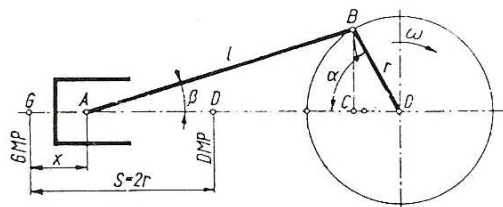


## 9.1. KINEMATYKA UKŁADU KORBOWO-TŁOKOWEGO

Zadaniem układu korbowo-tłokowego jest zamiana ruchu postępowo-zwrotnego tłoka na ruch obrotowy wału korbowego. Układ ten składa się z tłoka, korbowodu i wału korbowego. Tłok jest połączony z korbowodem w sposób przegubowy za pomocą sworznia, którego oś jest równoległa do osi wału korbowego. Drugi koniec korbowodu obejmuje obrotowo czop korby wału korbowego.

### 9.1.1. DROGA TŁOKA

Odległość przebyta przez tłok od górnego martwego położenia nazywana jest drogą tłoka.



Rys. 9.1. Droga tłoka w prostym mechanizmie korbowym.  
 $r$  – promień korby ( $|OB|$ ),  $l$  – długość korbowodu ( $|AB|$ ),  
 $s$  – skok tłoka,  $x$  – droga tłoka,  $\omega$  – prędkość kątowna wału korbowego,  $\alpha$  – kąt obrotu mierzony od jej położenia w GMP,  $\beta$  – kąt zawarty między osią korbowodu i osią cylindra.

Gdy tłok po czasie  $t$  zostanie przesunięty od GMP, to korba  $r$  obróci się o kąt  $\alpha$  od początkowego położenia, a korbowód będzie tworzył z osią cylindrów kąt  $\beta$  (rys. 1). Droga przebyta przez tłok będzie wynosić:

$$\begin{aligned} x &= GO - AO \\ x &= l + r - (AC + CO) \\ \text{z } \triangle ABC \quad AC &= l \cos \beta \\ \text{z } \triangle COB \quad CO &= r \cos \alpha \end{aligned}$$

stąd

$$x = l + r - (l \cos \beta + r \cos \alpha)$$

korzystając z twierdzenia sinusów dla  $\triangle OAB$ :

$$\frac{l}{\sin \alpha} = \frac{r}{\sin \beta}$$

$$\sin \beta = \frac{r}{l} \sin \alpha$$

$$\lambda = \frac{r}{l} \quad \text{- stosunek promienia korby do długości korbowodu}$$

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha$$

korzystając z jedynki trygonometrycznej otrzymujemy:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha} = (1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}$$

Gdy ostatnie wyrażenie rozwiniemy jako dwumian Newtona typu  $(a - b)^n$  i uwzględnimy sumę dwóch pierwszych wyrazów otrzymanego szeregu to otrzymamy:

$$\cos \beta \approx 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \alpha$$

Dla uproszczenia przedstawiamy:

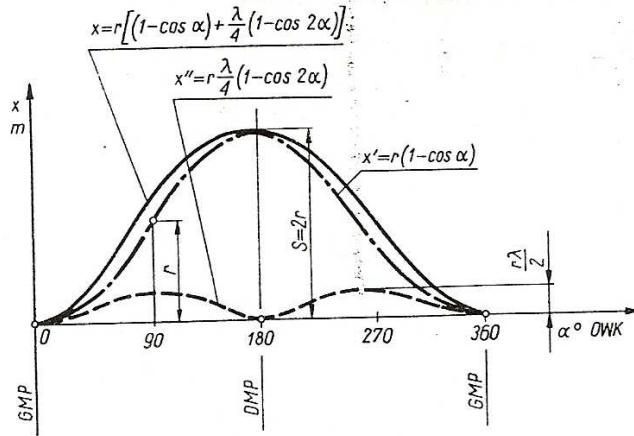
$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

Ostateczny wzór na drogę tłoka ma postać:

$$x = r \left[ (1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right]$$

Ze wzoru łatwo zauważyć, że droga tłoka jest sumą dwóch przemieszczeń:

- przemieszczenia I rzędu  $x'$
- przemieszczenia II rzędu  $x''$ .



$$x = x' + x''$$

$$x' = r(1 - \cos \alpha)$$

$$x'' = r \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha)$$

Rys. 9.2. Droga tłoka w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika

### 9.1.2. PRĘDKOŚĆ TŁOKA

Kąt obrotu korby  $\alpha$  można przedstawić jako iloczyn prędkości kątowej wału korbowego  $\omega$  i czasu  $t$ :

$$\alpha = \omega t$$

Podstawiając do wzoru na drogę tłoka otrzymujemy:

$$x = r \left[ (1 - \cos \omega t) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\omega t) \right]$$

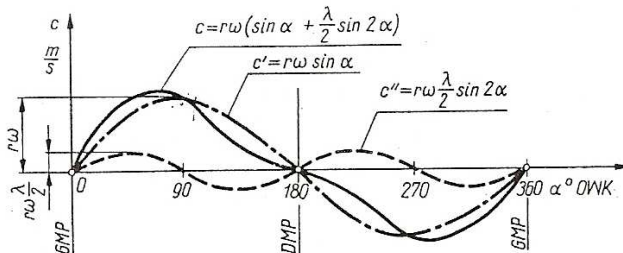
Różniczkując powyższe równanie względem czasu  $t$  otrzymujemy równanie prędkości tłoka:

$$c = \frac{dx}{dt} = r\omega \sin \omega t + r\omega \frac{\lambda}{2} \sin 2\omega t$$

$$c = r\omega \left( \sin \omega t + \frac{\lambda}{2} \sin 2\omega t \right)$$

$$c = r\omega \left( \sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

Podobnie jak przesunięcie tłoka także i jego prędkość można przedstawić jako sumę dwóch prędkości (I i II rzędu) zmiennych sinusoidalnie.



$$c = c' + c''$$

$$c' = r\omega \sin \alpha$$

$$c'' = r\omega \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha$$

Rys. 9.3. Prędkość tłoka w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika

Prędkość tłoka zmienia się okresowo przyjmując wartości dodatnie, ujemne lub równe zero (GMP i DMP). Tłok ma maksymalną prędkość gdy korbowód jest prostopadły do ramienia korby ( $\alpha=90^\circ$  i  $\alpha=270^\circ$ ). Im większa jest długość korbowodu  $l$  w stosunku do promienia wykorbienia  $r$ , czyli im  $\lambda$  jest mniejsze, tym prędkość tłoka jest większa.

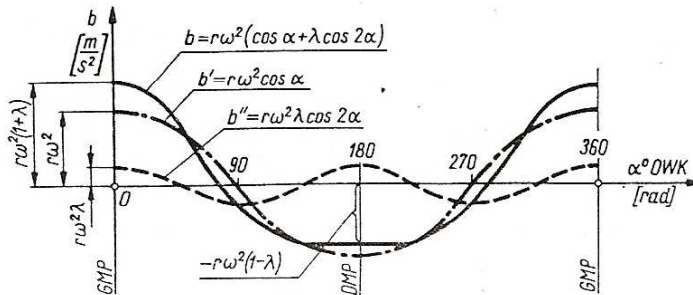
### 9.1.3. PRZYSPIESZENIE TŁOKA

Różniczkując równanie prędkości tłoka względem czasu  $t$  otrzymamy równanie przyspieszenia tłoka:

$$b = \frac{dc}{dt} = r\omega^2 (\cos \omega t + \lambda \cos 2\omega t)$$

$$b = r\omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

Przyspieszenie tłoka jest sumą przyspieszeń I i II rzędu.



$$b = b' + b''$$

$$b' = r\omega^2 \cos \alpha$$

$$b'' = r\omega^2 \lambda \cos 2\alpha$$

Rys. 9.4. Przyspieszenie tłoka w funkcji kąta obrotu wału korbowego

Tłok uzyskuje maksymalne przyspieszenie w GMP i w DMP:

- w GMP  $\alpha=0^\circ$ ,  $b = r\omega^2 (1 + \lambda)$
- w DMP  $\alpha=180^\circ$ ,  $b = -r\omega^2 (1 - \lambda)$