec dławienia pary dolotowej i częściowego tylko zasilania, również wykazuje znacznie zmniejszoną sprawność.

Wysokie przegrzanie, jeżeli jego wpływ na temperaturę pary odlotowej niema w danym zastosowaniu znaczenia, doskonale znosi silnik wirnikowy, podczas gdy w tłokowym przegrzanie musi być dużo mniejsze.

Jakkolwiek sprawa odoliwiania pary może być uważana za dającą się technicznie opanować, to jednak są wypadki, kiedy należy unikać najmniejszych nawet domieszek smaru: wówczas wystąpi wyższość turbiny parowej, zużywającej poza to znikomo mało smarów.

Silnik tłokowy grzejny stosowany być może od najmniejszych jednostek, nadając się szczególnie do napędu transmisji, pomp tłokowych i t. p. urządzeń o małej liczbie obrotów, może być wykonany jako typ nadający

się do łatwego zmontowania (lokomobila), podczas, gdy turbina daleko odpowiedniejszą jest do napędu prądnic elektrycznych, pomp i sprężarek wirnikowych i t. p., zajmując mało miejsca nawet przy dużych jednostkach, kiedy o zastawianiu silników tłokowych wogóle nie może być już mowy.

Obydwa więc rodzaje silników parowych mogą być, przy uwzględnieniu ich specjalnych właściwości, stosowane do celów grzejnych parą odlotową, co daje korzyści zawsze wtedy, gdy zapotrzebowanie pary grzejnej jest przynajmniej nie mniejsze od połowy całkowitej ilości pary odlotowej.

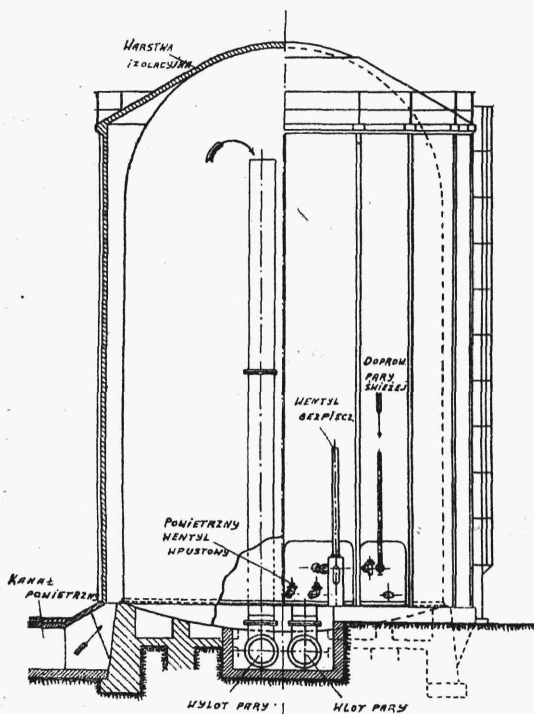
Ten ostatni warunek osiągnąć bywa niekiedy w ten sposób, że obciążenie rozkładane jest na dwa silniki, jeden pracuje jako grzejny z tak dobraćanym obciążeniem, by para odlotowa całkowicie była zużytkowana, drugi, ze skraplaczem pary, przejmuje resztę obciążenia. Takie rozwiązanie jest jednak kosztowne a automatyczna regulacja nie jest dosyć pewna.

Jeżeli ma być zastosowany jeden silnik grzejny, a ilość pary potrzebnej do ogrzewania jest zmienna i w okresie ruchu silnika jest mniejsza od

ilości pary odlotowej, stosuje się t. zw. zasobnice (akumulatory) pary t. j. duże zbiorniki, dobrze zabezpieczone od strat ciepłych, dokąd się skierowuje nadmiar pary odlotowej poto, by w chwili, gdy obciążenie spadnie lub silnik zostaje wstrzymany, można było z zebranej pary korzystać do celów grzejnych.

Zasobnice pary budowane są jako wielkie zbiorniki zesuwne, teleskopowe (Harlé) podobne do gazomierzy, o zamknięciu wodnym i izolowane od strat ciepłych. Zmieniają one swą objętość w miarę większego lub mniejszego dopływu pary i utrzymują w ten sposób stałe ciśnienie.

Zasobnice mogą być wykonane jako zbiorniki o stałej pojemności, w których ciśnienie wa-



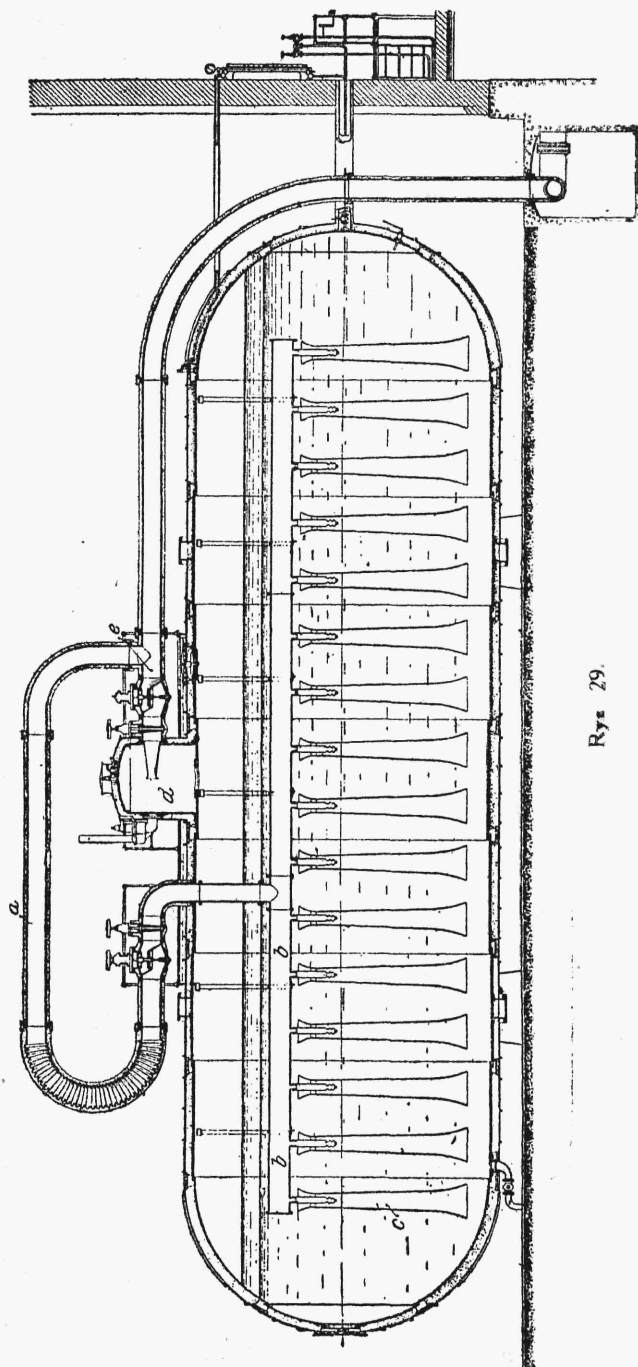
Rys. 28.

ha się w pewnych granicach od 1—1,2 at abs (Estner—Ladewig). Mają one tę zaletę (rys. 28), że mogą być lepiej otulone, a nawet ogrzewane paleniami z pod kotłów, natomiast ciśnienie w nich ulega wahaniom.

Istnieje inna jeszcze kategoria zasobnic, t. zw. mokrych (Rateau, Ruths), gdzie wyzyskana jest zmienność ciepłota całkowitego pary nasyconej przy zmianie ciśnienia. Mianowicie 1 m^3 wrzącej wody przy zmianie ciśnienia o 1 at wydziela tyle ciepła, że zależnie od ciśnienia, przy którym ta zmiana się odbywa, może się wytworzyć od kilku do kilkudziesięciu kg pary. Odwrotnie przy wzroście ciśnienia w zasobnicy woda jest w stanie pochłoniąć te same ilości ciepła.

Stosując więc taką mokrą zasobnicę pary, która jest żelaznym, izolowanym zbiornikiem, napełnionym w znacznej części wodą, można w niej przy stosunkowo niewielkiej objętości przechować znaczne bardzo ilości pary.

Zasobnicę tego typu, konstrukcji Ruthsa, przedstawia rys. 29. Jest to zbiornik w kształcie cygara, wypełniony w 90% wodą, do którego doprowadza się parę przez przewód, zawór zwrotny, rurę *b* oraz szereg dysz *c*. Pobieranie pary z tego akumulatora odbywa się z osuszającego parę kołpaka *d* przez przewód i zawór zwrotny *e*. Poza zbiornikiem wspólny przewód łączy się z urządzeniem, dostarczającym i odbierającym parę. Zasobnica pary jest doskonale otulona od strat ciepłych oraz, przez pokrycie blachą, zabezpieczona od wpły-



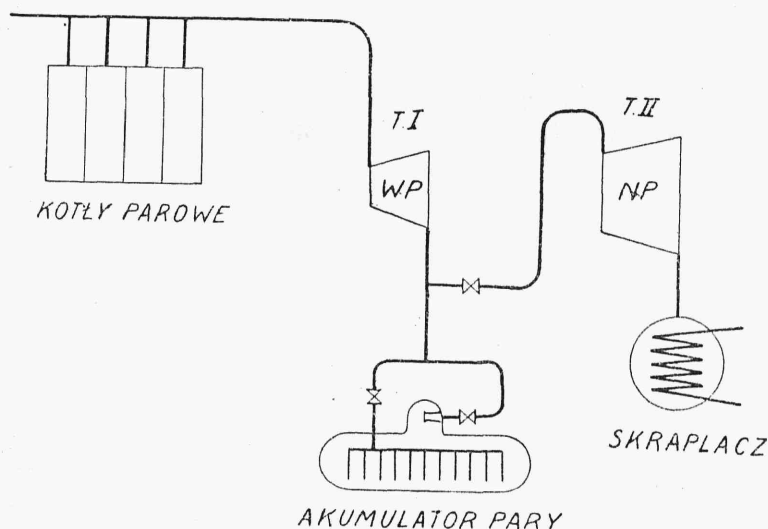
Rys. 29.

wów atmosferycznych, gdyż zazwyczaj mieści się na odkrytem powietrzu.

Pojemność zbiornika zależy od dopuszczalnych granic wahań się ciśnienia oraz od warunków ruchu zakładu przemysłowego, obsługiwanego przez zasobnicę ciepła.

Ujemną stronę tych mokrych zasobnic pary stanowi duża wilgotność, z jaką para z nich uchodzi.

Stosowanie zasobnic pary może mieć jednak i inne jeszcze znaczenie, mianowicie w tych wypadkach, gdy para odlotowa tylko częściowo może być użyta do celów grzejnych albo gdy, przy perzodycznym ruchu silników parowych, pracujących na wydmuch (młoty, prasy, maszyny wydobywcze i t. p.), mamy tylko okresowo do dyspozycji pewne ilości pary, mogą zasobnice być również użyte jako zbiorniki pary, zasilające t. zw. turbiny niskoprężne, poruszane parą odlotową. Ponieważ w turbinie parowej można znakomicie wykorzystać niską próżnię, która we współczesnych skraplaczach osiąga 0,05 at, może para odlotowa, niedająca się użyć do ogrzewania, część swego ciepła zamienić w takiej turbinie na pracę. Przy



Rys. 30.

rozprężaniu adiabatycznym od prężności 1,1 at abs czyli od ciśnienia odlotowego silników wydmuchowych do ciśnienia w skraplaczu 0,05 at abs, można uzyskać tyleż pracy z 1 kg tej pary, co przy takimże izentropicznym rozprężaniu od 12 at abs i 300° C temperatury przegrzania do 1 at abs. Widać więc stąd, że można w turbinie niskoprężnej zamienić na pracę do 80% ciepła pary odlotowej.

Turbiny niskoprężne na parę odlotową jako osobne jednostki budowane są rzadziej, przeważnie zaś jako części niskoprężne turbiny, zasilanej parą świeżą, a to z tego powodu, żeby się uniezależnić od zmiennej ilości dopływu pary odlotowej tych, okresowo pracujących, silników wydmuchowych. Turbiny takie noszą nazwę turbin o podwójnym zasilaniu, przepływa bowiem przez nie podwójny strumień pary: świeżej z kotła przez całą turbinę i odlotowej przez jej część niskoprężną.

Pozatem zasobnice ciepła służyć mogą do regulowania zmiennej produkcji pary w kotłach i do ich zmniejszenia. Przypuśćmy, że przy zmien-
nem obciążeniu elektrowni w okresie dnia, gdy jest ono mniejsze, uzyskujemy potrzebną moc przy normalnem obciążeniu turbiny *TI* (rys. 30), pracującej na wydmuch z tem jednak, że para uchodzi nie w powietrze, a do zasobnicy. Wówczas, w okresie dużego obciążenia, przy tej samej produkcji pary przez kotłownię, można uzyskać potrzebne zwiększenie mocy elektrowni przez użycie w turbinie niskoprężnej *T II*, pracującej na skraplacz, pary zebranej w zasobnicy oraz świeżej odlotowej. Przez takie połączenie dwóch turbin z zasobnicą uzyskuje się znaczne zmniejszenie kotłowni, obliczane wówczas już tylko na średnie obciążenie oraz warunki pracy obu silników przy obciążeniu bliskim do pełnego, a więc najkorzystniejszym.

2. Wykorzystanie ciepła odpadkowego silników spalinowych.

Silnik spalinowy, jakkolwiek lepiej zamienia ciepło na pracę niż silnik parowy, przecież jeszcze 70 do 85% ciepła odchodzi z niego nie zamienione na pracę, a to w postaci ogrzanej przy chłodzeniu cylindrów wody oraz w postaci gorących spalin. Zależnie od tego, jakim paliwem pędzony jest silnik, do jakiej kategorii należy i w jakim stopniu jest obciążony, bilans ciepła będzie nieco różny, jednak w grubszych zarysach podobny.

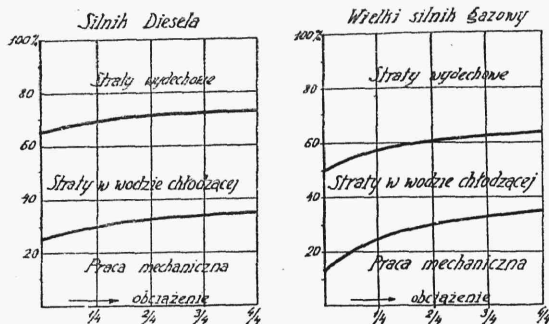
Następująca tablica podaje charakterystyczne pozycje bilansu dla różnego typu silników, oczywiście, jako liczby orientacyjne:

Rodzaj silnika	Wartość opałowa paliwa <i>kal</i>	Rozchód paliwa na 1 <i>KMh</i>	Procentowy podział ciepła				Temperatury	
			Praca	Tarcie	Woda	Spaliny	Wody odpływ.	Spalin
Wielkopiecowy	750—900	2,8 <i>m</i> ³	22—28	6—10	30—35	28—36	35—45	400—600
Generatorowy	1100—1500	2,3 <i>m</i> ³	20—25	6—10	35—40	23—35	50—55	350—500
Na gaz świetlny	4000—5000	0,6 <i>m</i> ³	20—25	6—10	35—40	30—40	50—55	350—600
Diesela	10500	0,220 <i>kg</i>	30	10—15	25—35	35—40	50—60	250—450

Na układ wzajemny pozycji bilansu cieplnego wpływa w znacznym stopniu stopień obciążenia silnika, co ma pozatem wpływ na temperaturę

spalin. Pewien ogólny obraz tych przesunięć dają wykresy (rys. 31) dla silników Diesela i dla wielkich silników gazowych.

Taki stan rzeczy przy zamianie ciepła na pracę w silnikach spaliniowych zachęca, podobnie jak i w silnikach parowych, do zużytkowania tych licznych pozycji bilansu, bezpośrednio niedających się zamienić na pracę, jednak warunki tu są odmienne, niż w urządzeniach parowych.



Rys. 31.

Wogóle zawsze decydującym czynnikiem dla sposobu wykorzystania ciepła jest jego temperatura. Widzimy z ostatniej tablicy, że przy silnikach spaliniowych, ze względu na konieczność niepodnoszenia temperatury ścianek

cylindra, również i temperatury wody muszą być niskie, nieprzekraczając 60°C , wyjątkowo 70°C . Potrzebna ilość wody chłodzącej jest tu znaczna, wynosząc niemniej jak 16 kg/KMh , a jednocześnie z silnika unoszone są te znaczne ilości ciepła przez wodę słabo nagrzaną.

Korzystniej układają się temperatury przy gazach wydychowych, które zależnie od wielkości silnika, stopnia jego obciążenia i t. d., wynoszą 250 do 700°C , spaliny więc nadają się lepiej do zużytkowania, niż woda chłodząca.

Możliwe są tu następujące sposoby wykorzystania ciepła odpadkowego silników:

a) ogrzana woda chłodząca wprost z silnika używana jest do mycia, kąpieli i do celów technologicznych,

b) gorące wydyszyny ogrzewają wysokoprężne kotły, dostarczające parę wodną o wysokiej prężności do 15 at i temperaturze 300°C ,

c) spaliny służą do ogrzewania powietrza, używanego w suszarnictwie,

d) spaliny ogrzewają do wyższej temperatury wodę chłodzącą silnik, a używaną następnie do celów grzejących.

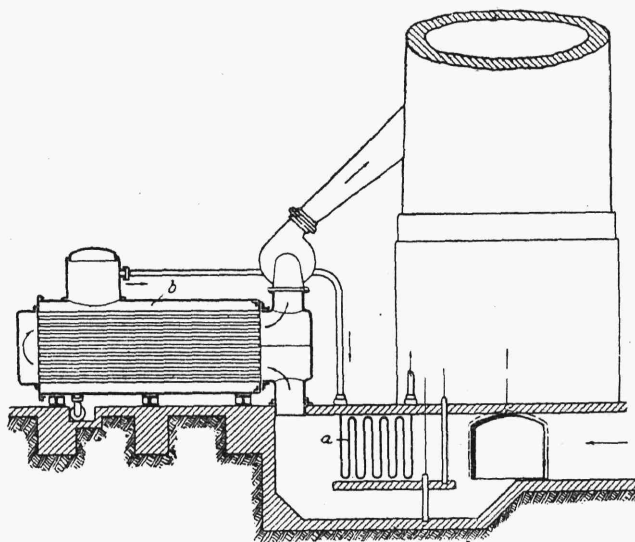
Zastosowanie tego czy innego sposobu zależy od warunków miejscowych, przede wszystkim od wielkości silnika. Im silnik jest większy tym mimo, że urządzenie jest droższe, liczyć można na większe oszczędności. Nie mniej ważnym czynnikiem jest ilość godzin ruchu silnika i scharmonizowanie okresu jego pracy z okresem zapotrzebowania na ciepło.

Typowym jest tu t. zw. wielki silnik gazowy, budowany już dziś do mocy 7000 KM , przy którym zastosowanie kotła ogrzewanego wydych-

szynami, daje znakomite wyniki. Jak potwierdza doświadczenie, można na każdego 1 KM, mocy silnika gazowego wywiązać w takim kotle około 1,5 kg pary wysokoprężnej czyli jeszcze wytworzyć w silniku parowym do 20% energii mechanicznej oraz wykorzystać ciepło odlotowe pary.

Np. z silnika o mocy 5000 KM część wody chłodzącej o temperaturze na odpływie $39,3^{\circ}\text{C}$, skierowana została do kotła, ogrzewanego spalinami o temperaturze 530°C , przyczem ochłodziły się one do 167°C . Kocioł ten wytwarzał parę o ciśnieniu 10,3 at i przegrzaniu 356°C , pozwalając dodatkowo wyzyskać 22,7% ciepła, dostarczanego do silnika. Oczywiście to ciepło może być zamienione na pracę tylko częściowo.

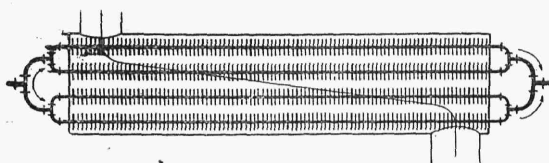
Schemat takiego kotła w jednym z wielu możliwych rozwiązań, przedstawia rys. 32. Jest to kocioł b z płomieniówkami, które szybko odbierają ciepło od spalin i są odporne na możliwe wybuchy niespalonych składników wydyszyn. Całość jest dobrze otulona od strat ciepłych i umieszczana zazwyczaj tylko pod dachem tembardziej, że obsługa jest nader prosta. Odparowność wynosi 6 do 7 kg/m^2 . Spaliny gorące doprowadza się przez przegrzewacz pary a rurociągiem elastycznym, zawieszonym i dobrze otulonym od strat ciepłych lub kanałem, a zimne — wyciąga się przy pomocy wentylatora do komina.



Rys. 32.

O ile urządzenia takie znakomicie się opłacają w zakładach dużych, przy silnikach o wielkiej mocy, to przy jednostkach małych, a przy silnikach Diesela nawet większych, rentowność staje się wątpliwą, gdyż temperatura spalin jest niska. W tych wypadkach, przeważnie, okazuje się właściwszym wyzyskanie spalin do celów grzejnych, na co zresztą jest trudniej znaleźć zbyt.

Ciepło spalin użyte być może, jak wspomniałem poprzednio, do podgrzewania powietrza do celów suszarniczych. Odbywa się to w ten sposób,



Rys. 33.

że wydyszyny przepuszczane są np. przez system rur żebrowych, umieszczonych w blaszanej rurze, przez którą przetłacza się powietrze w przeciwnym kierunku (rys. 33).

Gdy niema zbytu na ogrzane powietrze, można produkować z ciepła odpadowego mniejszych silników, przez podgrzewanie wody chłodzącej, duże ilości gorącej wody lub używać spalin do destylacji wody lub t. p.

W elektrowniach małych miast, posiadających silniki spalinowe, dobre wykorzystanie gorącej wody ma miejsce w publicznych kąpielach lub w pralniach (szpitale, wojsko i t. p.).

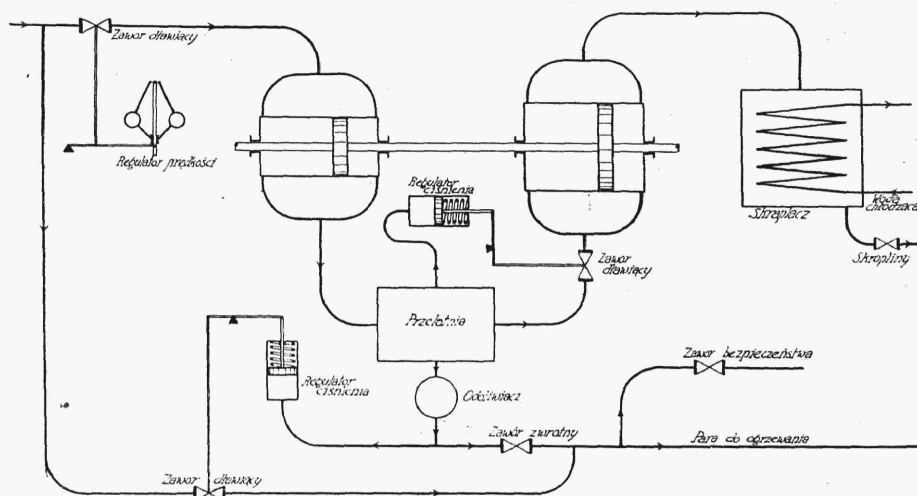
3. Wykorzystanie ciepła do celów grzejnych w silnikach z odprowadzaniem pary przelotowej.

Wobec częstej potrzeby odprowadzania z silnika pary do celów grzejnych w zmiennej ilości, w granicach od 0% do 100% zapotrzebowania, a w dodatku przy, niekiedy, znacznie większych prężnościach, powstał nowy typ silnika parowego, pozwalając na odbieranie sobie części pary, niezupełnie jeszcze rozprężonej, a na zużytkowanie reszty przy wyzyskaniu całkowitego spadku ciśnień aż do próżni w skraplaczu, przyczem ilość odbieranej pary może być zmienną. Przy chwilowym niekorzystaniu z pary, odbieranej do celów grzejnych, silnik taki pracuje jako normalny. Silniki takie noszą nazwę silników z odbiorem pary przelotowej i są wykonywane bądź jako tłokowe, bądź jako wirnikowe, przyczem przy tłokowych odprowadza się parę z przelotni, a przy wirnikowych z pośrednich stopni ciśnienia.

Własności silników z odbiorem pary przelotowej wystąpią najlepiej z następującego rozważania. Para, po częściowym rozprężeniu się w cylindrze wysokoprężnym, przy możliwie najlepszej zamianie ciepła na pracę, nie dostaje się do cylindra niskoprężnego całkowicie, ale zostaje częściowo odprowadzona z przelotni do celów grzejnych. Dzięki tej okoliczności, rozwijana przez cylinder niskoprężny moc będzie mniejsza, a zatem cylinder wysokoprężny musi ten niedobór wyrównać przez zwiększenie swego napełnienia, co pociąga znów zmianę najkorzystniejszych warunków pracy, a więc zwiększenie rozchodu pary na 1 KWh. Pozatem rozchód pary na jednostkę mocy powiększa się jeszcze dzięki temu, że, ze względu na procesy technologiczne, ciśnienie odprowadzanej z przelotni pary jest inne, wyż-

sze, niż by to wypadło zastosować ze względu na najlepsze warunki pracy w cylindrze wysokoprężnym, co ze swej strony pociąga również zwiększenie napełnienia.

Granice dopuszczalnej, ze względów konstrukcyjnych i oszczędnościowych, zmienności zapotrzebowania pary grzejnej w związku z jej ciśnieniem, dają się ustalić dla silników tłokowych na podstawie wykresów indykatora. Granicę ilości pary możliwej do odebrania z przelotni stanowi największe, dające się uzyskać w cylindrze wysokoprężnym, napełnienie, przy którym silnik rozwija jeszcze żądaną moc, oraz zachowanie minimum napełnienia cylindra niskoprężnego, konieczne ze względu na smarowanie tego cylindra, by tłok nie pracował jałowo. Odpowiada to około 20% całkowitej ilości pary doprowadzanej do silnika czyli że około 80% pary można odprowadzić do celów grzejnych. Z drugiej strony odbiór pary może być zupełnie przerwany i silnik może przejść do normalnych warunków pracy, jednak pociągnąć to może za sobą tak małe napełnienia cylindra wysokoprężnego, że tworząca się pętla wykresu indykatora wykaże pracę ujemną, więc małą sprawność silnika.



Rys. 34.

Ponieważ racjonalność stosowania silników z odbiorem pary przelotowej polega na tem, by korzyści wynikłe z użycia pary częściowo już rozprężonej były większe, niż wzrost rozchodu pary wskutek mniej dla niej pomyślnych warunków pracy w silniku. Stąd, aby uniknąć w wysokoprężnym cylindrze zbyt znacznych napełnień przy dużej ilości odprowadzanej pary, tworzenia się pętli na wykresie indykatora przy małym jej zapotrzebowaniu i możliwości, dzięki temu, przerzucania obciążenia na cylinder niskoprężny, stosuje się inny wzajemny stosunek objętości cylindrów parowych,

czyli zawór regulacyjny, który stanowi istotną część urządzenia (rys. 34 i rys. 35).

Istnieje szereg rozwiązań konstrukcyjnych tej regulacji ciśnienia, lecz zasada działania jest zawsze ta sama. Mianowicie ciśnienie odbieranej pary wpływa na ten zawór, przy odbiorze większej ilości pary, więc wywołanym przez to spadku ciśnienia, przemyka się wlot do części niskoprężnej silnika i odwrotnie. Gdy mimo to ciśnienie pary odprowadzanej opada dalej, otwiera się dopływ pary świeżej, przepuszczanej przez zawór dławiący. Oddziaływanie wzajemne na siebie tych organów odbywa się przez połączenia mechaniczne lub hydrauliczne.

Pod sprawnością silnika z odbiorem pary przelotowej rozumieć należy następującą zależność:

$$\eta = \frac{632}{D_i(i - m i_m)},$$

gdzie m oznacza stosunek pary odprowadzonej do całkowitej ilości pary, D — rozchód pary na 1 KWh, a i oraz i_m ciepłik pary świeżej i przelotowej.

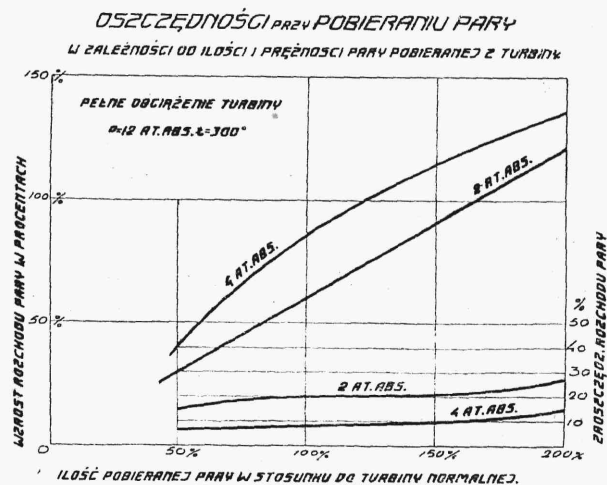
Cyfrowe wyniki doświadczeń z silnikami o pośrednim odbiorze pary nie mogą być ujęte w prostsze związki, bo pomijając już wpływ np. doboru stosunku cylindrów u silników tłokowych, a cech konstrukcyjnych turbiny, wchodzi tu w grę cztery zmienne czynniki, mianowicie ciśnienie dolotowe, ciśnienie i ilość odbieranej pary oraz obciążenie silnika.

Ogólnie stwierdzić można, że:

a) przez odpowiednie stosowanie silnika z odbiorem pary można uzyskać do 30% oszczędności na parze, chociaż w warunkach niekorzystnych mogą przez taki układ wyniknąć straty w porównaniu z oddzielnym wytwarzaniem ciepła i pracy;

b) wzrost oszczędności powiększa się ze zmniejszeniem ciśnienia odbieranej pary i ze wzrostem jej ilości.

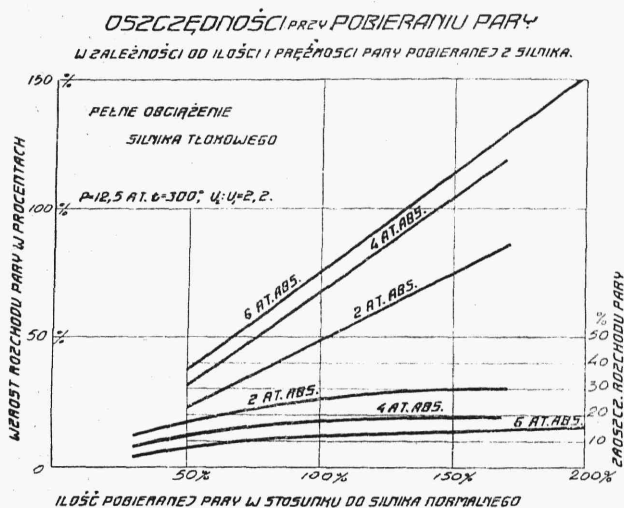
Jak te zależności przedstawiają się dla stałej wartości pary dolotowej i stałego obciążenia, widać z rys. 36 i 37, odnoszących się do konkretnego przypadku przy pełnym obciążeniu turbiny i maszyny parowej.



Rys. 36.

Mało przejrzysta zależność możliwych oszczędności od kilku czynników, które przy normalnym ruchu zakładów przemysłowych ze swej strony ulegają częstym zmianom, powoduje, że tak liczne są wypadki,

w których wyniki osiągnięte po zastosowaniu silników z odbiorem przelotowej pary nie są tak efektywne, jak przy stosowaniu pary odlotowej, a przy niewłaściwym zastosowaniu są wręcz ujemne.



Rys. 37.

Podobnie, jak w dziedzinie silników z przeciwnością, istnieje tu również wzajemne współzawodnictwo między silnikiem tłokowym i wirnikowym co do zalet i właściwości tych dwóch typów maszyn przy takim zastosowaniu.

Jeżeli chodzi o moc ponad 1200 KM to, oczywiście, silnik tłokowy w grę tu niemal nie wchodzi, im moc jest mniejsza tem silniej maszyna parowa waży na wyborze.

Co do ogólnych własności tych dwóch rodzajów silników parowych poniżej wspomnianej mocy 1200 KM, to w zastosowaniu do typów z odbiorem pary powiedzieć można, że:

- turbina parowa ma niższą sprawność ogólną od maszyny parowej,
- przy dużej zmienności obciążenia i przewadze obciążeń małych, sprawność silnika tłokowego mniej się zmienia na niekorzyść, niż wirnikowego,
- w okresach, gdy odrowadza się małe ilości pary, rozchód pary na $\overline{\text{KMh}}$ w maszynie parowej stosunkowo dużo mniej się zwiększa, niż w turbinie parowej,
- turbina jest dużo bardziej wrażliwa na stosowanie wyższych prężności pary odbieranej, niż maszyna parowa, w której, szczególnej przy odpowiednim doborze stosunku objętości cylindrów, wzrost ciśnienia w przelotni niema prawie wpływu na sprawność maszyny,
- turbina pozwala odprowadzić blisko dwukrotnie większe ilości pary, jak tej samej mocy maszyna parowa, co przy pewnych rodzajach fabrykacji może mieć znaczenie,

f) jakość pary odlotowej w turbinie jest wyższa, gdyż przy tem samym ciśnieniu odlotowym jest suchszą, a bardzo często przegrzaną, co stanowić może zaletę tego systemu, gdy parę grzejną prowadzimy na dłuższą odległość, zaś wadę, gdy wprowadzamy bezpośrednio do aparatu grzejącego.

Pozatem znaczenie mają oprócz względów termicznych także inne czynniki, a mianowicie: para silnika tłokowego, jako wewnątrz smarowanego, nie zawsze może być stosowaną nawet po odoliwieniu, co jest często wysuwane w stosunku do turbiny, z pewną zresztą przesadą, jako wielka jej zaleta, dalej zapotrzebowanie miejsca, koszt zakładowy, smary i obsługa są większe dla maszyny parowej, która jest znów mniej wymagająca co do ilości i jakości wody, potrzebnej do skraplania.

Jak widać z powyższego porównania obu typów silników, rentowność stosowania do celów grzejących pary przelotowej zależy, nawet gdy pary odbieranej stale wystarcza, od stopnia obciążenia silnika i stopnia odbioru pary, a wpływ ten jest większy u turbiny, niż u maszyny parowej, na te zmiany mniej wrażliwej. Przy przeważnie małych stopniach obciążenia i odbioru pary, albo przy jego krótkotrwałości, szczególnie przy wysokiej prężności pary odprowadzanej, gdy silnik jest tak duży, że jako tłokowy, w tym wypadku jedynie odpowiedni, nie może już być wykonany, wskazanym jest oddzielenie ogrzewania od wytwarzania energii, co w tych warunkach jest rentowniejsze.

Przy projektowaniu nowego zakładu przemysłowego lub wprowadzaniu zmian w istniejącym i rozważaniu możliwości stosowania pary przelotowej do celów grzejących, należy bardzo dokładnie wziąć pod uwagę wahania zapotrzebowania ciepła i mocy nie tylko w ciągu dnia, ale także w ciągu roku.

Jeżeli stosunek zapotrzebowania ciepła i pracy jest w ciągu dnia i całych okresów stały, jak np. w papierni, przędzalni, cukrowni, cegielni, w fabryce czekolady czy konserw, wówczas, przy właściwym doborze silnika grzejącego, mogą być osiągnięte wszelkie korzyści odbioru pary przelotowej i, jak wspomniałem, dać mogą w odpowiednich warunkach do 30% oszczędności. Gdy jednak zapotrzebowanie mocy i ciepła bardzo się wahają w ciągu dnia i całych okresów, jak w przemyśle drukarsko-farbiarskim, chemicznym, garbarskim, browarniczym i t. p., tam spodziewane oszczędności, wynikające ze stosowania do ogrzewania pary z silnika, w tym układzie można oprzeć tylko na bardzo szczegółowym uwzględnieniu warunków ruchu w dłuższym okresie czasu. Aby podnieść rentowność nie raz wypadnie względy technologiczne scharmonizować z cieplnami, dobierając odpowiedni plan czynności, np. do okresu największego zapotrzebowania pary dobierając jednocześnie okres największego obciążenia i t. p., co nie zawsze jest pożądane dla produkcji. Z tego względu, szczególnie

przy zapotrzebowaniu wysokich ciśnień pary grzejnej, nieraz wypada rezygnować ze stosowania silnika z odbiorem pary, dającego małe korzyści w stosunku do wskazanych przez jego właściwości przesunąć czynności technologicznych.

Niekiedy podniesienie rentowności takiego układu grzejnego będzie możliwe przez sztuczne podniesienie obciążenia w stosunku do zapotrzebowania pary, aby następnie odstąpić nadmiar energii nazewnątrz, sąsiadnim konsumentom.

Tu również nasuwa się obraz może już niedalekiej przyszłości dostarczania ciepła okolicznym konsumentom do celów grzejących w mieszkaniach, suszarniach, pralniach, kąpielach, i t. p. w postaci pary, która przeszła już przez silnik z odbiorem pary lub silnik wysokoprężny, jak wiemy niewrażliwy na zwiększenie przeciwcisnienia, w których zamieniła już na pracę dającą się wyzyskać część ciepła. Jakkolwiek w tym kierunku gospodarka miast w ostatnich latach wyraźnie zmierza i mamy w ostatnich latach wykonanych cały szereg tego rodzaju urządzeń, to jednak Europa została przez Amerykę pod tym względem znacznie wyprzedzona, gdzie idea centralnego ogrzewania całych dzielnic jest już nie od dziś realizowana.

VII. Dobór i utrzymanie w odpowiednim stanie urządzeń cieplnych.

Potrzeby i warunki pracy zakładów przemysłowych pod względem wytwarzania energii i ciepła są tak różnorodne i podlegają tak różnym wpływom, zależnym nie tylko od rodzaju wytwórczości, ale od chwilowych cen na to czy inne paliwo, odległości od kopalń, położenia zakładu w okręgu mniej lub bardziej uprzemysłowionym i t. p., że o istnieniu najlepszych maszyn czy silników mówić nie można. Niema urządzeń ogólnie najodpowiedniejszych do każdego zastosowania i z drugiej strony niema także — nieodpowiednich, któreby nie znalazły celowego pod względem gospodarczo-technicznym zastosowania. Decyzja o wyborze jest sprawą równie ważną jak trudną, tembardziej, że, w walce konkurencyjnej poszczególnych rodzajów maszyn ze sobą, wysuwana jest częstokroć nie tylko ich doskonałość sama dla siebie, ale szereg własności pobocznych, mniej istotnych. A walka jest silna, walczy silnik tłokowy z wirnikowym, paraspółzawodniczy z elektrycznością, pompa czy sprężarka tłokowa — z wirnikową, silnik spalinowy z parowym i t. d. I mylną drogą szedł by ten, kto przy wyborze silnika czy rodzaju napędu brał pod uwagę jedynie koszt wytworzenia 1 *KWh*, często o słuszności wyboru decydują okoliczności pozornie drugorzędne, jak straty w przewodach, trudności w dostawie