Suprafața de curgere pe sub supapă este:

$$\frac{\pi}{2}(AA' + BB') \cdot AB = \frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - \delta^2\right)$$

Unde:

$$AA' = d_0$$

$$AB = h_{s,max} \cdot \cos\theta$$

$$BC = h_{s,max} \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta$$

$$BB' = d_0 + 2 \cdot BC = d_0 + 2 \cdot h_{s,max} \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta$$

Prin urmare suprafața de curgere pe sub supapă devine:

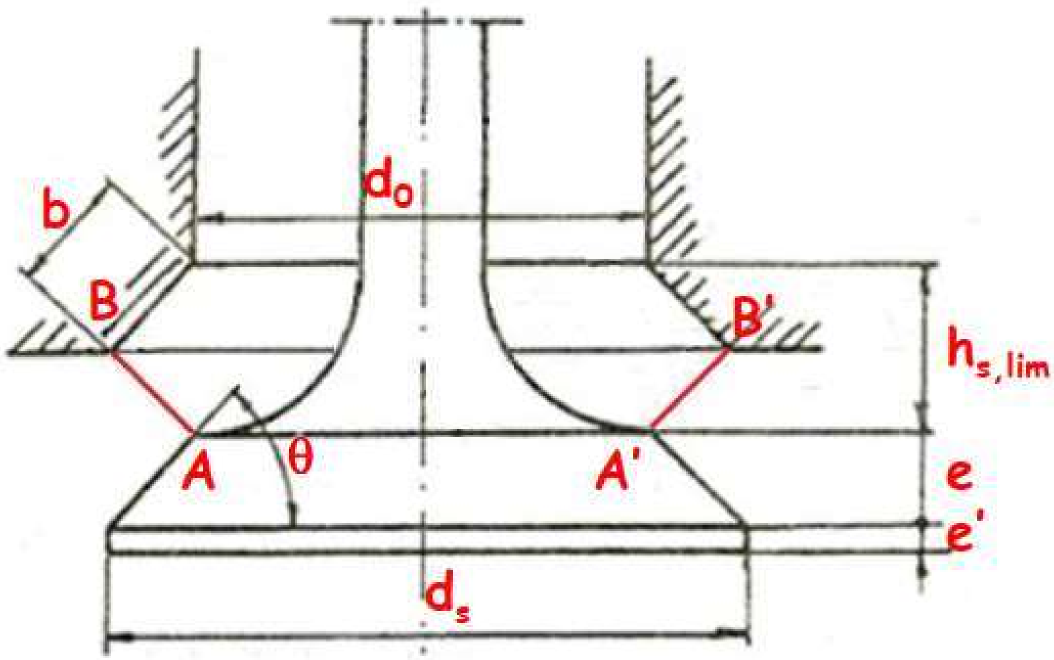
$$\frac{\pi}{2}\left(d_0 + 2 \cdot h_{s,max} \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta + d_0\right) \cdot h_{s,max} \cdot \cos\theta = \frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - \delta^2\right)$$

De aici rezultă:

$$h_{s,max}^2 \cdot \sin^2\theta \cdot \cos\theta + h_{s,max} \cdot d_0 \cdot \cos\theta - \frac{1}{4}\left(d_0^2 - \delta^2\right) = 0$$

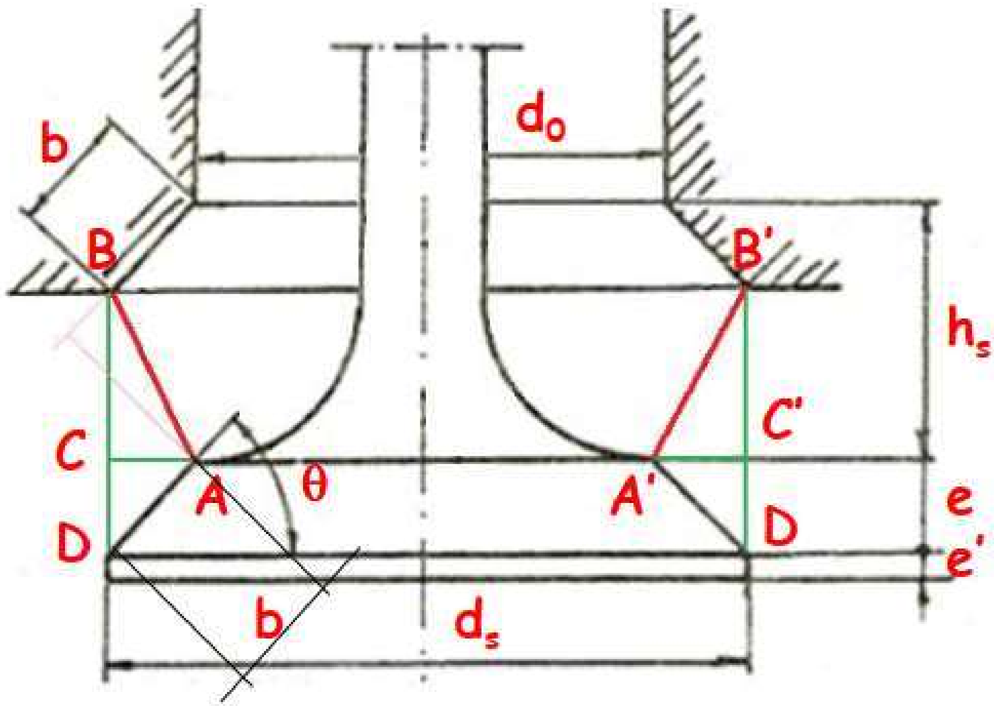
$$h_{s,max} = \frac{-d_0 \cdot \cos\theta + \sqrt{d_0^2 \cdot \cos^2\theta + \left(d_0^2 - \delta^2\right)\sin\theta \cdot \cos^2\theta}}{2 \cdot \sin\theta \cdot \cos^2\theta}$$

Această relație este valabilă pentru condiția la limită ca perpendiculara pe sediu să cadă pe capătul sediului.



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

Daca h_{smax} satisface această relație atunci înalțimea de ridicare a fost determinată. Dacă înalțimea maximă de ridicare este mai mare decat cea limită atunci înseamnă că supapa depașeste cota maximă și calculul trebuie să fie refăcut în conformitate cu situația prezentată în continuare.



Din figură rezultă:

$$BC = b \cdot \cos\theta$$

$$CD = h_{s,max} - b \cdot \cos\theta$$

$$AB = \sqrt{AC^2 + BC^2}$$

$$AB = \sqrt{\left(h_{s,max} - b \cdot \cos\theta\right)^2 + b^2 \cdot \cos^2\theta}$$

$$AB = \sqrt{{h_{s,max}}^2 - 2 \cdot h_{s,max} \cdot b \cdot \sin\theta + b^2}$$

Atunci condiția de înălțime maximă va fi:

$$\frac{\pi}{2}\left(d_0 + 2 \cdot b \cdot \cos\theta + d_0\right) \cdot \sqrt{h_{s,max}^2 - 2 \cdot h_{s,max} \cdot b \cdot \sin\theta + b^2} = \frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - \delta^2\right)$$

iar înălțimea maximă va fi:

$$h_{s,max} = \frac{-d_0 \cdot \cos\theta + \sqrt{d_0^2 \cos^2\theta + \left(d_0^2 - \delta^2\right)\sin\theta \cdot \cos^2\theta}}{2 \cdot \sin\theta \cdot \cos^2\theta}$$

Se recomandă ca înalțimea maximă de ridicare să fie (0.17…0.3) d_0.

Legea de mișcare a supapei

Când supapa se află în repaus și când atinge ridicarea maximă viteza ei este nulă. Între aceste poziții viteza înregistrează mai întai o creștere, deci supapa este accelerată iar în continuare viteza scade, supapa fiind decelerată până parcurge întreaga cursă. La coborare viteza supapei, negativă fiind, crește apoi scade în modul.

Această dinamică a supapei, după o anumită lege de deplasare este determinată de porțiunea din conturul camei numită profil. Profilul este alcătuit din două flancuri:

- La rotirea camei primul flanc comandă ridicarea supapei;
- În afara excepției ce caracterizează mecanismul desmodromic, al doilea flanc este urmărit de supapa în timpul coborârii ei.

În ambele cazuri deplasarile controlate de ambele flancuri sunt identice, ceea ce corespunde camei cu profil simetric. Ordonatele profilului desfăsurat sau chiar legea de deplasare hs a supapei cand aceasta este acționată direct de camă sau numai prin piese cu mișcare de translație sau prin culbutor cu brațe egale. De obicei brațele culbutorului sunt inegale.

- Cel dinspre tachet are lungimea mai mare l_t.
- Brațul dinspre supapă are lungimea $l_s>l_t$.
- Se micșorează deplasarile tachetului și tijei împingătoare reducându-le accelerațiile pozitivă și negativă, și deci forțele de inerție.

În acest caz deplasarea imprimată de profil tachetului este dată de relația:

$$h = i \cdot h_s$$

În care i=(0.5…0.96).

Profilul camei trebuie să satisfacă mai multe condiții:

- Supapa să ajungă cât mai repede la ridicarea maximă , să ramână cât mai mult timp aici și să revină pe scaun cu viteza cât mai mare.
- Secțiunea de curgere pe langă talerul supapei are valori momentane mari, favorabile proceselor de schimbare a gazelor.
- Măsura în care este îndeplinită această condiție este apreciată prin raportul numit cronosecțiune sau secțiune timp dintre volumul de fluid care circulă prin secțiunea de arie As și viteza de curgere. Cronosecțiunea are expresia:

$$K = 10^{-6} \int_0^{t_d} A_s dt \qquad [m^2 s]$$

sau

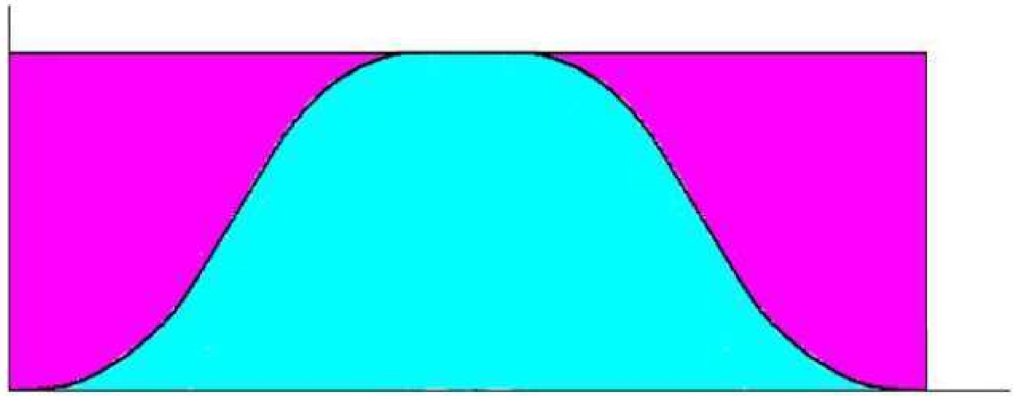
$$K = \frac{10^{-6}}{6 \cdot n_c} \int_0^{\phi_d} A_s d\varphi \qquad [m^2 s]$$

unde :

- $\mathbf{t_d}$ este timpul de deplasare a supapei
- $\mathbf{n_c}$ – turația arborelui cu came
- φ – unghiul de rotație al acestuia
- ϕ_d – unghiul pe care se realizează deplasarea supapei

- Eficiența optimă a curgerii corespunde cronosecțiunii maxime teoretice ce s-ar obține când ridicarea şi coborârea supapei ar fi instantanee

Cronosecțiunea



- Funcționarea liniștită a supapei și a pieselor de transmitere a mișcării evitând salturi și valori excesive ale acceleratiilor precum și șocurile severe.
- Uzura minimă și cât mai uniformă a profilului camei și a celorlalte suprafețe de contact ale pieselor, astfel încât jocurile dintre ele să nu crească exagerat în timp ceea ce ar perturba procesele funcționale și ar afecta durabilitatea mecanismului.
- Prelucrarea ușoară în vederea realizării unei fabricații economice.
- În perioada inițială de dezvoltare a distribuției cu supape s-a cautat să se respecte mai ales prima condiție, profilul camei reprezentând salturi importante față de partea circulară a conturului.
- Turațiile coborâte ale motoarelor epocii mențineau accelerațiile imprimate de camă la valori moderate, neafectând substanțial celelalte condiții impuse profilului.

Odată cu creșterea turației aspectul camei a evoluat ajungându-se la formele actuale caracterizate prin continuitatea întregului contur, la care profilul realizează un compromis acceptabil sub toate aspectele.

Unghiul φd este superior valorii de 90 de grade, ce corespunde cursei pistonului, acestei valori adaugându-i-se unghiurile care constituie fazele de distribuîie. La extremitățile unghiului profilul camei este tangent la cercul primitiv, care are raza r_0 se recomandă ca $r_0=(1.5…2.5)h_{smax}$ la motoarele cu admisiune normală și $(1.5…2.5)_{hsmax}$ la motoarele supraalimentate.

Partea circulară a conturului se execută cu o rază mai mică, ce definește asa numitul cerc de bază, și anume $r=r_0-h_0$. Unde h_0 este jocul dintre piesele de transmitere a mișcării de la camă la supapă, necesar menținerii contactului acesteia cu scaunul și când piesele componente se dilată datorită încălzirii.

- Cercul de bază se racordează cu profilul camei prin arce de curbă

- Dacă partea circulară a conturului ar avea raza r_0, jocul h_0 :
  - ar genera şocuri în momentul începerii ridicării supapei
  - revenirea acesteia pe scaun s-ar face cu viteze mari
  - iar fazele de distribuție s-ar modifica în funcție de starea termică

- Aceste inconveniente sunt mult diminuate prin corecția amintită, deoarece începutul ridicării şi sfârşitul aşezării supapei sunt comandate prin contactul tachetului cu zonele de racordare, concepute anume ca să evite şocurile şi vitezele mari

- Viteza de revenire a supapei pe scaun, de care depinde durabilitatea etanşării, poate fi micşorată prin mărirea timpului de contact al tachetului cu zona de racordare de la sfârşitul flancului de coborâre

- Cama devine astfel asimetrică, deoarece creşterea unghiului zonei respective până la valoarea ϕ_0' implică reducerea unghiului ϕ' al flancului de coborâre şi mărirea în consecință a razei cercului primitiv în această parte a profilului

- Jocul h_0 se alege în funcție de anumite considerente (de exemplu schema constructivă a mecanismului) astfel:
  - 0,25...0,35 mm la supapa de admisie
  - 0,35...0,50 mm la supapa de evacuare

- Proiectarea camei poate fi abordată pe două căi
  - se determină legea de deplasare a supapei imprimată de un profil care satisface, în general, prima condiție şi se verifică celelalte mărimi cinematice (viteză şi accelerație)
  - se stabilesc caracteristicile geometrice ale profilului care îndeplineşte satisfăcător cea de a doua condiție şi se verifică eficiența curgerii pe lângă supapă

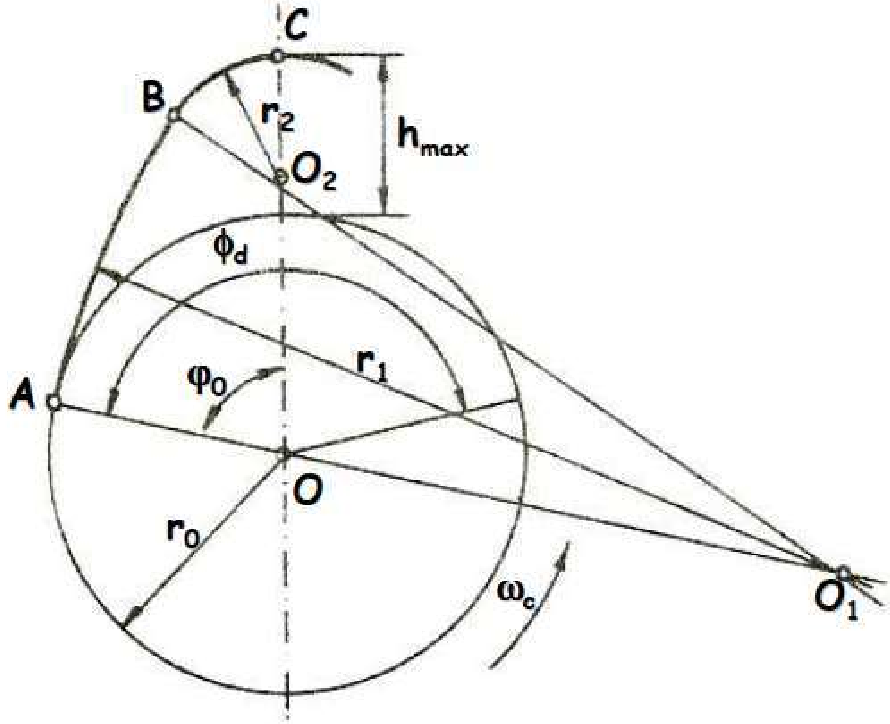
- A doua metodă oferă rezultate mai bune în privința comportării dinamice a mecanismului, fiind în consecință preferabilă

Proiectarea camelor armonice

- În unele cazuri profilul camei este format din arce de cerc racordate între ele

- Sunt mai răspândite camele la care fiecare flanc are două arce de cerc

- Mărimile cinematice ale tachetului se exprimă prin funcții armonice, de unde provine şi denumirea camei

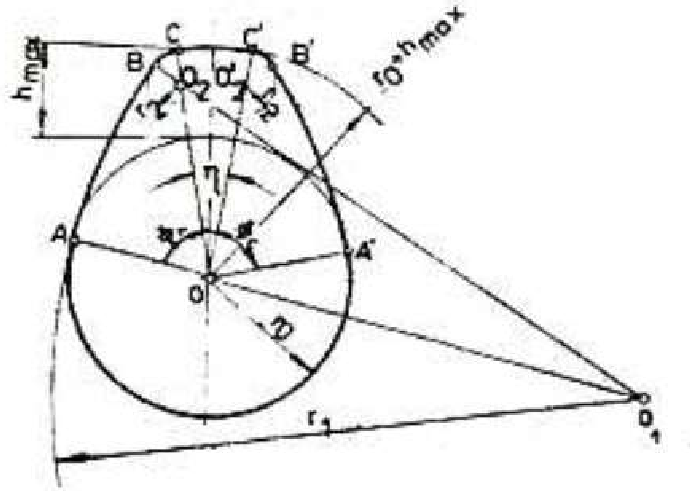


- Din cauza şocurilor produse în acționarea tachetului, camele armonice sunt acceptate doar la turații relativ reduse

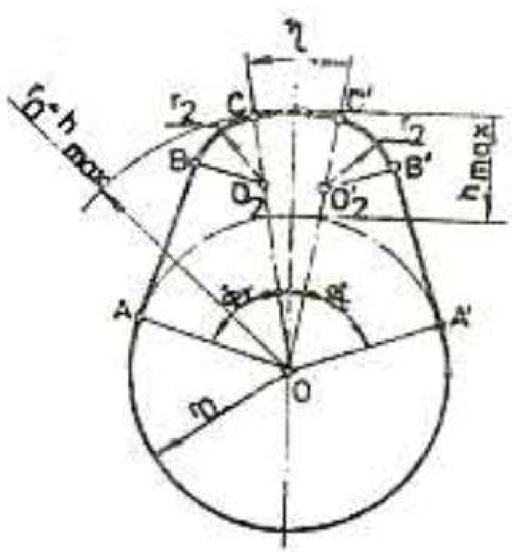
- La motoarele lente profilul camei mai conține un arc de cerc la vârf având de exemplu acelaşi centru ca şi cercul primitiv; în felul acesta
  - Sporeşte cronosecțiunea
  - Influențează pozitiv schimbul de gaze

- **Profilul se denumeşte după poziția razei r_1**

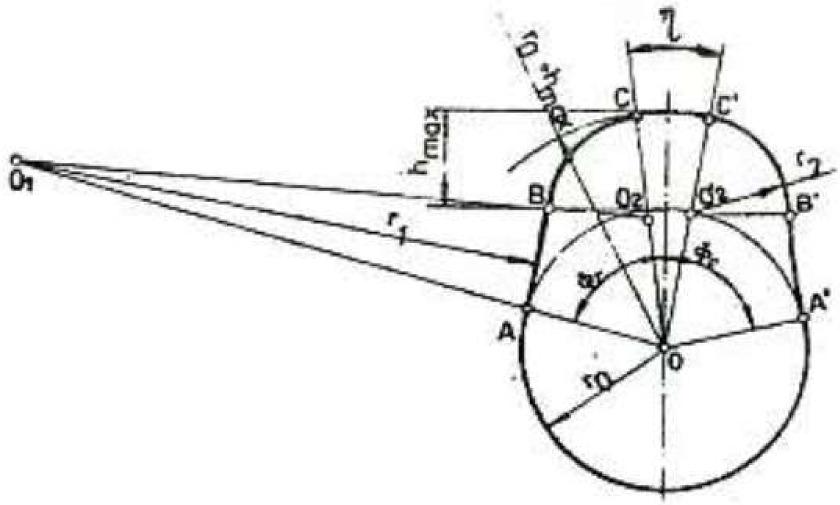
- Profilul este :
  - convex, când raza r_1 a primului arc de cerc se află în interior



- Profilul este :
  - tangențial, când $r_1 = \infty$



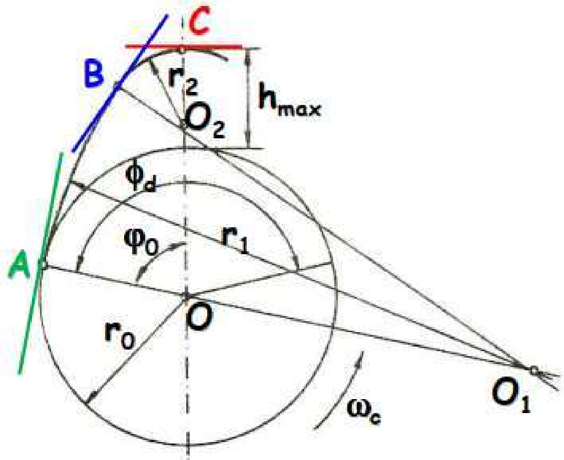
- Profilul este :
  - concav, când $\mathbf{r_1}$ se situează în exteriorul profilului



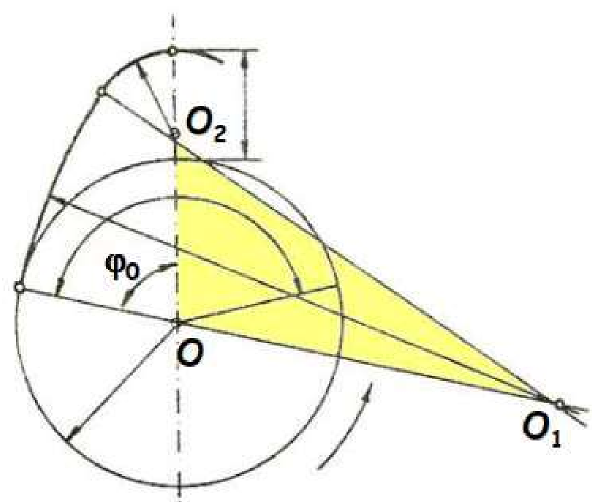
- Pentru a evita şocurile la mecanismele cu tachet plan se poate utiliza numai cama cu profil convex

- Caracteristicile geometrice ale profilului se determină din condiția de continuitate a conturului pe care el îl formează împreună cu cercul primitiv

- Presupunând cama cu profil convex care acționează tachetul plan, această condiție este respectată dacă se asigură **tangente comune** în punctele de trecere de la o curbă la alta : în A, B, C

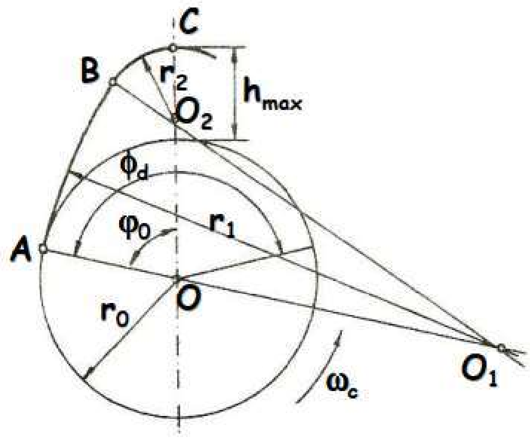


- Considerând triunghiul OO_1O_2



- se poate scrie

$$\overline{O_1O_2}^2 = \overline{OO_2}^2 + \overline{OO_1}^2 - 2 \cdot \overline{OO_1} \cdot \overline{OO_2} \cdot \cos(\pi - \varphi_0)$$



Sau

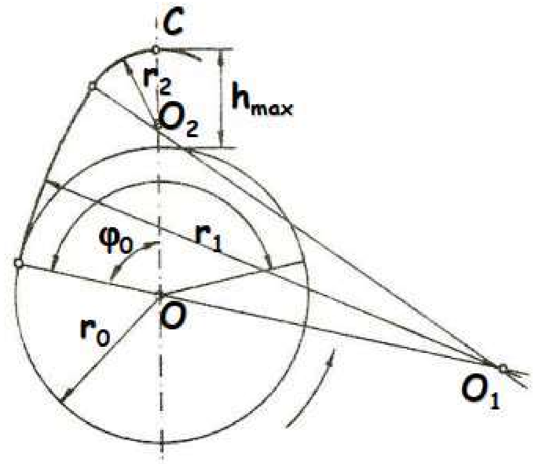
$$(r_1 - r_2)^2 = (r_1 - r_0)^2 + (r_0 + h_{max} - r_2)^2 + 2(r_1 - r_0)(r_0 + h_{max} - r_2)\cos\varphi_0$$

- Ecuația are două necunoscute – r_1 și r_2 – deci poate fi aplicată alegând una dintre ele

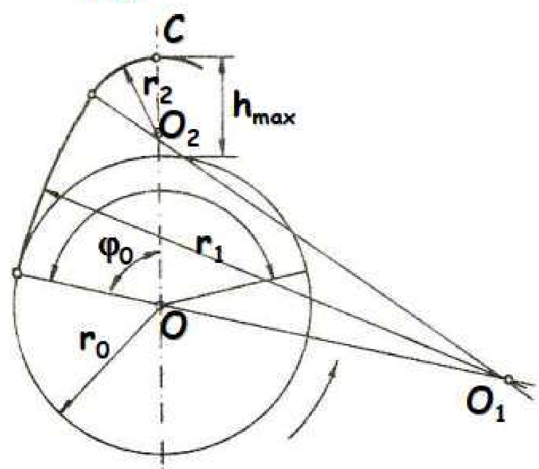
- Dacă se alege raza primului arc, pentru care se recomandă $r_1=(10...18)h_{max}$, cealaltă rază rezultă

$$r_2 = \frac{(r_1 - r_0)^2 + (r_0 + h_{max})^2 - r_1^2 + 2(r_1 - r_0)(r_0 + h_{max})\cos\varphi_0}{2[r_0 + h_{max} - r_1 + (r_1 - r_0)\cos\varphi_0]}$$

- Deoarece $r_0+h_{max}=const.$, la micşorarea razei r_2 centrul O_2 se apropie de vârful C



- Întrucât şi $\varphi_0=const.$, iar condiţia de tangentă comună între cele două arce trebuie îndeplinită, micşorarea lui r_2 impune şi apropierea centrelor O_1 şi O, deci scăderea razei r_1



- În consecință, această rază trebuie aleasă din domeniul indicat respectând şi condiția $r_1 > r_{1,min}$, unde $r_{1,min}$ are valoarea rezultată din formula lui r_2 pentru $r_2=0$, adică

$$r_{1min} = \frac{r_0^2 + (r_0 + h_{max})^2 - 2 \cdot r_0 \cdot (r_0 + h_{max})\cos\varphi_0}{2[r_0 - (r_0 + h_{max})\cos\varphi_0]}$$

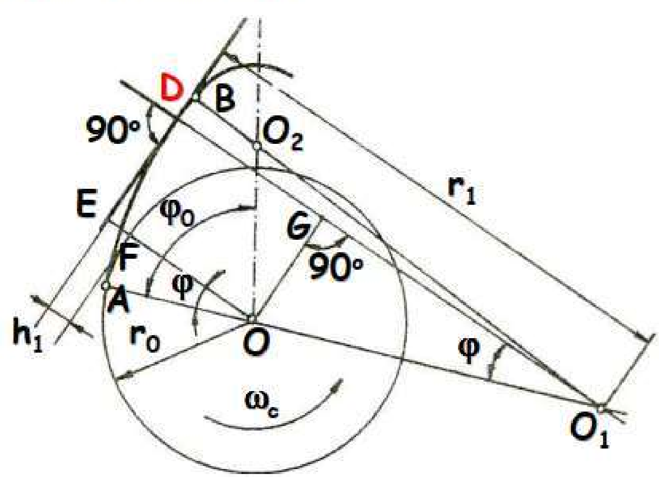
- Când se adoptă raza celui de-al doilea arc de cerc se recomandă $r_2 = r_0 - h_{max}$:
  - Generează dimensiuni minime ale arcului supapei
  - Nu se acceptă $r_2 < 2$ mm fiindcă :
    - Eforturile de contact camă-tachet ar depăşi limita admisibilă
    - Execuția ar fi dificilă
- În acest caz din ecuația (1) se deduce

$$r_1 = \frac{r_0^2 + (r_0 + h_{max} - r_2)^2 - r_2^2 - 2 \cdot r_0 \cdot (r_0 + h_{max} - r_2)\cos\varphi_0}{2[r_0 - r_2 - (r_0 + h_{max} - r_2)\cos\varphi_0]}$$

- Pe lângă recomandarea privind r_2 făcută, din constatarea că r_1 şi r_2 variază în acelaşi sens rezultă condiția suplimentară $r_2 < r_{2,max}$, în care $r_{2,max}$ corespunde lui $r_1 = \infty$, ceea ce caracterizează cuplul **camă tangențială-tachet cu rolă**
- Având în vedere relația lui r_1 se obține

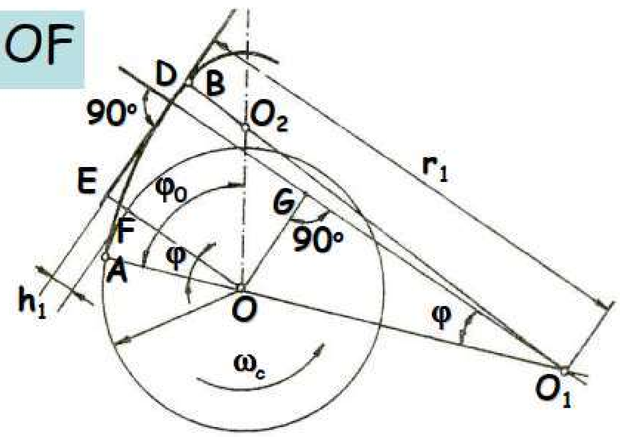
$$r_{2\max} = r_0 - \frac{h_{max} \cdot \cos\varphi_0}{1 - \cos\varphi_0}$$

- Pentru a determina mărimile cinematice imprimate tachetului plan de cama cu profil convex se consideră o poziție în care punctul de contact D se află pe primul arc de cerc



- Ridicarea corespunzătoare a tachetului

$$h_1 = EF = O_1D - O_1G - OF$$



- Rezultă

$$h_1 = (r_1 - r_0)(1 - \cos\varphi)$$

- Pentru viteza tachetului se deduce

$$w_1 = \frac{dh_1}{dt} = \frac{dh_1}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega_c \frac{dh_1}{d\varphi}$$

unde ω_c este viteza unghiulară a arborelui cu came

- Ținând cont de relația lui h_1

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

- Derivând expresia vitezei în raport cu timpul, se obține accelerația tachetului imprimată de primul arc de cerc

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

- Mărimile cinematice ale tachetului determinate de al doilea arc de cerc

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

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

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