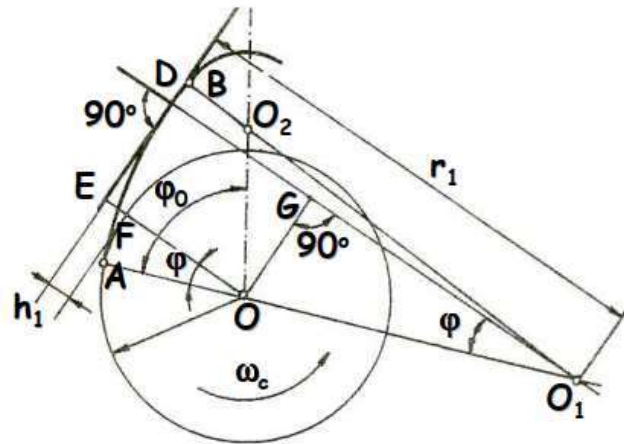


- Pentru  $\varphi=0$  și  $\varphi=\varphi_0$  din relațiile accelerațiilor  $j_1$  și  $j_2$  se calculează accelerațiile extreme

$$j_A = j_{1,\max} = 10^{-3} (r_1 - r_0) \cdot \omega_c^2$$

$$j_C = j_{2,\max} = 10^{-3} (r_0 + h_{\max} - r_2) \cdot \omega_c^2$$

- Unghiul  $\varphi_B$  de deschidere al primului arc de cerc se determină din triunghiul  $OO_1O_2$



$$\varphi_B = \arcsin\left(\frac{r_0 + h_{\max} - r_2}{r_1 - r_2} \sin \varphi_0\right)$$

- Mărimile cinematice ale tchetului se calculează pe porțiunea **AB** (pentru  $\varphi \leq \varphi_B$ ) cu relațiile **A, B, C**

$$h_1 = (r_1 - r_0)(1 - \cos \varphi) \quad \mathbf{A}$$

$$w_1 = 10^{-3}(r_1 - r_0) \cdot \omega_c \sin \varphi \quad [\text{m/s}] \quad \mathbf{B}$$

$$j_1 = 10^{-3}(r_1 - r_0) \cdot \omega_c^2 \cos \varphi \quad [\text{m/s}^2] \quad \mathbf{C}$$

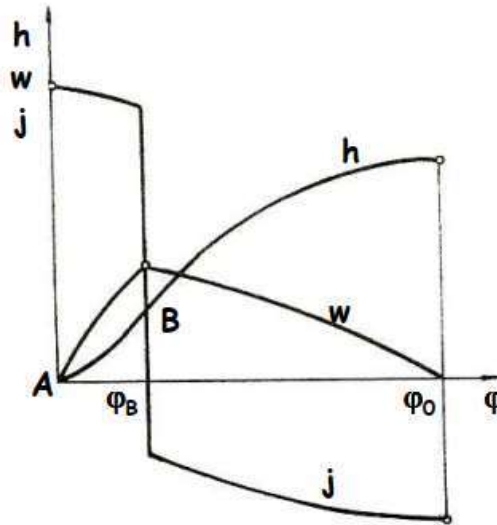
- Mărimile cinematice ale tchetului se calculează pe porțiunea **BC** (pentru  $\varphi > \varphi_B$ ) cu relațiile **D, E, F**

$$h_2 = (r_0 + h_{\max} - r_2) \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi) + (r_2 - r_0) \quad [\text{mm}] \quad \mathbf{D}$$

$$w_2 = 10^{-3}(r_0 + h_{\max} - r_2) \cdot \omega_c \sin(\varphi_0 - \varphi) \quad [\text{m/s}] \quad \mathbf{E}$$

$$j_2 = 10^{-3}(r_0 + h_{\max} - r_2) \cdot \omega_c^2 \cos(\varphi_0 - \varphi) \quad [\text{m/s}^2] \quad \mathbf{F}$$

- Variația mărimilor cinematice relevă salturi ale accelerației la trecerile dintre cele două arce de cerc ale fiecărui flanc



- După stabilirea caracteristicilor geometrice ale profilului camei și a mărimilor cinematice imprimare tachetului, se determină variația ariei  $A_s$  a secțiunii de curgere pe lângă talerul supapei
- În acest scop se calculează ridicările supapei  $h_s$  în funcție de ridicările tachetului  $h_t$  cu relația

$$h_t = i \cdot h_s$$

- Până când  $h_s$  atinge valoarea  $h_{s,lim}$  dată de relația

$$h_{s,lim} = \frac{b}{\sin \theta}$$

aria  $A_s$  se calculează cu formula :

$$A_s = \pi \cdot (d_0 + h_s \sin \theta \cos \theta) \cdot h_s \cos \theta$$

- În continuare ( $h_s > h_{s,lim}$ ) se aplică formula ariei  $A_s$

$$A_s = \pi \cdot (d_0 + b \cos \theta) \cdot \sqrt{h_s^2 - 2 \cdot b \cdot h_s \sin \theta - b^2}$$

- Se determină apoi cronosecțiunea  $K$  cu relația

$$K = \frac{10^{-6}}{6 \cdot n_c} \int_0^{\phi_d} A_s d\varphi \quad [m^2 s]$$

și se verifică viteza medie de curgere pe lângă talerul supapei cu relația

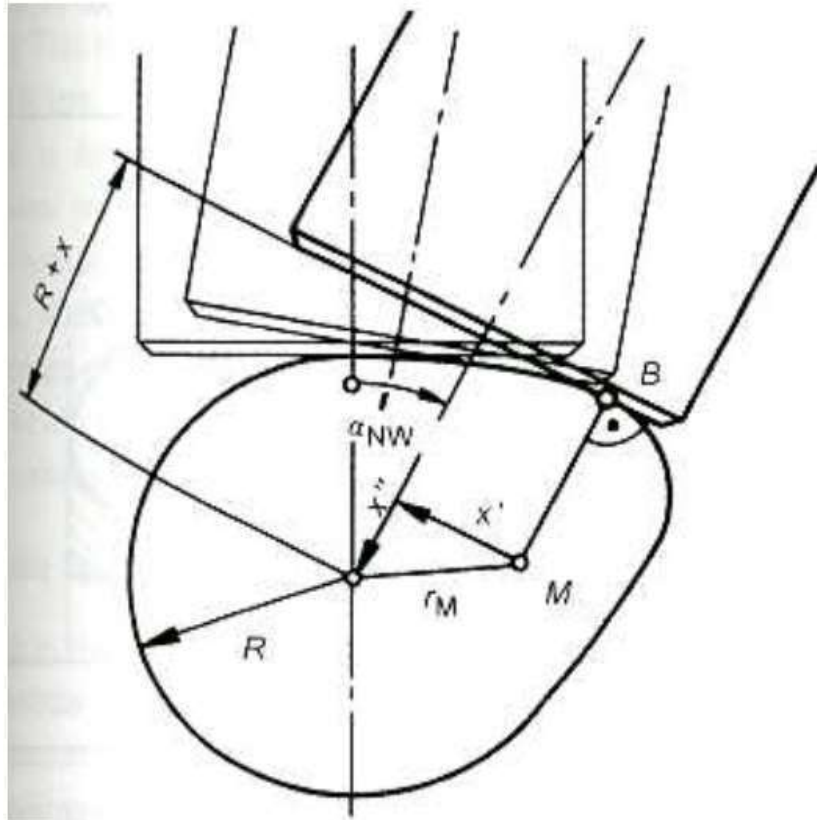
$$w_s = 10^{-3} \frac{V_s \cdot \eta_v}{K} \quad [\text{m/s}]$$

în care  $V_s$  este cilindrul totală, în litri iar  $\eta_v$  coeficientul de umplere

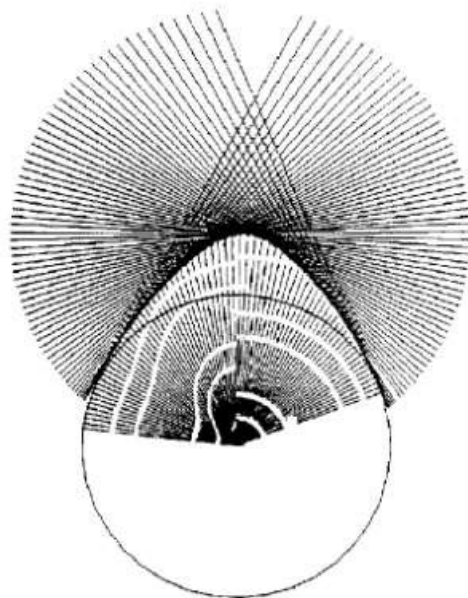
- Viteza  $w_s$  trebuie să fie suficient de ridicată pentru a nu fi necesară o cronosecțiune prea mare și deci greu de realizat, însă  $w_s$  înaltă antrenează pierderi gazodinamice severe
- Verificarea este acoperitoare dacă  $w_s$  se înscrie în domeniul :
  - 80...110 (m/s) la admisie
  - 120...220 (m/s) la evacuare
- În caz contrar trebuie modificată cronosecțiunea, ceea ce se poate obține
  - Schimbând fazele de distribuție, sau
  - Schimbând dimensiunile supapei

## Trasarea profilului camei

- Camele folosite la motoarele cu ardere internă sunt de tipul **cu galet** sau **cu platou plan** sau **cu platou curb** (în acest caz avem de-a face cu o camă cu galet, dar galetul este fix)
- Pentru trasarea profilului camei avem în vedere legea de mișcare ce trebuie imprimată supapei
- Dacă mecanismul are demultiplicare (când avem culbutori) legea de mișcare stabilită pentru supapă trebuie transpusă pe direcția camei
  
- Să presupunem că am realizat acest lucru și vrem să trasăm **o camă cu platou**
- Se fixează unghiul de deschidere
- Se duc **perpendiculare pe înălțimea de ridicare** măsurată de la cercul de bază pentru fiecare unghi de rotație al camei
- Aceste perpendiculare nu reprezintă altceva decât **tachetul tangent la profilul camei**
- **Înfășurătoarea** acestor tangente reprezintă profilul camei



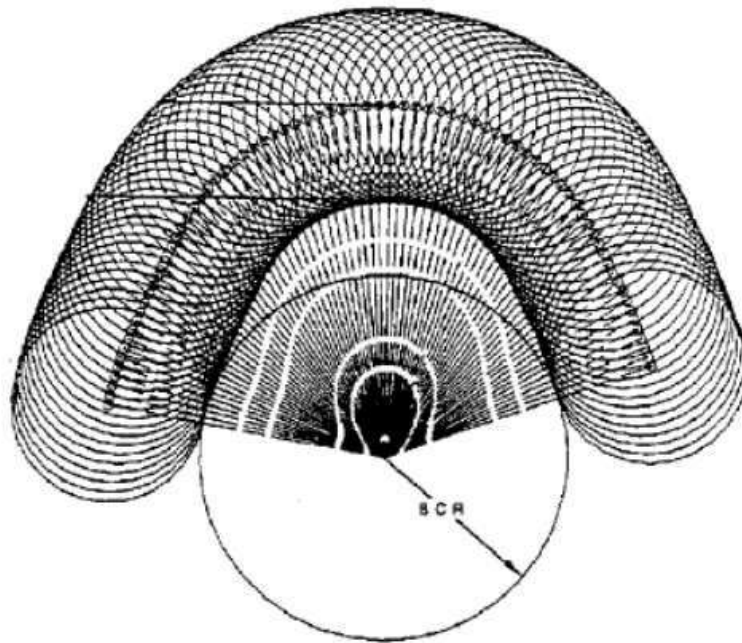
Profil camă  
cu tchet  
plan



- Dacă vrem să trasăm **o camă cu galet**, se procedează la fel ca în cazul camei cu platou, dar în locul perpendicularelor **se trasează cercuri** cu diametrul egal cu cel al galetului
- **Înfășurătoarea** acestor cercuri reprezintă profilul camei
- În final profilul trebuie aproximat prin arce de cerc și astfel se obține profilul final al camei

## Trasare profil camă cu tachet plan

(DG Valvetrain System)





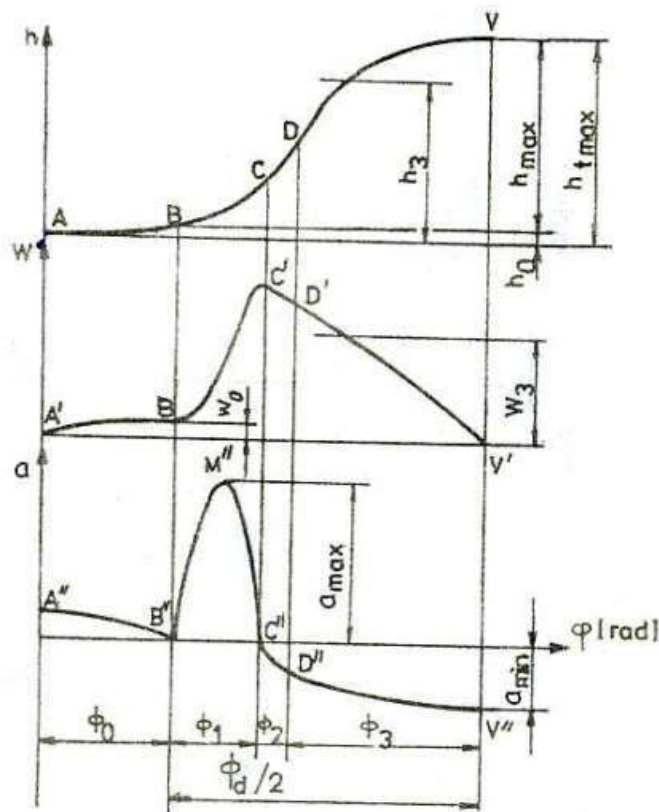
## Cama cu profil Kurz

- La motoarele rapide moderne camele asigură o variație continuă a accelerațiilor
- Aceste came "fără șoc" se proiectează impunând legi de deplasare pentru supapă sau tachet
- Lege propusă de KURZ pentru cama cu profil simetric sau asimetric

## Cama Kurz cu profil simetric

- Se fac notațiile:
- $\Phi_i$  - unghiul la centru al curbei no.  $i$  a conturului camei (parcurgerea se face în sens invers sensului de rotație)
- $\varphi_i$  - unghiul de rotație (se măsoară de la începutul curbei  $i$ )
- $x_{ij}$  - coeficienți în expresiile mărimilor cinematice ale curbei
  - deplasare  $h$
  - viteză  $w$
  - accelerație  $a$

- Zona de racordare dintre cercul de bază și flancul de ridicare  $\Phi_0$ 
  - Accelerația tchetului este un sfert de sinusoidă
- Flancul de ridicare se compune din trei curbe:
  - Pe prima curbă  $\Phi_1$  accelerația tchetului este o jumătate de sinusoidă și este pozitivă
  - Pe curba a doua  $\Phi_2$  accelerația tchetului este un sfert de sinusoidă și este negativă
  - Pe curba a doua  $\Phi_3$  accelerația tchetului este un polinom de gradul 4 și este negativă



Racordare de la cercul de bază  
la flancul de ridicare  
curba **0** -  $\Phi_0$   
( $0 \leq \varphi_0 \leq \Phi_0$ )

Ridicarea tachetului **h**

$$h = h_0 \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2\Phi_0} \varphi_0 \right)$$

Viteza tachetului **w**

$$w = \omega_c \cdot h_0 \cdot \frac{\pi}{2\Phi_0} \cdot \sin \frac{\pi}{2\Phi_0} \varphi_0$$

Accelerația tachetului **a**

$$a = \omega_c^2 \cdot h_0 \cdot \left( \frac{\pi}{2\Phi_0} \right)^2 \cdot \cos \frac{\pi}{2\Phi_0} \varphi_0$$

Flancul de ridicare  
curba **1** -  $\Phi_1$   
( $0 \leq \varphi_1 \leq \Phi_1$ )

## Ridicarea tachelului $h_1$

$$h_1 = h_0 + x_{11} \cdot \varphi_1 - x_{12} \cdot \sin \frac{\pi}{2\Phi_1} \cdot \varphi_1$$

$$h_C = h_0 + x_{11} \cdot \varphi_1$$

## Viteza tachelului $w_1$

$$w_1 = \omega_c \cdot \left( x_{11} - x_{12} \cdot \frac{\pi}{\Phi_1} \cdot \cos \frac{\pi}{\Phi_1} \varphi_1 \right)$$

## Accelerația tachelului $a_1$

$$a_1 = \omega_c^2 \cdot x_{12} \cdot \left( \frac{\pi}{\Phi_1} \right)^2 \cdot \sin \frac{\pi}{\Phi_1} \varphi_1$$

## Flancul de ridicare curba **2** - $\Phi_2$ ( $0 \leq \varphi_2 \leq \Phi_2$ )

## Ridicarea tachelului $h_2$

$$h_2 = h_C + x_{21} \cdot \varphi_2 + x_{22} \cdot \sin \frac{\pi}{2\Phi_2} \cdot \varphi_2$$

$$h_D = h_C + x_{21} \cdot \Phi_2 + x_{22}$$

## Viteza tachelului $w_2$

$$w_2 = \omega_c \cdot \left( x_{21} + x_{22} \cdot \frac{\pi}{2\Phi_2} \cdot \cos \frac{\pi}{2\Phi_2} \varphi_2 \right)$$

## Accelerația tachelului $a_2$

$$a_2 = -\omega_c^2 \cdot x_{22} \cdot \left( \frac{\pi}{2\Phi_2} \right)^2 \cdot \sin \frac{\pi}{2\Phi_2} \varphi_2$$

# Flancul de ridicare curba **3** - $\Phi_3$ ( $0 \leq \varphi_3 \leq \Phi_3$ )

Ridicarea tachetului  **$h_3$**

$$h_3 = h_D + x_{31} \cdot (\Phi_3 - \varphi_3)^4 - x_{32} \cdot (\Phi_3 - \varphi_3)^2 + x_{33}$$

Viteza tachetului  **$w_3$**

$$w_3 = \omega_c \cdot \left[ -4x_{31} \cdot (\Phi_3 - \varphi_3)^3 + 2x_{32} \cdot (\Phi_3 - \varphi_3) \right]$$

Accelerația tachetului  **$a_3$**

$$a_3 = \omega_c^2 \cdot \left[ 12x_{31}(\Phi_3 - \varphi_3)^2 - 2x_{32} \right]$$

Viteza maximă a tachetului  $w_{\max}$

$$w_{\max} = w_{C'} = \omega_c \cdot \left( x_{11} + x_{12} \frac{\pi}{\Phi_1} \right)$$

Accelerația maximă a tachetului  $a_{\max}$

$$a_{\max} = a_{M''} = \omega_c^2 \cdot x_{12} \cdot \left( \frac{\pi}{\Phi_1} \right)^2$$

Accelerația minimă a tachetului  $a_{\min}$

$$a_{\min} = a_{V''} = -2\omega_c^2 \cdot x_{32}$$

Raza minimă la vârful profilului  $\rho_{\min}$   
(tachet plan)

$$\rho_{\min} = r_0 + h_{\max} - 2x_{32}$$

Raza minimă la vârful profilului  $\rho_{\min}$   
(tachet cu rolă)

$$\rho_{\min} = \frac{(r_0 + h_{\max} + r_r)^2}{r_0 + h_{\max} + r_r + 2x_{32}} - r_r$$

$r_r$  - raza rolei

Raza maximă a profilului la unghiul  $\Phi_1/2$   
 $\rho_{\max}$  (tachet plan)

$$\rho_{\max} = r_0 + h_{\max} + x_{11} \frac{\Phi_1}{2} + \left[ \left( \frac{\pi}{\Phi_1} \right)^2 - 1 \right]$$

Raza maximă a profilului la unghiul  $\Phi_1/2$   
 $\rho_{\max}$  (tachet cu rolă)

$$\rho_{\max} = \frac{\sqrt[3]{(H^2 + x_{11}^2)^2}}{H^2 + 2x_{11}^2 - H \cdot x_{12} \left( \frac{\pi}{\Phi_1} \right)^2} - r_r$$

$$H = r_0 + h_0 + x_{11} \frac{\Phi_1}{2} - x_{12} + r_r$$

## Determinarea coeficienților $x_{ij}$

- Se folosesc condițiile de egalitate în punctele de trecere de la o curbă la alta (ex. în punctul D:  $h_{2D} = h_{3D}$ )
- Se stabilesc **6 ecuații** în punctele D, E, B', C', D' și D''
- Sunt **7 coeficienți**
- Se impune un raport al accelerațiilor la capetele ultimei curbe  $z = a_{D''}/a_{V''} = 0,625$

Coeficienții  $x_{ij}$  pentru  $z = \frac{a_{D''}}{a_{V''}} = 0,625$

$$x_{11} = \frac{b \cdot \bar{w}_0 + c \cdot h_{\max}}{2b + c \cdot \Phi_1}$$

$$x_{12} = (x_{11} - \bar{w}_0) \frac{\Phi_1}{\pi}$$

$$x_{21} = x_{32} \cdot e_3$$

$$x_{22} = x_{32} \cdot e_1$$

$$x_{31} = 0,0625 \frac{x_{32}}{\Phi_3^2}$$

$$x_{32} = \frac{2x_{11} - \bar{w}_0}{c}$$

$$x_{33} = x_{32} \cdot e_2$$



## Constante auxiliare

$$e_1 = 0,5066\Phi_2^2$$

$$e_2 = 0,9375\Phi_3^2$$

$$e_3 = 1,75\Phi_3$$

$$b = e_1 + e_2 + e_3 \cdot \Phi_2$$

$$c = e_3 + 0,7958\Phi_2$$

Viteza tchetului la începutul ridicării  
supapei

$$\bar{w}_0 = \frac{w_0}{\omega_c} = h_0 \frac{\pi}{2\Phi_0} \quad [\text{mm/rad}]$$

- Mărimi impuse la proiectarea camei:
- Cursa tchetului  $h_{max} = i \cdot h_s$
- $i = \ell_r / \ell_s = 0,50 \dots 0,96$
- Unghiul total de deplasare  $\Phi_d$
- (la motoarele cu  $n < 5000$  rpm se folosește cama simetrică în care pe fiecare flanc unghiul de deplasare este  $\Phi_d/2$ )
- $h_0$  este jocul termic
  - 0,25...0,35 mm la supapa de admisie
  - 0,35...0,50 mm la supapa de evacuare
- Pentru evitarea șocurilor și zgomotelor severe se limitează viteza  $w_0$  din momentul când începe ridicarea supapei. Se recomandă
  - $\bar{w}_0 = 1 \dots 1,5$  mm/rad ( $\bar{w}_{0,max} = 0,025$  mm/grad)
- Unghiul  $\Phi_0$  al zonei de racordare se deduce din relația vitezei tchetului la începutul ridicării supapei, în care se impun  $\bar{w}_0$  și  $h_0$ 

$$\bar{w}_0 = \frac{w_0}{\omega_c} = h_0 \frac{\pi}{2\Phi_0} \quad [\text{mm/rad}]$$
- Există și recomandarea  $\Phi_0 = 15 \dots 45^\circ$  (când tchetul este hidraulic  $\Phi_0$  se reduce la jumătate  $\Phi_0/2$ )

- Se stabilesc unghiurile pentru flancul de ridicare  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$
- O condiție există deja:
 
$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = \Phi_d / 2$$
- Mai sunt și recomandările:
 
$$\Phi_2 = (0, 1 \dots 0, 2) \Phi_3$$

$$\Phi_2 + \Phi_3 = (1, 5 \dots 3, 0) \Phi_1$$
- Cele mai mari valori ale accelerației apar pe porțiunea  $\Phi_1 \Rightarrow$  se limitează  $\Phi_1$
- $\Phi_1 = 20 \dots 30^\circ$  fiind indicată și satisfacerea relației

$$\frac{\Phi_1 + \Phi_1}{c \cdot \Phi_1} = \left| \frac{\bar{a}_{\max}}{\bar{a}_{\min}} \right|$$

- în care  $c = 1, 0 \dots 1, 2$

# Profilul de camă polidin

Profilul de camă polidin este reprezentat de o funcție polinomială și satisface mai multe cerințe dinamice privind accelerațiile și vibrația.

## Cinematica profilului **POLIDIN** de ridicare a supapei

$$h_s = h_{s,\max} \left[ 1 + C_2 \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^2 + C_p \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^p + C_q \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^q + C_r \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^r + C_s \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^s \right]$$

$$w_s = h_{s,\max} \frac{\omega_d}{\varphi_d} \left[ 2C_2 \frac{\varphi}{\varphi_d} + pC_p \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{p-1} + qC_q \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{q-1} + rC_r \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{r-1} + sC_s \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{s-1} \right]$$

$$a_s = h_{s,\max} \left( \frac{\omega_d}{\varphi_d} \right)^2 \left[ 2C_2 + p(p-1)C_p \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{p-2} + q(q-1)C_q \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{q-2} + r(r-1)C_r \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{r-2} + s(s-1)C_s \left( \frac{\varphi}{\varphi_d} \right)^{s-2} \right]$$

## Cinematica profilului **POLIDIN** de ridicare a supapei

$$C_2 = \frac{-pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)}$$

$$C_p = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)}$$

$$C_q = \frac{-2prs}{(q-2)(q-p)(r-q)(s-q)}$$