



**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

---

17

kpt. POZNAŃSKI

**ZASILANIE, ROZRUCH  
I ZAPALANIE SILNIKA LOTNICZEGO TŁOKOWEGO**



4280

1 9 5 8



**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. gen. broni K. Swierczewskiego

---

17

kpt. POZNAŃSKI

**ZASILANIE, ROZRUCH  
I ZAPALANIE SILNIKA LOTNICZEGO TŁOKOWEGO**



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
Im. Gen. Broni K. Swierczewskiego

---

"ZATWIERDZAN"

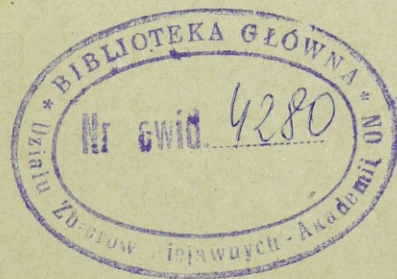
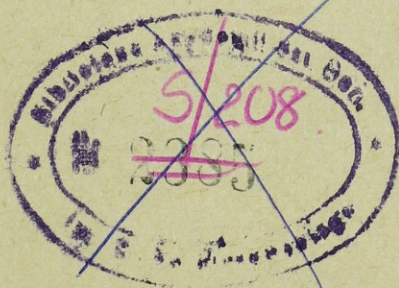
SZEF KATEDRY Nr. 33

*K. K.*  
Płk inż. KOWALSKI

17

Kpt. inż. POZNANSKI WŁADYSŁAW

ZASILANIE, ROZRUCH I ZAPALANIE SILNIKA LOTNICZEGO  
PŁOKOWEGO



## ZASILANIE, ROZRUCH I ZAPALANIE SILNIKA LOTNICZEGO TŁOKOWEGO

### Zagadnienia:

1. Zasilanie paliwem.
2. Rozruch silnika.
3. Zapalanie silnika.

### I. Zasilanie silnika paliwem.

Zasilanie silników lotniczych paliwem odbywa się przy pomocy gaźnika, albo przy pomocy specjalnej aparatury wtryskowej. Oba te sposoby zasilania silnika paliwem są dziś do tego stopnia opanowane, że w równej mierze czynią zadość stawianym im wymaganiom. W każdym poszczególnym wypadku wybór sposobu doprowadzenia paliwa do cylindra wykonuje się z uwzględnieniem właściwości danego silnika i warunków jego pracy.

W silnikach gaźnikowych przygotowanie mieszanki odbywa się na zewnątrz silnika, tak że do cylindra wchodzi mieszanka o ściśle określonym składzie. Urządzenie, w którym ta mieszanka powstaje nazywa się gaźnikiem.

Gaźnik powinien pracować bez defektów przy wszystkich warunkach pracy silnika, położeniach samolotu i warunkach lotu. W związku z tym, gaźnikom stawia się szereg wymagań, spełnienie których zapewnia normalną pracę silnika.

Wymagania te są następujące:

- określony skład mieszanki, odpowiedni do danych warunków pracy,
- jednorodność mieszanki,
- łatwy rozruch silnika i dobra praca silnika na małych obrotach,
- dobry zryw,
- możliwość korygowania składu mieszanki zależnie od wysokości,

- bezpieczeństwo przeciwpożarowe, prostota konstrukcji, małe wymiary i ciężar.

#### Skład mieszanki.

Zmiana warunków pracy lub zmiana ilości obrotów połączona z odpowiednią zmianą mocy, odbywa się w silnikach lotniczych przez stopniowe otwarcie lub przyknięcie przepustnicy gaźnika, dzięki czemu zmienia się wagowa ilość mieszanki wypełniającej cylinder. Przy tym skład mieszanki również się zmienia. Od gaźnika żądamy, aby ta zmiana składu mieszanki odbywała się w sposób z góry ustalony, odpowiednio do warunków pracy silnika.

Wymagania te można sprowadzić do trzech zasadniczych punktów:

- a/ do otrzymania maksymalnej mocy silnika przy zupełnie otwartej przepustnicy i niezawodnej pracy zaworów wydechowych - należy zapewnić dopływ do cylindra mieszanki nieco bogatszej /  $\phi = 0,6 - 0,7$ /;
- b/ przy pracy silnika na mocy eksploatacyjnej skład mieszanki powinien zapewnić minimalne zużycie paliwa /  $\phi = 0,85 - 0,95$ /;
- c/ przy pomocy silnika na małych obrotach gaźnik powinien dostarczyć bogatą mieszankę /  $\phi = 0,5 - 0,6$ / celem zneutralizowania zubożającego wpływu resztek spalin na świeżą mieszankę oraz na polepszenie zrywu silnika i zapewnienia statecznej jego pracy na małych obrotach.

#### Jednorodność mieszanki.

Dla otrzymania równomiernej pracy silnika należy do wszystkich jego cylindrów doprowadzić mieszankę o jednakowym składzie. Jest to szczególnie ważne dla silników wielocylindrowych, zaopatrzonych w kilka gaźników, z których każdy obsługuje grupę 2 - 6 cylindrów, gdyż w tym wypadku trudno otrzymać z każdego gaźnika jednaki skład mieszanki.

Znaczny wpływ na jednorodność mieszanki i równomierne jej rozdzielanie do poszczególnych cylindrów posiada konstrukcja układu rur doprowadzających mieszankę z gaźnika do cylindrów.

#### Rozruch silnika.

Rozruch odbywa się zwykle przy zamkniętej, względnie nieznacznie otwartej przepustnicy. Urządzenie rozruchowe powinno więc zapewnić doprowadzenie powietrza i paliwa do takiej miejscy w gaźniku, gdzie istnieją warunki powstania mieszanki o składzie najbardziej odpowiednim do rozruchu. Prócz tego urządzenie to powinno zapewnić stateczną pracę silnika na małych obrotach po rozruchu.

W celu utrzymania łatwego rozruchu silnika gaźnik jest zaopatrzony w dodatkowe urządzenie, w tzw. dyszę małego gazu.

#### Z r y w .

Przy zmianie warunków pracy, szczególnie przy gwałtownym otwarciu przepustnicy, mieszanka ubożeje, co narusza ustaloną proporcję paliwa i powietrza. Odbija się to szkodliwie na pracy silnika, powodując wstrząsy i pogarszając jego zryw. Można tego uniknąć przez ogólne wzbogacenie mieszanki, co jednak związane jest z dużym zużyciem paliwa. Do łagodnego przejścia z jednych obrotów na drugie gaźnik jest zaopatrzony w urządzenie, które w chwili silnego zubożenia mieszanki podaje dodatkową ilość paliwa. Przejście z małych obrotów na maksymalne nie powinno trwać dłużej niż 3 sekundy.

#### Korygowanie składu mieszanki.

W miarę wznoszenia się wskutek zmniejszania gęstości powietrza mieszanka się wzbogaca. Prowadzi to do wzrostu zużycia paliwa, oraz dodatkowego spadku mocy silnika i niezadawalającej jego pracy. Dlatego gaźnik powinien mieć urządzenie umożliwiające otrzymanie składu mieszanki, dostosowanego do warunków pracy silnika. Urządzenie to w gaźniku nazywa się korektorem wysokości, który ze wzrostem wysokości zmniejsza ilość paliwa.

### Bezpieczeństwo przeciwpożarowe.

Celem uniknięcia możliwości powstania pożaru, szczególnie przy zapłonie wstecznym do gaźnika, konieczna jest szczelność wszystkich jego połączeń, przewodów paliwowych, filtrów i komory pływakowej. Podczas postoju paliwo nie powinno uciekać przez rozpylacze gaźnika, wskutek zmiany poziomu paliwa w komorze pływakowej. Przewody ssące powinny być zaopatrzone w siatkę zabezpieczającą przed wyrzucaniem płomienia na zewnątrz cylindra przy zapłonie wstecznym.

### Prostota konstrukcji.

Konstrukcja gaźnika powinna być możliwie prosta, mieć niezawodne sterowanie przepustnicy oraz łatwy dostęp do rozpylaczy z komory pływakowej.

Prócz tego w konstrukcji powinny być uwzględnione specyficzne cechy pracy silnika na płatowcu /skręty, figury akrobacyjne, lot odwrócony itd./.

Wszystkie agregaty ustawione na płatowcu powinny ze zrozumiałych względów posiadać małe wymiary i ciężar. Dotyczy to również i gaźnika. Dla współczesnego silnika lotniczego mocy 1000 KM, ciężar gaźnika nie powinien przekroczyć 10 KG. Gaźnik powinien mieć konstrukcję zwartą, zajmującą możliwie mało miejsca.

### ZASADNICZE SCHEMATY GAŹNIKÓW

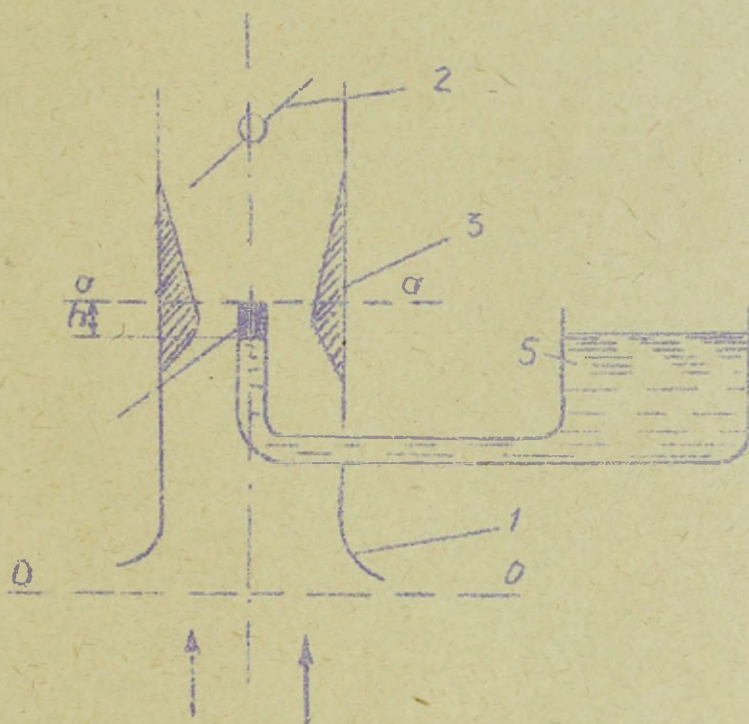
Zasadniczym elementem każdego gaźnika jest układ zasilający. Rozróżniamy dwa zasadnicze schematy układów zasilających.

1-y schemat - gaźnik elementarny,

2-gi schemat - gaźnik emulsyjny.

Rys. 1 przedstawia schemat gaźnika elementarnego. Powietrze napływa do cylindra silnika rurą ssącą 1. Na drodze powietrza osadzona jest przepustnica 2, która służy do regulacji pracy silnika. W rurze ssącej znajduje

się przewężenie albo dyfuzor 3, w którego najwęższym przekroju jest osadzony wtryskiwacz z dyszą paliwową 4. Paliwo doprowadzane jest specjalną pompą do komory paliwowej 5, w której utrzymuje się stały poziom paliwa, dzięki regulacji za pomocą pływaka.

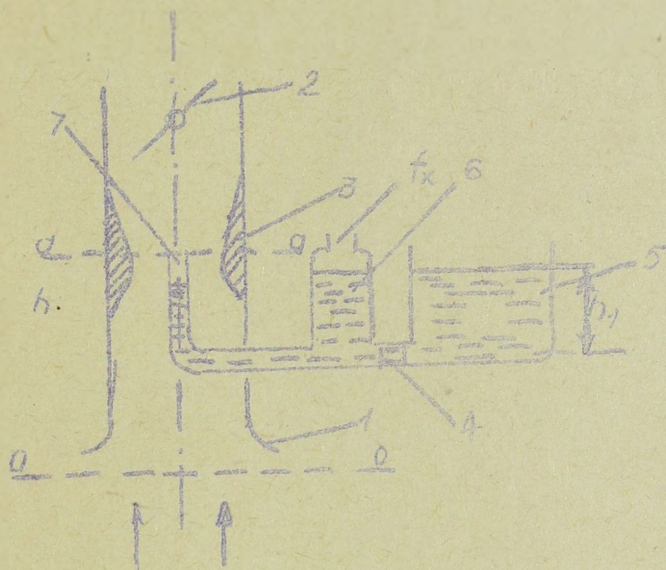


Rys. 1 Schemat gaźnika elementarnego.

Kiedy nie ma przepływu przez rurę ssącą, t.zn. kiedy silnik nie pracuje, paliwo we wtryskiwaczu ustala się na tym samym poziomie co w komorze pływakowej. Ażeby podczas postoju silnika paliwo nie przelewało się przez wtryskiwacz, krawędź jego jest wyższa od poziomu paliwa o wielkość  $h$ .

Podczas przepływu przez rurę ssącą gaźnika prędkość powietrza w przewężeniu dyfuzora rośnie przy jednoczesnym spadku ciśnienia. Wobec tego, że komora łączy się z otaczającym środowiskiem, a więc ciśnienie w niej pozostaje stałe, to z powodu różnicy ciśnień między komorą pływakową i dyfuzorem paliwo zaczyna wypływać z wtryskiwacza. Wypływ paliwa z wtryskiwacza zaczyna się przy tym dopiero wtedy, kiedy różnica ciśnień staje się dostatecznie duża, aby podnieść paliwo we wtryskiwaczu na wysokość  $h$  i przewyciężyć napięcie powierzchniowe paliwa.

Rys. 2 przedstawia schemat gaźnika emulsyjnego. Gaźnik emulsyjny różni się od elementarnego tym, że pomiędzy komorą pływakową 5 a wtryskiwaczem 7 znajduje się t.wz. studzienka kompensacyjna 6, połączona z atmosferą otworkiem  $f$ , a dysza paliwowa 4 znajduje się pomiędzy komorą pływakową i studzienką kompensacyjną.

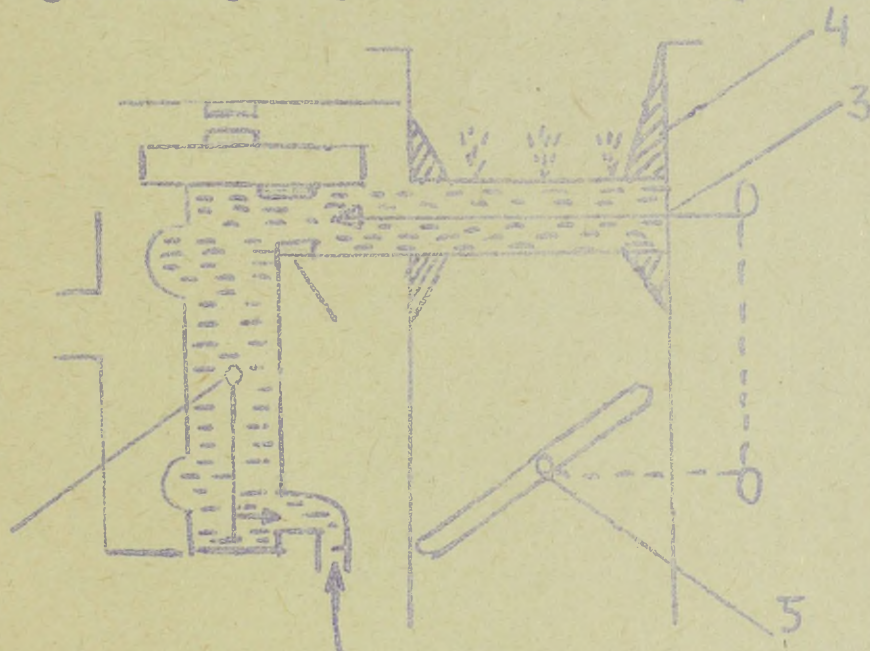


Rys. 2 . Zasada działania gaźnika emulsyjnego.

Kiedy gaźnik zaczyna pracować, tzn. kiedy podciśnienie w dyfuzorze jest małe, studzienka kompensacyjna jest wypełniona paliwem i praca gaźnika emulsyjnego niczym się nie różni od pracy gaźnika najprostszego. Przy dostatecznie wielkim podciśnieniu w dyfuzorze, studzienka kompensacyjna opróżnia się, przez otwór  $f$  rozpoczyna się zasysanie powietrza do wtryskiwacza. W wypadku jeżeli otwór  $f$  jest duży, ciśnienie w studzience uzupełniającej jest mniej więcej równe ciśnieniu otaczającego ośrodka, wskutek czego paliwo wypływa z komory pływakowej tylko pod wpływem różnicy poziomów  $h_1$ .

Strome wnoszenie się, lub nurkowanie, względnie wykonywanie skrobacji, napotyka na trudności, gdy silniki są zaopatrzone w gaźniki pływakowe. Trudności nie występują przy stosowaniu gaźników membranowych, które ponadto posiadają tą zaletę, iż w przeciwieństwie do gaźników zwykłych /pływakowych/ dają niezależnie od obrotów zawsze jednorodną mieszankę o odpowiednim rozpyleniu.

Schemat takiego gaźnika jest przedstawiony na rys. 3.



Schemat bezpływakowego gaźnika.

1-mechanizm membranowy 2-otwór kalibrowany dla przepływu paliwa 3-igła regulacyjna 4-dyza 5-przepustnica.

Gaźnik membranowy posiada następujące zasadnicze elementy: przepustnica, regulator, układ zasilaający, automatyczny korektor wysokościowy i wtryskiwacz. Przepustnica reguluje ilości zassanego przez silnik powietrza.

Regulator i układ zasilaający dostosowują ilość podawanego do gaźnika paliwa do ilości zassanego powietrza, zapewniając odpowiedni skład mieszanki dla danych warunków pracy silnika.

Wszystkie gaźniki będące dziś w eksploatacji są wykonywane w zasadzie jako emulsyjne, membranowe.

Otrzymanie jednorodnej mieszanki zapewnia nam dobre rozpylenie paliwa. Osiągamy to głównie dzięki dużej prędkości powietrza przepływającego przez dyszę gaźnika. Przy zbyt, zbyt grubym rozpyleniu paliwa, osiadają na ściankach przewodów ssących krople paliwa /t.j. zw. kondensat/ wskutek czego otrzymujemy nierównomiernie napełnienie cylindrów mieszanką co pogarsza pracę silnika.

W miarę wznoszenia się samolotów z silnikiem gaźnikowym z gaźnikiem przed sprężarką, mieszanka staje się pogarsza wskutek zmniejszenia się gęstości powietrza, co z kolei powoduje zmniejszenie sprawności i mocy silnika. Gdy gaźnik umieszczony jest za sprężarką, to w miarę wznoszenia się, mieszanka biednieje. Celem zapobieżenia zmianie składu mieszanki ze zmianą wysokości, gaźniki są wyposażone w automatyczne korektory składu mieszanki, reagujące na zmianę gęstości powietrza.

Gdy gaźnik ustawiony jest za sprężarką, narażony jest na wpływ pulsacji strumienia powietrza wychodzącego ze sprężarki. Regulacja gaźnika w tym wypadku może być przeprowadzona tylko na silniku / a nie na hamowni/.

Regulacja gaźnika polega na takim doborze rozpylaczy aby zapewnić właściwe zużycie paliwa przy wszystkich warunkach pracy. Regulacja wszystkich gaźników powinna być jednakowa. Przepustnice na wszystkich gaźnikach silników powinny być zsynchronizowane w celu zapewnienia jednolitego napełnienia cylindrów. Nieprzebranie tych warunków może wywołać zwiększenie zużycia paliwa i drgania silnika. Szczególnie silnie odbija się na pracy silnika niejednakowe otwarcie przepustnic podczas waznego gazu.

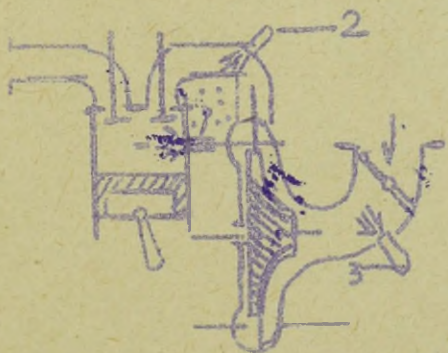
#### BEZPOSRĘDNI WERYSEK

Zasilanie paliwem silnika przy pomocy gaźnika posiada szereg wad z których najwazniejsze są następujące:

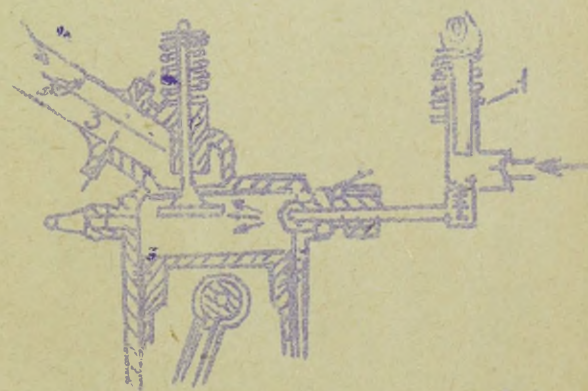
1. nierównomierny skład mieszanki w poszczególnych cylindrach, powodujący zmniejszenie sprawności silnika i spadek mocy.
2. Skomplikowana aparatura paliwowa przy silnikach wielocylindrowych / dla utrzymania równomiernego składu mieszanki w cylindrach wymagane jest większe ilości gaźników/.
3. Obecność przewodów ssących zapełnionych mieszanką powoduje niebezpieczeństwo zapłonu tej mieszanki.
4. Możliwość oblodzenia gaźnika i naruszenia regulacji składu mieszanki przy wykonywaniu lotów akrobacyjnych.

Celem usunięcia tych wad, na niektórych silnikach gaźnikowy system zasilania paliwem zastąpiono bezpośrednim wtryskiem paliwa. Zależnie od umiejscowienia wtryskiwacza paliwo jest wtryskiwane do cylindra, rury ssącej i do sprężarki. We współczesnych silnikach lotniczych dużej i średniej mocy stosuje się wtrysk paliwa z uwagi na znaczne zalety tego systemu.

Bezpośrednim wtryskiem nazywa się system, przy którym paliwo za pomocą pompki wtryskuje się przez wtryskiwacz bezpośrednio do cylindra, albo do przewodu ssącego.



Rys. Nr. 4a Schemat stosowanych sposobów wtrysku paliwa do silnika  
1-wtrysk paliwa do cylindra;  
2-wtrysk paliwa do przewodu ssącego; 3-wtrysk paliwa do sprężarki.



Rys. Nr. 4b. Schemat bezpośredniego wtrysku paliwa.  
1-pompka paliwowa;  
2-wtryskiwacz; 3-przewód ssący z przepustnicą.

Najbardziej rozpowszechnionym i stosowanym wtryskiem paliwa jest wtrysk bezpośredni do komory spalania cylindra silnika.

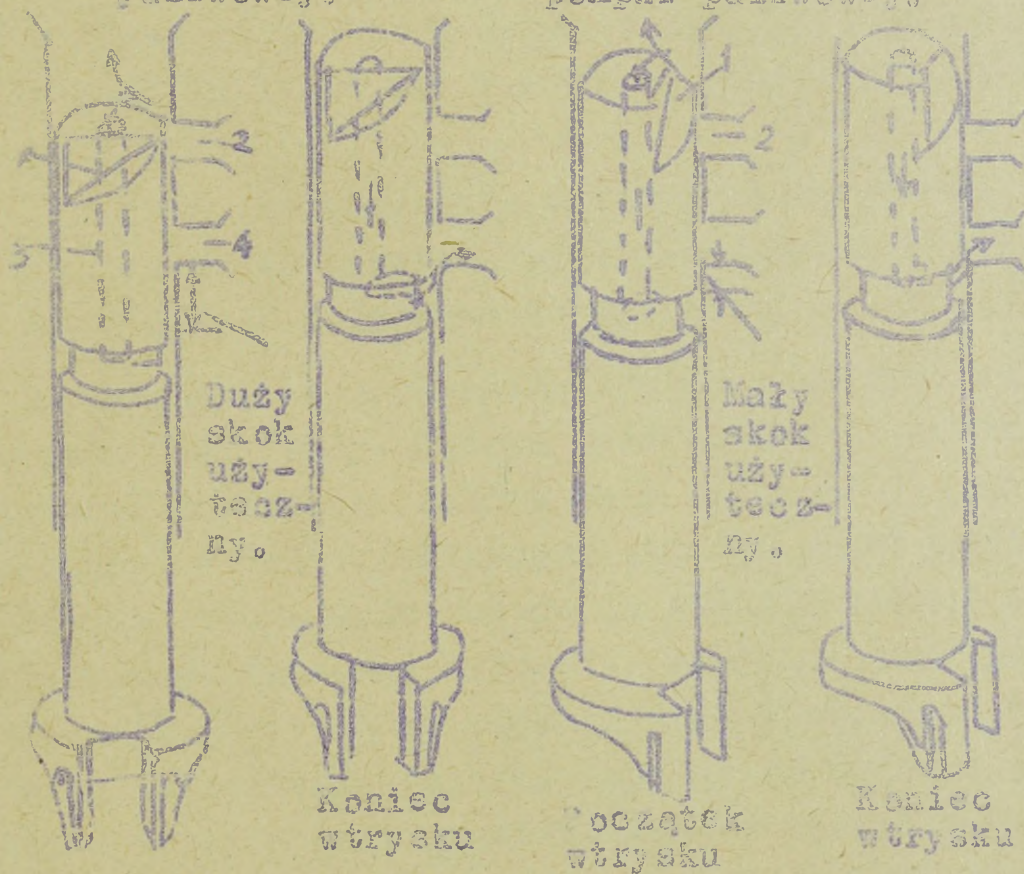
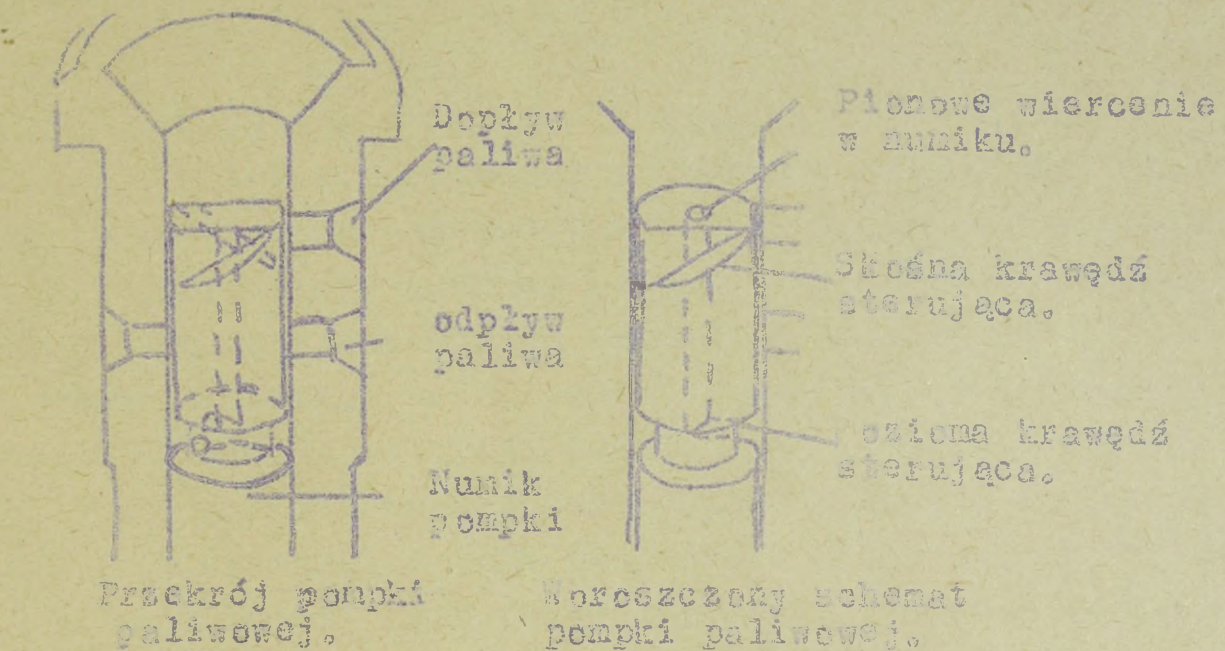
We wszystkich przypadkach zapłon następuje od świecy. Celem zapewnienia rozpylenia, paliwo wtryskuje się pod dużym ciśnieniem, nie mniejszym niż 15 atm, częściej 80-150 atm. Do regulacji mocy ustawia się w przewodzie ssącym przepustnicę. Moment wtrysku paliwa przez pompę powinien być dokładnie uzgodniony ze stopniem otwarcia przepustnicy w celu zapewnienia prawidłowego składu mieszanki dla wszystkich warunków pracy silnika.

Dawkowanie ilości paliwa dla różnych warunków pracy silnika urzeczywistnia się konstrukcyjnie przzerwaniem albo dławieniem wtrysku paliwa.

Rysunek 5 pokazuje najbardziej rozpowszechniony sposób dawkowania paliwa. Rysunek ten przedstawia schemat i zasady działania elementu tłoczącego pompy paliwowej.

Na powierzchni nurnika znajduje się skośne ścięcie. Paliwo jest dostarczane do wtryskiwacza wtedy, gdy otwór w wy 2 nie jest przykryty boczną powierzchnią nurnika. Przy obrocie nurnika dookoła swej osi, przestrzeń cylindra pompy nad nurnikiem w pewnym momencie łączy się przez kanał 3 z otworem 4. Z rysunku widzimy, że przy obrocie nurnika od położenia odpowiadającego pełnemu obciążeniu, opóźnia się zamknięcie dopływu paliwa przez skośne ścięcie 1, a tym samym opóźnia się i początek wtrysku. Równocześnie zmniejsza się użyteczny skok nurnika i ilość wtryskiwanego paliwa.

Zalety bezpośredniego wtrysku w porównaniu z systemem gaźnikowym są następujące: bezpośredni wtrysk do cylindra podczas suwu sprężania pozwala na pewne zmniejszenie potrzebnej ilości paliwa. W silniku czterosuwowym można znacznie zwiększyć okres równoczesnego otwarcia zaworów ssącego i wydechowego, dzięki czemu polepsza się przedmuchowanie



Początek wtrysku.

Rys. 5

Regulacja ilości paliwa przy bezpośrednim wtrysku.

komory spalania świeżym powietrzem. Czynność ta znacznie powiększa współczynnik napełnienia cylindra a więc i moc silnika. Przy wtrysku paliwo można otrzymać zupełnie jednakowy skład mieszanki we wszystkich cylindrach.

Wtrysk paliwa do przewodu ssącego nie posiada istotnych zalet w porównaniu z systemem gaźnikowym, chociaż przy takim wtrysku obserwuje się nieznaczny przyrost mocy dzięki pozbyciu się gaźnika i zmniejszeniu oporów hydraulicznych układu ssącego. System bezpośredniego wtrysku do przewodu ssącego usuwa jednak pewne eksploatacyjne niedogodności właściwe silnikom gaźnikowym. I tak u tych ostatnich obserwuje się czasem uszkodzenie wirników sprężarek, spowodowane kawałkami łożu tworzącymi się w gaźniku /jeżeli gaźnik umieszczony jest przed sprężarką/. System bezpośredniego wtrysku do przewodu ssącego może się okazać celowym w silnikach gwiazdowych, w których jest trudno ustawić gaźnik za sprężarką.

Główne zastosowanie znajduje bezpośredni wtrysk w silnikach dwusuwowych, gdyż przedmuchiwanie tych cylindrów mieszanką jest połączone ze wzrostem zużycia paliwa.

Obok wyliczonych zalet system bezpośredniego wtrysku posiada też i wady. Główna wada polega na skomplikowanym sposobie dawkowania paliwa przy różnych otwarciach przepustnicy. W gaźnikach zagadnienie to rozwiązuje się znacznie prościej. Druga wada polega na skomplikowanej aparaturze wtryskowej. Znaczne trudności wynikają przy wtrysku bezpośrednio do cylindra podczas suwu ssania na skutek dużego zasięgu strumienia paliwa. Padając na ścianki cylindra paliwo zmywa smar i rozcieńcza olej w karterze. Celem usunięcia tej wady, stosuje się specjalnie profilowane otwory na wylociu z wtryskiwacza powodując silne rozdrobnienie strumienia paliwa. We wtrysku podczas suwu sprężania na skutek wzrostu ciśnienia ośrodka, do którego paliwo jest wtryskiwane zasięg strumienia paliwa znacznie się zmniejsza. Dużą wadą systemu bezpośredniego wtrysku jest jego wrażliwość na korki powietrzne i parowe, które mogą wywołać przerwę w dopływie paliwa. Dlatego do układu zasilającego należy wprowadzić specjalne oddzielacze powietrza i pary /najczęściej oddzielacz znajduje się w korpusie pompy wtryskowej/, starannie usuwać powietrze z przewodów paliwowych przy ich wypełnianiu.

## WARUNKI PRACY APARATURY WTRYSKOWEJ.

Celem otrzymania dobrej mieszanki wymagane jest dokładne rozpylenie paliwa i odpowiedni kształt strumienia paliwa wylatującego<sup>z</sup> wtryskiwacza. Odpowiednie rozpylenie paliwa otrzymujemy dzięki zastosowaniu wysokiego ciśnienia wtrysku dochodzącego do 100-120\* atm. ~~W związku z tak~~  
~~wysokim ciśnieniem wtrysku dochodzącego do 100-200 atm. W~~  
związku z tak wysokim ciśnieniem wtrysku rosną wymagania odnośnie stosowanych materiałów, dokładności wykonania i szczelności połączeń części aparatury i przewodów. Wysokie ciśnienie wtrysku można utrzymać jedynie przy pomocy pompy wtryskowej, w której luz między nurnikiem a tuleją nie przekracza 5-7 mikronów.

Przy stosowaniu wtrysku paliwa do cylindra silnik wykazuje dużą wrażliwość na kształt strugi paliwa z powodu krótkiego czasu tworzenia się mieszanki. Najkorzystniejszy kształt strugi zależy od konfiguracji komory spalania i jest dobierany na drodze doświadczalnej. Równomierność wtrysku posiada duże znaczenie dla pracy silnika. Nierównomierny wtrysk paliwa do cylindrów prowadzi do spadku mocy i wzrostu jednostkowego zużycia paliwa, albo do przegrzania poszczególnych cylindrów.

Nierównomierność wtrysku podczas pracy silnika w warunkach eksploatacyjnych powinna być minimalna. Nierównomierność wtrysku paliwa wzrasta przy zmniejszeniu ilości wtryskiwanego paliwa.

Do zapewnienia normalnych warunków pracy aparatury wtryskowej wymagane jest bardzo staranne filtrowanie paliwa.

Główne elementy pompy wtryskowej /nurnik i tuleje/ są bardzo starannie obrobione i dodatek z dużą dokładnością dlatego nieznaczne nawet zanieczyszczenie benzyny twardymi cząstkami może spowodować szybkie zużycie, zaklinowanie i zatarcie nurnika w tulei. Niedostateczne przefiltrowanie

paliva może też spowodować zatkanie otworków wylotowych wtryskiwacza. Celem uniknięcia wszystkich tych zakłóceń, stosuje się specjalne filtry. Filtry te powinny być tak gęste, aby zatrzymywały najmniejsze cząstki znajdujące się w powietrzu, a mogące dostać się do paliva. Rozmiary pyłków zawieszonych w powietrzu dochodzą do 2 mikronów i nawet najgęstsza siatka metalowa nie jest w stanie zatrzymać cząstek tych wymiarów. Dlatego stosuje się w tym wypadku filtry w których elementy filtrujące są wykonane z gęstego jedwabiu.

Aparatura wtryskowa winna czynić zażość następującym wymaganiom:

1. Zapewnić żądany wydatek paliva i ciśnienie wtrysku przy danej ilości obrotów silnika.
2. Zapewnić automatyczne dawkowanie paliva i żądany skład mieszanki odpowiednio do warunków pracy silnika.
3. We wszystkich cylindrach powinien być zachowany jednakowy moment początku wtrysku paliva i jednako-  
wy rozwój strugi paliva w czasie. Momenty początku wtrysku paliva do cylindrów mogą różnić się o  $\pm 5^\circ$  obrotu wału korbowego przy nominalnych warunkach pracy silnika. Dopuszczalna nierównomierność jednako-  
wych faz pracy poszczególnych elementów pompy może dojść do 3% przy nominalnych warunkach pracy i do 25% na małym gazie.
4. Powinna być zapewniona możliwość odręcznego zmniejszenia dawek wtryskiwanego paliva i ręczne wyłączenie dopływu paliva do wtryskiwaczy na wypadek zatrzymania silnika.
5. Należy zapewnić łatwy remont i dobry zryw silnika oraz wygodny dostęp do regulatorów aparatury wtryskowej.

6. Różnice w wydatkach paliwa poszczególnych kompletów wtryskiwaczy aparatury wtryskowej tej samej serii nie powinny przekroczyć następujących wielkości /%#/

na nominalnej mocy	- ± 3
na ekonomicznej mocy	- ± 1,5
na małym gazie	- ± 5.

Paliwo ze zbiorników płatowcowych doprowadzane jest czy to do układu z gaśnikiem, czy do układu z bezpośrednim wtryskiem za pomocą pompki paliwowej małego ciśnienia. Pompki te mogą być trybikowe lub paletkowe. Najczęściej stosowane są pompki paletkowe.

## II. R O Z R U C H   S I L N I K A

W celu rozpoczęcia pracy przez silnik, należy mu przekazać z jakiegoś ubocznego źródła energię napęd, który obraca wałem korbowym tak długo, dopóki nie pojawią się pierwsze zapłony i silnik nie zaskeczy. Zależnie od wielkości silnika stosuje się różne metody rozruchu, a mianowicie:

1. Obracanie ręczne śmigłem i zapłon iskrownikiem rozruchowym.
2. Obracanie ręczne śmigłem przez mechanizm z jednoczesnym zapłonem iskrownikiem rozruchowym.
3. Rozruch rozrusznikiem bezwładnościowym.
4. Rozruch sprężonym powietrzem.
5. Rozruch mechaniczny od specjalnej przystawki.

## OBRACANIE RĘCZNE ŚMIGŁEM I ZAPŁON ISKROWNIKIEM ROZRUCHOWYM.

System ten stosowano dawniej powszechnie. Posiada on tę zaletę, że jest prosty i wymaga jedynie iskrownika rozruchowego lub cewki rozruchowej. Przy małych silnikach pilot może sam zapuścić nie uciekając się do pomocy osób drugich. Wadą tego urządzenia jest to, że przy niskiej temperaturze źle się wytwarza mieszanka. Gdy się zapomni o wyłączeniu zapłonu, obracanie śmigłem może spowodować wypadek. Poza tym samo "zassanie" dużych silników przed rozruchem nie zawsze może wykonać personel obsługujący. Z tych względów sposób ten wogóle stosuje się coraz rzadziej.

## RĘCZNE LUB ELEKTRYCZNE OBRACANIE ŚMIGŁEM PRZEZ SPECJALNY MECHANIZM.

Układ ten jest podobny do stosowanego w samochodach, gdzie wał korbowy obraca się ręcznie korbą lub elektrycznym starterem. Ze względu na to, że silniki lotnicze są większe od samochodowych, zachodzi konieczność stosowania pomiędzy napędem, tak ręcznym jak i elektrycznym, i wałem korbowym silnika specjalnej przekładni. W tym układzie rozruchu obowiązują niskie obroty silnika /zależnie od jego wielkości wynoszą 5-20 obr/min/. Z tych względów musi być stosowany pomocniczy zapłon rozruchowy w postaci sprzęgła zrywowego, iskrownika rozruchowego lub cewki rozruchowej. Tego rodzaju napęd spotykany jest w małych samolotach sportowych i wymaga poza pilotem jeszcze jednego obsługującego. Napęd elektryczny mechanizmu bywa stosowany najczęściej w silnikach, których litraż dochodzi do 12 litr. Rozruch tego rodzaju jest wygodny i bezpieczny, może go obsłużyć sam pilot, przeważnie spotyka się go w mniejszych silnikach nowoczesnych.

Mechanizm składa się z przekładni kół zębatoch, lub ślimakowej. Całkowite przełożenie wynosi 7 : 1 do 10 : 1. Mechanizm ten jest napędzany korbą ręczną /odłączalna/ lub silnikiem elektrycznym, umieszczonym równolegle lub prostopadle do wału silnika. Tak wał korbowy jak i przekładnie posiadają specjalne kły, którymi sprzęgają się ze sobą. Gdy silnik zastoczy, kły te wyzębniają się wyłączając połączenie.

Przekładnie napędowe są wyposażone w sprzęgło warstwowe, które ma za zadanie ochronić mechanizm od przeciążeń ruchu w silnikach. Przeciążenia takie mogą wystąpić wtedy, gdy silnik jest zimny lub uszkodzony, charakteryzując się zaś między innymi dużymi oporami ruchu. W wypadku wstecznego obrotu wału, sprzęgło odłącza napęd, przy czym korbą nie rani obsługi.

Mechanizm napędowy posiada na swoim korpusie szereg otworków dzięki którym może być zamocowany w dowolnym położeniu zapewniającym najlepsze wykorzystanie miejsca od montażu i napędu korby.

W stosownym miejscu przewiduje się w przekładniach od strony silnika elektrycznego t.zw. wolnobieg, który odłącza napęd elektryczny a tym samym zmniejsza opory ruchu w wypadku, gdy chcemy rozruch wykonać ręcznie korbą.

#### ROZRUCH ZA POMOCĄ ROZRUSZNIKA BEZWŁADNOSCIOWEGO.

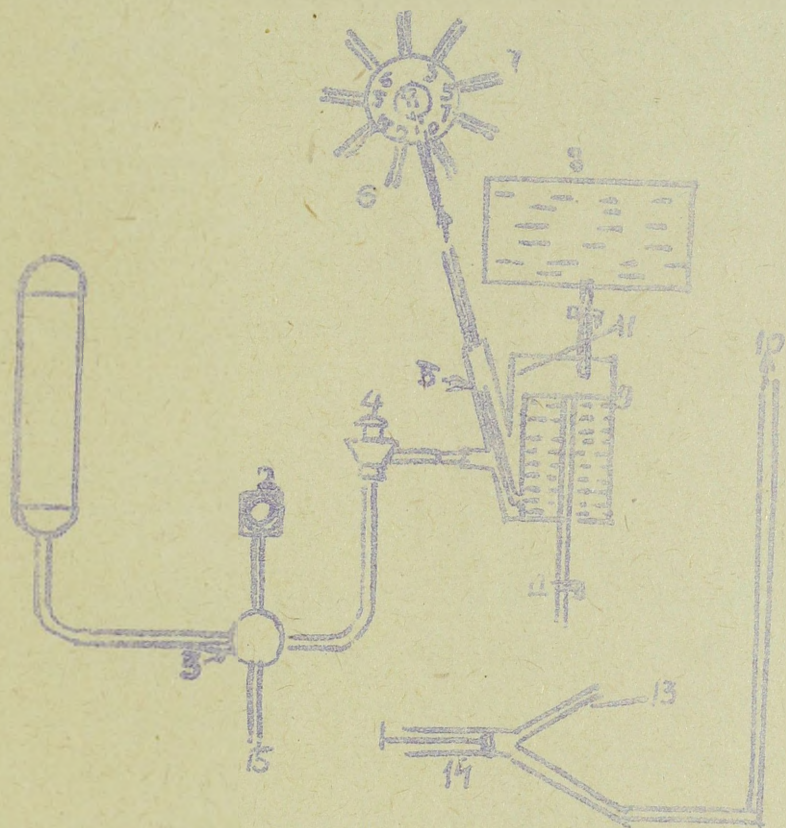
Rozruch ten różni się od poprzedniego jedynie zastosowaniem masy wirującej, oraz powiększeniem przełożeń napędu. Masę ukontaktowaną tak, by jej bezwładność była jak największa, napędza się poprzez przekładnie ręczną korbą lub silnikiem elektrycznym. Po uzyskaniu obrotów dochodzących do 14.000 obr/min specjalną kątową śwignią poprzez sprzęgło sprzęga się ruch rozpędzonej masy z wałem korbowym.

Dzięki bezwładności rozepędzonej masy wał korbowy zaczyna się szybko obracać. W napędzie ręcznym stosuje się przełożenia przekładni 150 : 1, w elektrycznym zaś 130 : 1. Ten typ rozruszników stosowany bywa w silnikach gwiazdowych o litrażu do 30 l i rzędowych do 25 l. W wypadku napędu ręcznego silnik elektryczny odpada. Do włączenia napędu elektrycznego stosuje się w kabynie specjalny uchwyt.

#### ROZRUCH SPREŻONYM POWIETRZEM.

Samolot posiada butlę pokładową sprężonego powietrza w której gromadzi się powietrze pod ciśnieniem dochodzącym do 50 atmosfer. Powietrze to po otwarciu specjalnego kranu dopływa do atomizera przypominającego swoją budową ideowy układ gaśnika. Powietrze naciska na paliwo, które wypływa skoło przewężenia w przewodzie, miesza się z powietrzem tworząc normalną mieszankę. Mieszanka ta pod znacznym ciśnieniem jest doprowadzona do rozdzielacza, stąd dostaje się do poszczególnych cylindrów i ciśnieniem na tłok powoduje rozruch silnika. Schemat takiej instalacji jest przedstawiony na rys. 6. Rozdzielacz posiada w swej komorze otworki, odpowiadające każdemu z cylindrów. Do otworków podłącza się specjalne przewody zakończone zaworami rozruchowymi. Otworki te są przesłaniane i odsłaniane wirującą okrągłą płytką rozdzielacza napędzaną od wału korbowego. W płytce tej jest jeden otwór, który kolejno odsłania otworki w korpusie. Wskutek tego ciśnienie, doprowadzane z atomizera przez skojarzone otwory płytki i korpusu dostaje się przewodami do zaworów rozruchowych umieszczonych w głowicach cylindrów.

Ładowanie butli pokładowej odbywa się z butli lotniskowej posiadającej ciśnienie 150 atmosfer. W silnikach wyższej klasy jest wmontowany kompresorek dwustopniowy w instalację rozruchową. Kompresorek w czasie pracy silnika doładuje ciągle butle do 50 atmosfer.



Schemat rozrusznika sprężonym powietrzem.

1-butla sprężonego powietrza, 2 - manometr  
3-kran główny, 4-pompka zastrzykowa 5-przewód  
koninkowy, 6-rozdzielacz silnika, 7-korpus i  
przewody rozdzielacza 8-zbiornik paliwa,  
9-atamizet 10-przewód paliwa do silnika, 11-przewód  
powietrzany, 12-kranik spustowy, 13-przewód - ze zbior-  
nika paliwa, 14-pompka zastrzykowa, 15-końcówka do  
kompresora.

## ROZRUCH OD SPECJALNEJ PRZYSTAWKI.

Na podwoziu samochodowym montuje się specjalną przystawkę, która czerpie napęd z silnika samochodowego, przez przekładnię. Końcówka tej przystawki może być nakładana na czepek śmigła wyposażony do tego celu w specjalny uchwyt klowy. Obracając końcówkę przystawki kręcimy tym samym wałem korbowym, powodując rozruch silnika. Gdy silnik zapracuje kły odpychają przystawkę. Przystawka taka może być stosowana do silników średnich i dużych mocy. Rozwiązanie tego rodzaju nazywane jest autostarterem.

## III. ZAPALANIE SILNIKA

Pracujący silnik lotniczy wymaga w odpowiednich momentach zapalenia sprężonej mieszanki w cylindrze. Proces ten nazywa się popularnie zapłonem. W nowoczesnych konstrukcjach wymaga się, by w zależności od ilości obrotów następowало automatyczne regulowanie czasu zapłonu silnika /przyspieszenie zapłonu/. Zapalenie odbywa się na drodze elektrycznej przy czym cały układ składa się z:

- iskrowników /dwóch/,
- świec /po dwie na każdy cylinder/,
- kabli i przewodów ekranowanych/,
- wyłącznika,
- cewki rozruchowej albo iskrownika rozruchowego.

## WYMAGANIA OGÓLNE.

Od układu zapłonowego wymaga się aby dostarczał większej ilości energii elektrycznej na elektrodach świec niż to jest potrzebne tylko dla samego zapalenia mieszanki. Ilość tej energii jest zależna od stosunku paliwa i powietrza w mieszance. Ogólnie maleje ona z rosnącym

napięciem prądu zapłonowego i wzbogaceniem mieszanki. Dla szczelin stosowanych między elektrodami świecy, wynoszących od 0,3-0,4 mm niezbędne napięcie wynosi średnio 5000 V, przy czym w praktyce wskutek zużycia się elektrod szczelina powiększa się, wymagając nadmiaru napięcia. Dochodzi ono do 15000 V i wyżej.

Poza tym rodzaj pracy silnika również stawia pewne wymagania, tak więc przy rozruchu wymagane jest wyższe napięcie niż przy normalnym biegu. Wysokość lotu także wywiera wpływ na pracę zapłonu. Z rosnącą wysokością maleje gęstość powietrza, co stwarza inne warunki przeskoku iskier na elektrodach świec. W związku z tym napięcie wymagane dla normalnego zapłonu maleje z rosnącą wysokością lotu.

Iskrownik lotniczy powinien móc pracować przez czas dłuższy bez gruntownej kontroli. Czas ten odpowiada okresowi między remontami silnika, wynoszącemu 200-600 godz.pracy. W celu uzyskania niezawodnego zapłonu w silniku stosuje się powszechnie dwa iskrowniki, z których każdy oddzielnie dostarcza prądu do jednej świecy w cylindrze. W celu polepszenia warunków spalania cylinder jest wyposażony w dwie świece, które są zasilane niezależnie, co gwarantuje zapłon od jednego iskrownika w wypadku uszkodzenia drugiego.

Zależnie od woli pilota, wyrażającej się w odpowiednim ustawieniu wyłącznika, iskrowniki przy kontroli pracy na ziemi mogą pracować jednocześnie lub oddzielnie. Lot odbywa się zawsze na dwóch iskrownikach. Dźwignice wyłącznika można nadać 4 położenia:

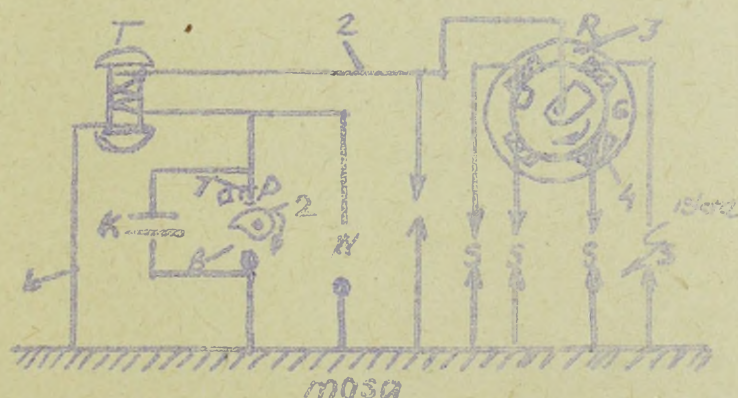
- 0 - zapłon wyłączony, silnik nie pracuje,
- 1 - pracuje pierwszy iskrownik /lewy/,
- 2 - pracuje drugi iskrownik /prawy/,
- 1 + 2 - czynne są obydwie iskrowniki.

## ISKROWNIK

Iskrowniki dzielą się w zależności od typu układu elektromagnetycznego na dwa układy t.j. na:

1. układ o stałych magnesach - /wirujące uzwojenia/,
2. układ o ruchomych magnesach - /nieruchome uzwojenia/.

Zasada działania iskrownika polega na wytwarzaniu prądu elektrycznego o wysokim napięciu. Odbywa się to dzięki wykorzystaniu istniejącego wokół magnesu pola magnetycznego. Na skutek zmiennego pola magnetycznego zaczyna płynąć prąd niskiego napięcia w uzwojeniu pierwotnym. Przerwywając obwód uzwojenia pierwotnego następuje kurczenie się pola elektromagnetycznego i zanikające jego linie przecinają uzwojenie wtórne. Proces ten wywołuje w uzwojeniu wtórnym prąd wysokiego napięcia. Zasada ta nazywa się indukcją elektromagnetyczną. Prąd ten doprowadzony zostaje do rozdzielacza a stamtąd przewodami do świecy dając iskry. Rys.7 przedstawia schemat iskrownika.



Schemat iskrownika do s-ka 4-cylindrowego:

T-twornik, K-kondensator, F-przerwywacz, W-wyłącznik,  
R-rozdzielacz, S-świeca zapłonowa, 1-uzwojenie pierwotne,  
2-uzwojenie wtórne i iskiernik bezpieczny, 3-oprawa,  
4-segmenty, 5-palec rozdzielczy, 6-węgielki ślizgowe,  
7-styki przerywacza, 8-dźwigienka, 9-kułaczek napędzający.

W momencie rozruchu iskrowniki nie dają iskry na świecach ze względu na niskie obroty. W tym celu w układ instalacji zapłonu wprowadza się iskrownik rozruchowy, albo cewkę rozruchową. Podczas rozruchu silnika pokręcamy ręcznie iskrownik rozruchowy który wytwarza i podaje prąd na świece. Jeżeli do układu zapalania mamy wstawioną cewkę, to przyciskamy jej przycisk w czasie rozruchu. Wytworzony prąd w cewce płynie do elektrody rozruchowej w iskrowniku a stamtąd do świecy. Obecność cewki wymaga połączenia jej ze źródłem prądu - z akumulatorem. Cewka rozruchowa posiada uzwojenie pierwotne /do którego jest podłączenie z akumulatorem/, uzwojenie wtórne i przerywacz. Dzięki przerywaniu obwodu pierwotnego indukuje się prąd wysokiego napięcia w uzwojeniu wtórnym skąd jest odprowadzany na świece. Cewka pracuje tylko przy rozruchu silnika. Po wyłączeniu jej przejmują rolę źródła napięcia iskrowniki, które pracują przez cały czas pracy silnika.

Celem zmniejszenia ciężaru można spotkać zamiast dwa iskrowników jeden iskrownik t.zn. zdwojony. Posiada on jeden korpus w którym są wmontowane dwa niezależne układy elektryczne, odpowiadające dwóm iskrownikom.

Każdy iskrownik na silniku posiada automat przyspieszenia zapłonu. Automat ten ze wzrostem obrotów silnika powoduje wcześniejsze podanie iskry.

## E K R A N O W A N I E

Iskrowniki, świece, prądnicą wytwarzają podczas swojej pracy fale elektromagnetyczne, które zakłócają pracę stacji radiowej na samolocie. W niektórych wypadkach zjawisko to zupełnie uniemożliwia odbiór radiowy.

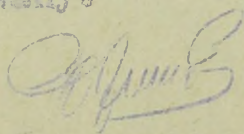
Oprócz wymienionych elementów wysyłanie fal zakłócających wywołują także poszczególne przewody instalacji

elektrycznej. Walka z tym zjawiskiem możliwa jest, gdy utrudnimy falam zaburzającym wyjście z iskrowników, świec prądnic oraz przewodów. W tym celu elementy układu zapłonowego, oraz prądnic pokładowej wraz z przewodami pokrywa się specjalnymi osłonami. Ekran ma postać metalowej plecionki drucianej lub rurki panczernej i zbiera na siebie ładunki zaburzające w postaci prądów indukowanych. Jest to t.zw. ekranowanie. Iskrownik, cewka, świece posiadają ekranowanie w postaci osłony metalowej.

### S W I E C E

Świeca pod wpływem prądu elektrycznego wysokiego napięcia wytwarza iskry, niezbędne do zapalenia mieszanki. Świeca składa się z dwóch przewodników, t.j. elektrody środkowej i oprawy zewnętrznej, oddzielonych od siebie izolatorem. Od świecy wymaga się nie tylko dobrego wytwarzania iskier, ale i dużej odporności na trudne warunki pracy w cylindrze. Musi ona wytrzymać znaczne skoki temperatur, nie może przegrzewać się i musi być nieczuła na osadzanie się na niej nagaru.

Iskrzenie świec sprawdza się pod ciśnieniem na specjalnych stoiskach, przy czym ustala się ciśnienie, przy którym świeca przestaje iskrzyć. Gdy świeca przestaje iskrzyć przy  $p = 7 \text{ kg/cm}^2$  nie należy jej zakładać do silnika. Należy pamiętać o tym, że świece wolno rozbiierać i składać tylko wtedy, gdy posiadamy do tego specjalne narzędzie. W przeciwnym razie świeca może stracić szczelność, ważną zwłaszcza dla świec ekranowych. Aby nie uszkodzić świecy przy wkręcaniu i wykręcaniu, należy stosować klucz rurowy dokładnie do niej dopasowany.

  
Kpt. inż. POZNAŃSKI

