

2.5. PROCES SPALANIA

Tłokowe silniki spalinowe mogą być napędzane paliwami ciekłymi lub gazowymi. Podstawowym paliwem ciekłym do silników ZI jest benzyna, zaś do silników ZS - olej napędowy. Używane są także alkohole: etylowy i metylowy, gaz ziemny, zawierający jako główny składnik metan, oraz tzw. gazy ciekłe (tzn. łatwo skraplające się), których składnikami są butan i propan.

Paliwo	Ciepło właściwe kJ/kg*K	Ciepło parowania J/g	Napięcie powierzh. N/m	Moduł spręż. obj. GPa	Lepkość przy 20°C mm ² /s	Temperatura destylacji °C	Gęstość g/cm ³
Benzyna	2,46	230...335	19,7...21,6	1,26	ok. 0,6	30...200	0,7...0,78
Olej napędowy	2,46	210...250	27,5...29,5	0,94	ok. 4,0	150... 360	0,815... 0,850
Alkohol metylowy	2,68	879	22,3	---	ok. 1,4	78	0,79
Alkohol etylowy	2,62	1190	22,8	---	ok. 0,9	65	0,79
Nafta lotnicza	2,46	250...270	22,6...26,5	1,07	ok. 3,0	---	---

Skład elementarny typowych paliw ciekłych

Paliwo	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Skład elementarny (udział masowy)			Liczba atomów przypadających na jeden atom węgla	
		Węgiel C _p	Wodór H _p	Tlen O _p	wodoru	tłenu
Benzyna	4...12	84,5...85,5	15,5...14,5	---	2,1...2,2	---
Olej napędowy	12...24	85,8...86,0	13,5...13,0	---	1,8...1,9	---
Alkohol etylowy	2	52,2	13,0	34,8	3,0	0,5
Alkohol metylowy	1	37,5	12,5	50,0	4,0	1,0

*) ok. 1% masy przypada na tlen, siarkę i inne domieszki

Spalanie paliw polega na utlenianiu ich składników palnych. Tlen potrzebny do spalania czerpany jest głównie z powietrza wypełniającego cylinder silnika. Wykorzystywane są również nieznaczne ilości tlenu zawarte w samym paliwie.

Teoretyczna ilość powietrza potrzebna do spalania 1 kg paliwa:

$$L_t = \frac{1}{0,21} \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} - \frac{o}{32} \right) \text{ kmol / kg}$$

gdzie: c, h, o oznaczają odpowiednie udziały masowe węgla, wodoru i tlenu w paliwie

Jeżeli L_t pomnożymy przez masę cząsteczkową powietrza - 28,95 to teoretyczną ilość powietrza określimy w kg/kg paliwa

$$L_t' = 28,95 \cdot L_t$$

Rodzaj paliwa	Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza	
	L_t kmol/ kg paliwa	L_t' kg/kg paliwa
Benzyna	0,512	14,8
Olej napędowy	0,495	14,3

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza podstawowych paliw ciekłych

Współczynnik nadmiaru powietrza : λ

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

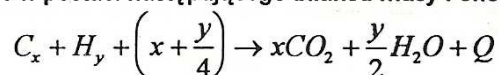
gdzie : L - ilość powietrza dostarczanego do cylindra podczas jednego obrotu ,
 L_t - ilość powietrza teoretycznie potrzebna do całkowitego i zupełnego spalenia paliwa zawartego w mieszance palnej.

Przeciętne wartości współczynnika nadmiaru powietrza w znamionowych warunkach pracy silników :

- $\lambda = 0,85$ do $1,10$ - silniki ZI
- $\lambda = 1,40$ do $1,65$ - silniki ZS z wtryskiem bezpośrednim
- $\lambda = 1,15$ do $1,40$ - silniki ZS z komorami dzielonymi
- $\lambda = 1,70$ do $2,20$ - silniki ZS doładowane .

- $\lambda = 1$ - skład stechiometryczny
- $\lambda > 1$ - mieszanka uboga
- $\lambda < 1$ - mieszanka bogata

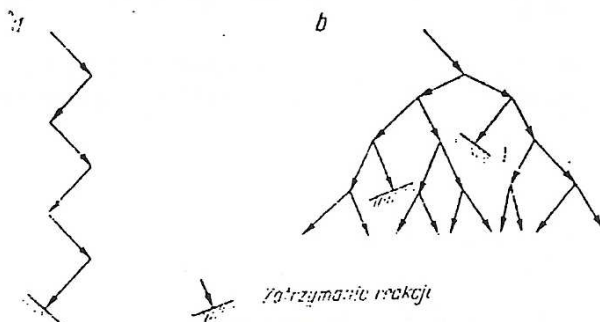
Paliwa silnikowe są mieszaniną węglowodorów . Reakcję zupełnego spalania dowolnego węglowodoru można zapisać w postaci następującego bilansu masy i energii :



Q - efekt cieplny reakcji .

Spalanie jest nazywane całkowitym jeżeli w reakcji bierze udział całość znajdującego się w komorze spalania paliwa , a zupełnym jeżeli produktami reakcji są związki , które nie mogą już ulec dalszemu utlenieniu .

Przebieg reakcji spalania paliwa i natężenie wywiązywania ciepła mają istotny wpływ na wartość średniego indykowanego ciśnienia , sprawność zamiany ciepła na pracę , a także na obciążenie cieplne i mechaniczne części silnika . Spalanie paliwa przebiega w fazie gazowej , w związku z tym paliwo przed spalaniem musi ulec odparowaniu całkowitemu. Reakcja chemiczna spalania połączona jest z wydzielaniem ciepła oraz powoduje przemieszczanie reagentów i powstających spalin .

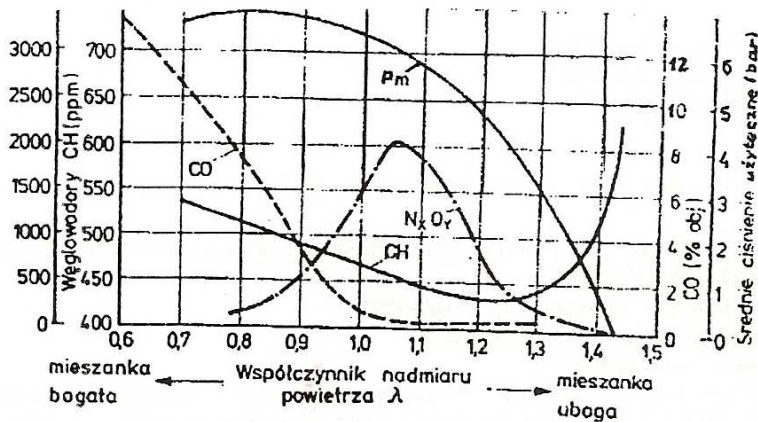


Rys. 2.5.1 Schematy reakcji łańcuchowych a- prosta , b- rozgałęziona

Parametry końca spalania :

- T - temperatura końca spalania
 T= 2500 ... 2800 K - w silnikach ZI
 T= 1900 ... 2300 K - w silnikach ZS
- p - najwyższe ciśnienie przy końcu spalania
 silniki ZI : p = 3 ... 6,5 MPa dla silników trakcyjnych
 p = 2,5 ... 4 MPa dla silników przemysłowych
 silniki ZS : p = 5 ... 6 MPa wolnoobrotowe silniki z wtryskiem bezpośrednim
 p = 7 ... 9 MPa szybkoobrotowe silniki z wtryskiem bezpośrednim
 p = 5,5 ... 6,5 MPa silniki z komorami wirowymi
 p = 5 ... 7 MPa silniki z komorami wstępnymi
 p = 5 ... 6 MPa silniki z zasobnikami powietrza
 p = 5,5 ... 7 MPa wolnoobrotowe silniki doładowane
 p = 8 ... 12 MPa szybkoobrotowe silniki doładowane

W wyniku spalania paliw w silniku ZI powstają spaliny o następującym składzie : dwutlenek węgla , tlenek węgla , para wodna , tlen , azot , tlenki azotu , wodór . W spalinach są zawarte też : niespalne węglowodory , tlenki ołowiu oraz tlenki siarki . W zestawieniu tym jako szczególnie trujące należy wymienić : tlenek węgla oraz tlenki azotu , ołowiu i siarki . Duże zanieczyszczenie środowiska (powstawanie smogu) jest spowodowane niespalonymi węglowodorami . Silniki ZS dzięki lepszemu spalaniu emitują spaliny o mniejszej zawartości tlenku węgla .



Rys. 2.5.2. Wpływ współczynnika nadmiaru powietrza na skład spalin
 Współczynnik nadmiaru powietrza λ wyraża stosunek paliwa do powietrza w mieszance . Im więcej zostanie dodane paliwa tym niższa będzie wartość λ a tym samym mieszanka będzie bogatsza . W obszarze maksymalnej mocy silnika bardzo zwiększ się emisja CO . Po ograniczeniu mocy ale jeszcze przy współczynniku $\lambda=1$, tlenki azotu osiągają wartość maksymalną natomiast emisja CO jest do opanowania . Przy znacznym zubożeniu mieszanki (np. w czasie hamowania silnikiem) gwałtownie zwiększa się ilość niespalonych węglowodorów .