

## MOMENT OBROTOWY SILNIKA.

Moc silnika możemy wyrazić jeszcze w inny sposób, przyjmując, że wał jego jest obracany siłą  $P$ , działającą na ramieniu  $R$ . Wtedy praca tej siły podczas jednego obrotu wału wyniesie  $P \cdot 2\pi R$ , a wytworzona moc

$$N_e = \frac{2 \cdot R \cdot P \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ KM}$$

Stąd określamy moment obrotowy

$$M = PR = \frac{2 \cdot R \cdot P \cdot n}{60 \cdot 75} \cdot \frac{60 \cdot 75}{n} = 7.36 \cdot \frac{P \cdot R}{n} \text{ kgm} \quad (49)$$

Podstawiając w ten wzór wyraz na  $N_e$  ze wzoru 46, otrzymamy

$$M = P R = \frac{7.36 \cdot 10^2 \cdot V \cdot p_e \cdot \eta}{900 n} = 0.795 \frac{p_e \cdot V}{n} \text{ kgm} \quad (50)$$

gdzie  $V_s$  — w litrach.

W praktyce często przyjmujemy, że siła obwodowa  $P$  działa na ramieniu  $J = 1 \text{ m}$ . Wtedy moment obrotowy wyraża się ilościowo liczbą kilogramów siły obwodowej  $P$  ( $M = P$ ).

## X. WPŁYW IŁOŚCI OBROTÓW, TEMPERATURY WODY CHŁODZĄCEJ I OTACZAJĄCEGO POWIETRZA NA PRACĘ SILNIKA

Praca silnika lotniczego w znacznym stopniu zależy od wielu czynników, z których jako główne wymienić można: temperaturę i prężność otaczającego powietrza, temperaturę wody chłodzącej i smaru, rodzaj paliwa, kon-

strukcję (typ) i wymiary gaźnika. Jako przykład służyć może silnik Liberty 400 KM, który przy stałej ilości obrotów ( $n = 1700$  obr/min.) dawał na hamowni moc od 380 do 480 KM zależnie od zmian poprzednio wymienionych warunków.

W niniejszym rozdziale omówimy pokrótce wpływ ilości obrotów oraz temperatury otoczenia i wody chłodzącej.

Ilość obrotów silnika określa w pracy silnika dwie zasadnicze rzeczy, szybkość zasysania mieszanki i wydechu spalin oraz czas trwania cyklu pracy.

Wzrost ilości obrotów wywołuje proporcjonalne zwiększenie się szybkości ssania, a więc związany z tem spadek ciśnienia w rurze ssącej. Jeśli oznaczymy przez

$V_s$  — objętość skokową jednego cylindra w litrach,

$s$  — wolny przekrój zaworów ssących jednego cylindra w  $\text{cm}^2$ ,

$n$  — ilość obrotów silnika na minutę.

$AP$  — spadek ciśnienia w rurze ssącej w  $\text{kg/m}^2$ ,

$x$  — szybkość przejścia mieszanki przez zawór w m/sek.,

to, przyjmując pod uwagę, że cylinder zostaje napełniany raz na dwa obroty wału, czyli w cza-

ście  $\frac{2.60}{n}$  sek., możemy napisać:

$$\text{wydatek mieszanki} = \frac{n \cdot V_s}{2.60} \text{ litr/sek}$$

Wydatek ten wynosi również:

$$10x \cdot s = W \cdot \frac{x s}{1000} \text{ m}^3/\text{sek}$$

Mamy zatem równanie, z którego określimy

$$x = \frac{n V_s}{12 s} \text{ m/sek} \quad . \quad . \quad . \quad (51)$$

Z hydrauliki znana jest również zależność spadku ciśnienia od szybkości (równanie Bernouilli)

$$X^* = - \frac{\rho}{2} V^2 \quad . \quad . \quad . \quad , \quad (52)$$

gdzie:  $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$  (przyspieszenie ziemskie)  
 $\gamma = 1,3 \text{ kg/m}^3$  (ciężar właściwy mieszanki).

Po podstawieniu tych wartości otrzymamy:

$$\Delta P = - \gamma x \quad . \quad . \quad . \quad (52a)$$

Na zasadzie równania 51 będziemy mieli

$$\Delta P = \frac{1}{2160} \cdot \left( \frac{V_s}{s} \right)^2 n^2 \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

Czyli podciśnienie w rurze ssącej jest wprost proporcjonalne do kwadratu ilości obrotów i do kwadratu ilorazu objętości skokowej na wolny przekrój zaworu ssącego,

Dla danego silnika  $\frac{V_s}{\omega}$  jest niezmiennie, mamy zatem tylko wpływ ilości obrotów. Jeśli np. ilość obrotów zwiększymy w stosunku  $T^{\wedge} T^{\wedge} = T \sim$  to spadek ciśnienia wzrośnie w stosunku

czyli zwiększy się przeszło półtorakrotnie, co jak wiemy ujemnie wpływa na sprawność objętościową, zatem ciężar dawki. Analogicznie mo-

żna wykazać, że przy zwiększaniu ilości obrotów rośnie nadciśnienie przy wydechu, a więc i prężność pozostałych wydyszyn, co również opóźnia zasysanie mieszanki, nie mówiąc już o tem, że szybszy bieg silnika podnosi temperaturę wydyszyn, zmniejszając tem także sprawność objętościową, a więc wpływając na moc silnika.

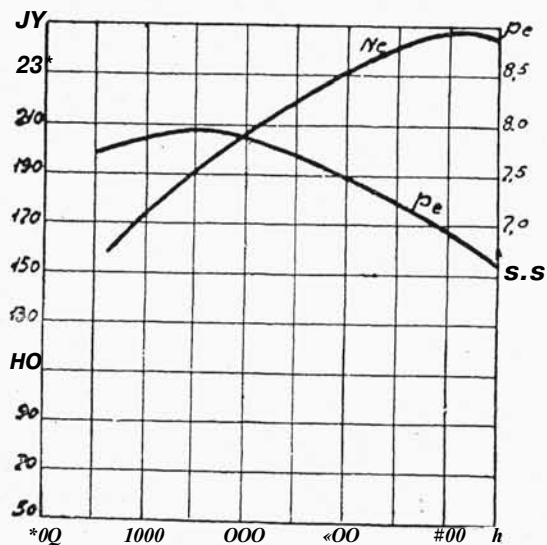
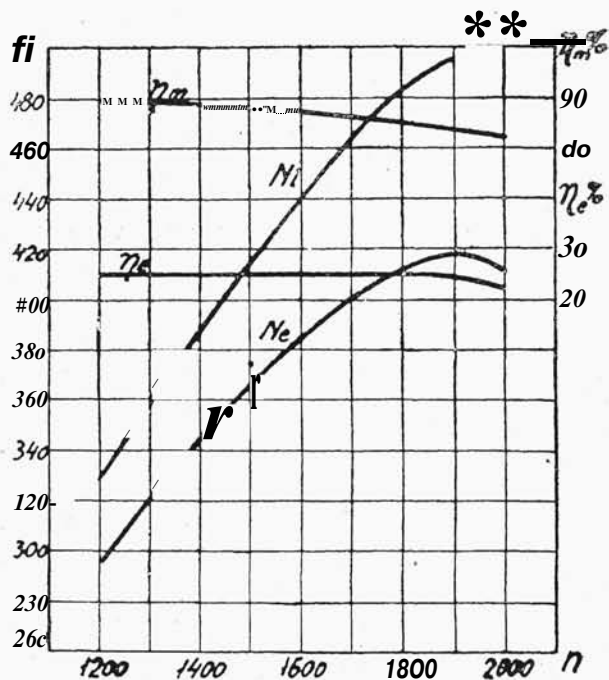
Gdy zwrócimy się jednak do wzoru 46, to stwierdzić trzeba, że wzrost  $n$  podnosi moc silnika, zjawisko zatem jest dość skomplikowane i dlatego wyznaczenie dla danego silnika odpowiedniej szybkości biegu jest rzeczą bardzo ważną.

Na rys. 19 i 20 podane są wyniki prób silników Liberty 400 KM i Benz 230 KM Stwierdzają one, że średnia prężność efektywna (a więc i moment obrotowy — patrz wzór 50), osiąga maximum przy niezbyt wielkiej ilości obrotów,

Moc silnika z początku również wzrasta, przyczem, począwszy od ilości obrotów, kiedy  $p_e$  dochodzi do maximum, wzrost mocy staje się powolniejszy.

Jest to zatem jakby przełomowa szybkość biegu. Przy mniejszej szybkości  $p_e$  jest mniejsze wskutek bardziej intensywnego oddawania ciepła na ścianki, przy większej — z powodu zmniejszenia się  $TJ^{\wedge}$ .

Po przekroczeniu tej przełomowej szybkości prężność efektywna zaczyna szybko spadać, czynniki ujemnie wpływające na sprawność objętościową ujawniają się coraz wyraźniej, wzrost mocy staje się coraz powolniejszy i maksimum  $N_e$  Zachodzi przy takiej ilości obrotów, przy której szybkość zmniejszania się  $p_e$  jest proporcjonalna do wzrostu liczby obrotów, jak to wynika ze wzoru 46,



Rys. 19 i 20. Krzywe sprawności, orśnienia efektywnego i mocy dla stoików Liberty 400 KM i Benz 230 KM w zależności od liczby obrótów/min.

Maximum mocy indykowanej przypada na wyższą liczbę obrotów niż dla mocy efektywnej, ponieważ sprawność mechaniczna maleje przy wzroście szybkości biegu (patrz rozdz. IV pkt. 4), Tej liczbie obrotów odpowiadają najmniejsze straty cieplne, przy dalszym wzroście obrotów straty te zaczynają wzrastać, a prócz tego rośnie w dalszym ciągu praca ujemna, zużyta na ssanie mieszanki i wydech spalin.

Należy również zwrócić uwagę, że wydajność silnika ( $r_v$ ) do pewnej liczby obrotów jest: od niej prawie niezależna.

Przy silnikach rotacyjnych, moc efektywna, równa się różnicy pomiędzy mocą indykowaną (wywiązaną w cylindrze), a mocą straconą na pokonanie oporów tarcia i wentylacji, która dość szybko rośnie z obrotami silnika. Z tego więc powodu  $N_e$  osiąga maximum przy mniejszej ilości obrotów, niż w silnikach stałych.

Temperatura otaczającego powietrza zasysanego przez silnik bardzo widocznie wpływa na jego moc. Doświadczenia przeprowadzone przez „Bureau of Standards” wykazały, że moc silnika zmniejsza się ze wzrostem temperatury otoczenia. Dla temperatur w granicach od  $-15^\circ \text{C}$  do  $+50^\circ \text{C}$  procentowy spadek mocy stanowi połowę %-wego zwiększenia się absolutnej temperatury powietrza. Naprzykład, przy zwiększeniu się temperatury otoczenia od  $\pm 5^\circ \text{C}$  do  $+50^\circ \text{C}$ , co w absolutnej skali temperatur wynosi

$$\frac{323 - 27}{323} = \frac{296}{323} \approx 92\%$$
 nosi  $\frac{100}{92} = 1,087$ , moc silnika zmniejsza się o

$$\frac{16}{92} \approx 17.4\%$$

Sprawność użyteczna  $r_{iu}$  zmniejsza się także, lecz znacznie wolniej przy wzroście temperatury otoczenia.

Jako ogólne prawidło można powiedzieć, że silnik lotniczy rozwija maksymalną moc przy minimalnej temperaturze otaczającego powietrza, zabezpieczającej jednakże całkowite wyparowanie paliwa. Wielkość tej temperatury zależy nie tylko od właściwości danego paliwa, lecz i od konstrukcji rur doprowadzających mieszankę do cylindra.

Wpływ temperatury wody chłodzącej na moc wywiązaną przez silnik uwarunkowany jest trzema czynnikami:

- a) stratami ciepła przez ścianki cylindra do wody chłodzącej;
- b) zmianą sprawności objętościowej;
- c) zmianą tarcia tłoka o ścianki cylindra.

Rozpatrzmy kolejno te trzy postawione kwestie,

Maxymalne straty ciepła przez ścianki cylindra do wody chłodzonej zachodzą w momencie spalania i na początku rozprężania. Przy racjonalnie ukształtowanej komorze spalania można przyjąć, że straty te wynoszą średnio 12 do 13% ciepła, doprowadzonego z paliwem. O ile udałooby się uczynić cylinder nieprzenikliwym dla ciepła, to, przyjmując pod uwagę stratę ciepła (gorących gazów) przez nieszczelność i promieniowanie, powstające przy tak wysokich temperaturach wybuchu, można uważać, że moc indykowana wzrosłaby tylko o około 10%.

Wyobraźmy sobie, że średnia temperatura w chwili wybuchu i na początku rozprężania się wynosi  $2100^{\circ}\text{C}$ , to nawet w skrajnym wypadku, gdy woda chłodząca ma temperaturę wrzenia, średnia temperatura ścianek będzie wynosić najwyżej około  $150^{\circ}\text{C}$ , zatem różnica temperatur gorących gazów i ścianek, od której zależy intensywność przewodnictwa ciepła, wynosi  $2100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C} = 1950^{\circ}\text{C}$ .

Jeśli teraz obniżymy temperaturę wody chłodzącej do 40° C to, przyjmując jak i poprzednio, że średnia temperatura ścianek cylindra jest o 50° C większa od temperatury wody, otrzymamy, że powyższa różnica wyniesie 2100 — (40 + 50) = 2010° C, t ./. wzrosła

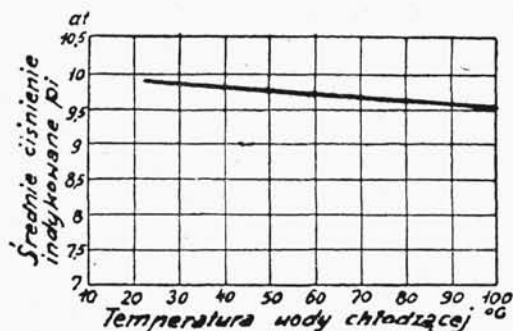
$$\circ \frac{2100 - 2010}{2100} \cdot 100 = 4,3\%$$

Zakładając, zgodnie zresztą z rzeczywistością, że straty przez przewodnictwo są proporcjonalne do różnicy temperatur, otrzymamy, że spadek mocy indykowanej wyniesie 4,3% od 10% zaoszczędzonego w wypadku idealnym ciepła, zatem zaledwie 0,43% całkowitej (doprowadzonej w paliwie), energii cieplnej,

Z przykładu tego widać, że ogólnie wpływ temperatury ścianek nie odgrywa znaczącej roli i w najgorszym wypadku może zmienić moc o 1%,

Odwrotnie i znacznie silniej wpływa zmiana sprawności objętościowej w zależności od temperatury wody chłodzącej.

Zasysana mieszanka nagrzewa się od zetknięcia z gorącym zaworem ssącym i ściankami.



Rys. 21. Wpływ temperatury wody chłodzącej na średnie ciśnienie indykowane.



cylindra. Średnia temperatura mieszanki wynosi około 390° abs, i zmniejszenie jej np, tylko o 15° C polepsza sprawność objętościową, a więc i moc indykowaną o  $-\frac{15}{TCT} * 100 \approx 3,85\%$ , ponieważ ciężar dawki jest odwrotnie proporcjonalny do absolutnej temperatury.

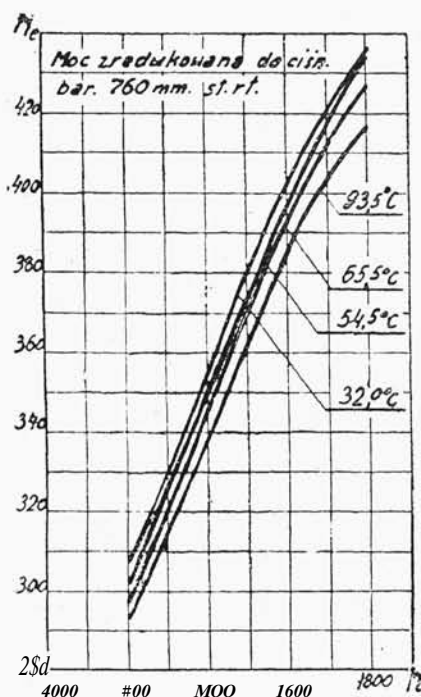
Wszelkie więc zmniejszenie temperatury wody chłodzącej zwiększa indykowaną moc silnika.

Rys, 21 podaje wartość średniego ciśnienia indykowanego w zależności od temperatury wody chłodzącej jako średnie wyniki z wielkiej ilości prób.

Trzecim czynnikiem, zależnym od temperatury ścianek cylindra jest tarcie tłoka, Smarność polepsza się ze wzrostem temperatury (oczywiście do pewnych granic), a przy bardzo lekkich i o małej bocznej powierzchni tłokach (takie właśnie mamy w silniku lotniczym), różnica w pracy tarcia przy zimnej i gorącej wodzie chłodzącej może dochodzić do 3% mocy indykowanej. Jednakże ten czynnik, jak i straty przez przewodnictwo ścianek, ma dla silników lotniczych drugorzędne znaczenie wobec przeważającego wpływu sprawności objętościowej  $r_v$ , której wartość wzrasta z obniżeniem temperatury chłodzenia.

Ogólnie więc stwierdzić należy, że moc silnika lotniczego zwiększa się przy spadku temperatury wody chłodzącej,

Rys, 22 daje nam właśnie wyniki prób dla silnika Liberty 400 KM, Podczas doświadczeń utrzymywana była stała ilość wody przepływającej przez koszulki przy danej ilości obrotów, zmieniała się tylko temperatura wody dopływowej. Na wykresie podana jest temperatura wody wychodzącej z koszulek,



Rys. 22. Zmiana mocy w zależności od temperatury wody chłodzącej (na wyjściu). Stoik Liberty 400 KM.

## XL WPŁYW WYSOKOŚCI NA PRACĘ SILNIKA

Jak wiadomo ze wzrostem wysokości spada temperatura i ciśnienie barometryczne tak, iż w rezultacie ciężar właściwy powietrza maleje. Jeśli przyjąć, że na poziomie morza ciśnienie wynosi 760 mm słupka rtęci, a temperatura 15° C, na przykład na wysokości 6500 m temperatura powietrza normalnie (wykluczając zaburzenia w normalnym rozkładzie temperatury i ciśnienia na wysokości), wynosi — 19° C, ciśnienie 333 mm słupka rtęci, waga zaś litra powietrza 0,612 gr, czyli połowę wagi na poziomie jmorza,.