

# ELEMENTE DE CALCUL LA MOTOARE ROTATIVE (NSU/MAZDA – FELIX WANKEL)

**Autori: Lect. univ. dr. ing. Horia Salcă, Facultatea de Management Braşov, Universitatea Spiru Haret**

**Dr. ing Vladimir Mărdărescu, şef Laborator încercări motoare, Universitatea Transilvania Braşov**

**Abstract:** *The aim of this paper is to present a short theory and calculus of the first designed internal-combustion engine in which power is transmitted directly to its rotating components, patented by the German engineer F. H. Wankel and developed by the NSU and Mazda car companies. The story started with the patenting of the petrol engine in 1886 – four-piston internal combustion engine – by the German engineer Karl Benz. During the WWII, the genius inventor Felix Wankel produced rotor shafts for German Air Forces. After the war, Felix Heinrich Wankel was offered a job in the German car company NSU and in 1957 the prototype of the rotary engine was ready. Wankel's rotary engine is an internal combustion engine in which the piston (with a triangular shape) revolves around the axis slightly displaced from its center. It has fewer moving parts and fewer losses associated with them. In its rotation, the piston forms three chambers, whose volumes are constantly changing. The function of the engine is very stable and there is no vibration like in ordinary engines. The purpose of internal combustion is to reduce friction (no engine valves, camshafts, beating, cylinder head, etc.). This engine can have a much higher speed than the piston engine. From a small cylinder the power that is earned is bigger compared to the power of a piston engine. The only drawback is the high cost of gasoline and oil, as well as the very rapid deterioration of the rotor. The rotary Wankel engine is housed in many sport vehicles. In 1961, the NSU Wankel Company sold its patent to Mazda in order to be developed. In 1978 Mazda sport presented its brilliant model RX-7, which had 105 HP with its rotary engine, and could drive at the speed of 200 km/h, like Porsche and Ferrari. Mazda's rotary engine is still used today in different sports models.*

## 1. Motoare rotative

Ca soluție, aceste motoare sunt cunoscute de multă vreme. De exemplu, James Watt a făcut propunerea unei maşini cu deplasare volumică încă din 1759, care avea rolul să înlocuiască maşina cu cilindru şi piston. Prin cele mai multe soluții s-a căutat să se realizeze mişcarea rotativă sau rotativ alternativă. Aceste maşini caută să reunească caracteristicile motoarelor cu cele ale turbinelor cu gaze şi anume să funcţioneze după ciclurile motoarelor cu ardere internă, dar cu randamente superioare. În general, se reunesc defectele ambelor soluții şi foarte puține din calitățile lor. Constructorii şi inventatorii pun de obicei mai mult accent pe realizarea cinematică decât pe calitățile de funcționare, ce sunt de obicei ignorate sau evaluate arbitrar favorabil.

Practica a arătat că principala problemă a motoarelor rotative este etanşarea. Astfel, două suprafețe în mişcare relativă (cilindru şi piston) pot fi etanşate numai printr-un element de etanşare intermediar, care, datorită diferenței de presiune, este presat prin interstițiu pe ambele suprafețe. În mod natural, pentru diminuarea frecărilor între cele două suprafețe trebuie aplicată ungerea.

În schema din fig. 1 este ilustrată situația în care prin deplasarea relativă a pistonului față de cilindru, în sens radial şi tangențial, ungerea este posibilă în virtutea presiunii, datorită segmentului. Dacă însă trebuie etanşate trei suprafețe în contact (două ale pistonului şi una a cilindrului) printr-un singur element, atunci etanşarea nu mai este posibilă.

Motorul rotativ având geometria adecvată, format dintr-un corp interior şi o carcasă exterioară, la care deplasarea se obține prin înfăşurarea unei roți cu dantură interioară a corpului interior pe o roată fixă cu dantură exterioară, este motorul Wankel. (Fig.1.1)

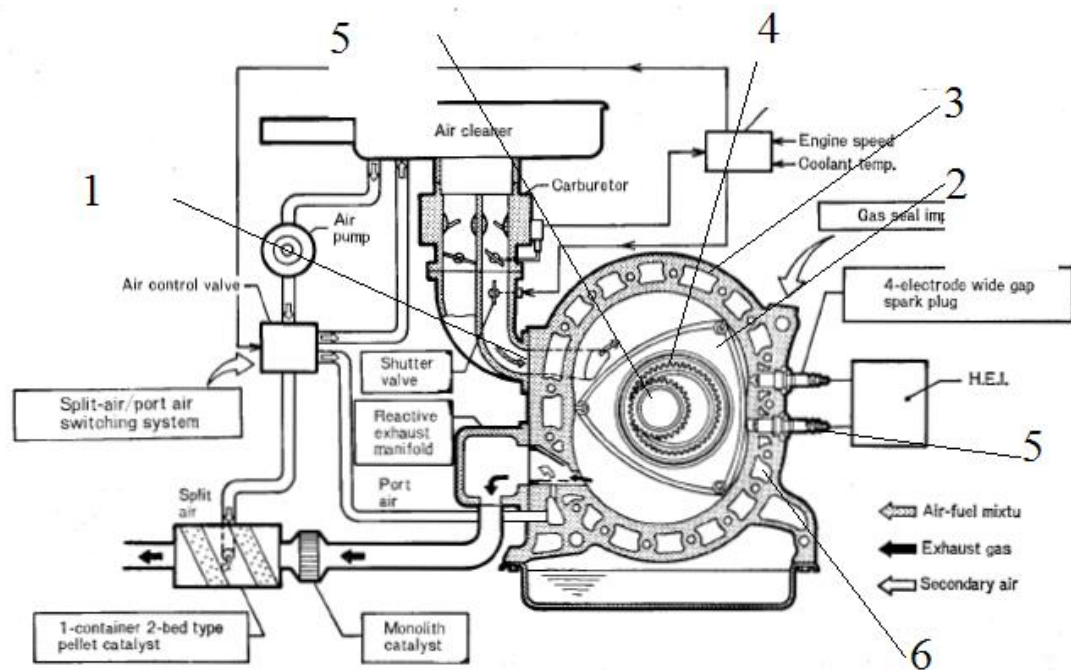


Fig.1.1

La acest motor, carcasa 3 cu alezajul de forma unei epitrohoide cu doi lobi, ce se obține prin rostogolirea unui cerc pe altul cu diametrul dublu, sau mai bine zis prin rostogolirea unui cerc materializat prin dantura interioară 4 fixat pe rotorul 2, ce angrenează pe roata fixată la exterior 5. Raportul de demultiplicare este 3/2. Epitrohoida este generată de cele trei colțuri ale rotorului 2, ce se rotește prin intermediul roților dințate 4 și 5, fiind condus de excentricul arborelui motor, ce este montat prin intermediul unui rulment cu ace.

Forma triunghiulară curbă a rotorului se obține ca înfășurarea interioară pe planul rotorului a deplasării relative față de conturul epitrochoidal al carcasei. În practică, forma este obținută prin arce de cerc convenabile, atât din punctul de vedere efectiv al funcționării, cât și din considerente ce țin de dilatățile termice fie ale carcasei, fie ale rotorului.

## 2. Funcționarea motorului Wankel

Peritrohidul este locul geometric al punctului P fixat pe un segment fixat pe cercul rotator B de rază q, atunci când acesta se rotește pe periferia unui cerc A de rază p, ce este înscris în cercul B. Ecuația peritrohidului ce exprimă mișcarea punctului P(x,y), exprimată în coordonate x,y, față de centrul cercului A, are următoarea formă (fig.2.1):

$$\begin{aligned} x &= e \cos \alpha + R \cos \beta \\ y &= e \sin \alpha + R \sin \beta \end{aligned} \quad (2.1)$$

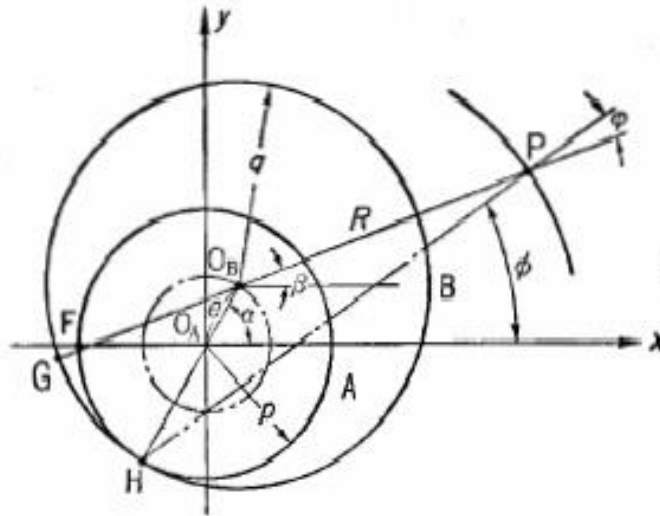


Fig.2.1. Generarea peritrochoidului

Unde:  $e$  – distanța dintre centrele cercurilor A și B;  
 $R$  – lungimea brațului solidar cu cercul rotitor B;  
 $\alpha$  – unghiul de rotație al cercului rotitor B în jurul cercului A;  
 $\beta$  – unghiul de rotație al cercului B față de axa sa.

După cum se poate vedea în fig.1, punctul F de pe cercul A și punctul G de pe cercul rotitor B sunt plasate pe punctul de contact dintre cele două cercuri atunci când  $\alpha = 0$  și  $\beta = 0$ .

$$\overline{FH} = \overline{GH}$$

$$q(\alpha - \beta) = p\alpha$$

Din relațiile  $\beta = (1 - p/q)\alpha$

De aici rezultă că atât unghiul de rotație  $\alpha$  al cercului B în jurul cercului A și al unghiului  $\beta$  față de axa sa inițială, sunt în relații de proporționalitate. De aici rezultă faptul că curba va fi închisă dacă:  $1 - p/q = 1/m$ , unde  $m$  este un întreg.

Astfel relația între  $p$  și  $q$  devine:

$$p/q = (m - 1)/m \quad (2.2)$$

Astfel ecuația de definire a peritrochoidului devine:

$$x = e \cos m\alpha + R \cos \alpha$$

$$y = e \sin m\alpha + R \sin \alpha$$

În practică, pentru motorul rotativ se utilizează curba trochoidală pentru care parametrul  $m$  are valoarea  $m = 3$ , drept pentru care relația devine:

$$x = e \cos 3\alpha + R \cos \alpha$$

$$y = e \sin 3\alpha + R \sin \alpha \quad (2.3)$$

unde:  $R$  – raza corpului (pistonului);  
 $e$  – raza manivelei;

$\alpha$  – unghiul de rotație al pistonului,  $\alpha \in 0 - 360^\circ$  RAC

$r(\alpha) = \sqrt{x^2(\alpha) + y^2(\alpha)}$  raza instantanee a profilului.

Evoluția funcțiilor  $x(\alpha)$  și  $y(\alpha)$  se poate vedea în fig. 2. 2

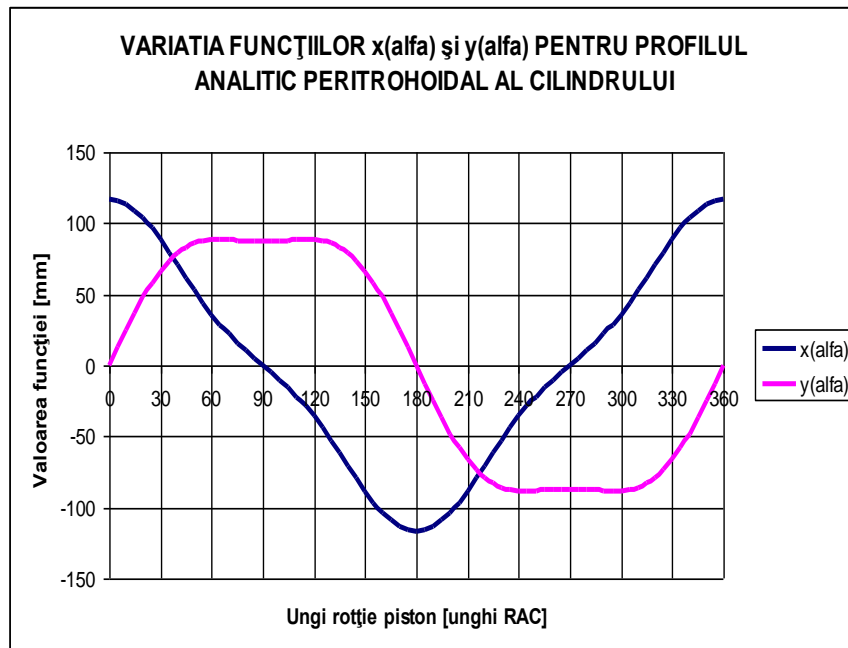


Fig.2.2 Evoluția funcțiilor  $x(\alpha)$  și  $y(\alpha)$

Variația razei instantanee a profilului este prezentată în fig.2.3.

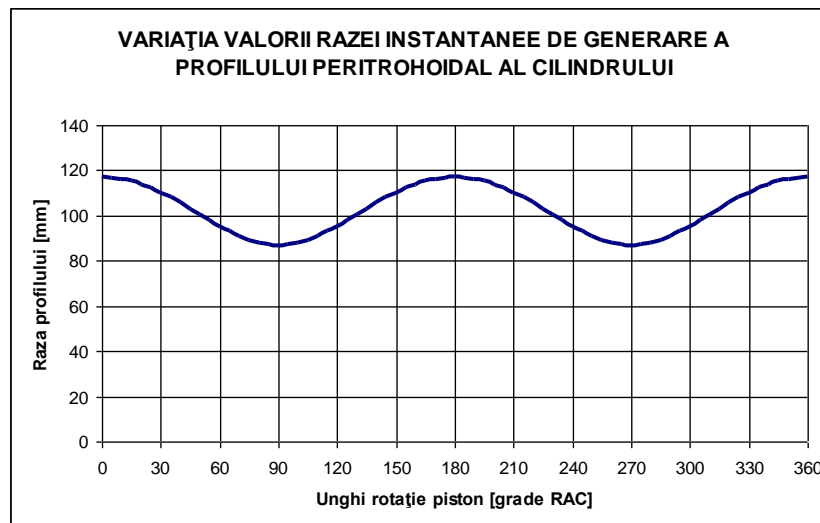


Fig.2.3 Variația razei instantanee a profilului

Pe baza relației 2.3 am determinat profilul analitic al peritrohoidei, după cum se poate vedea în fig. 2.4.

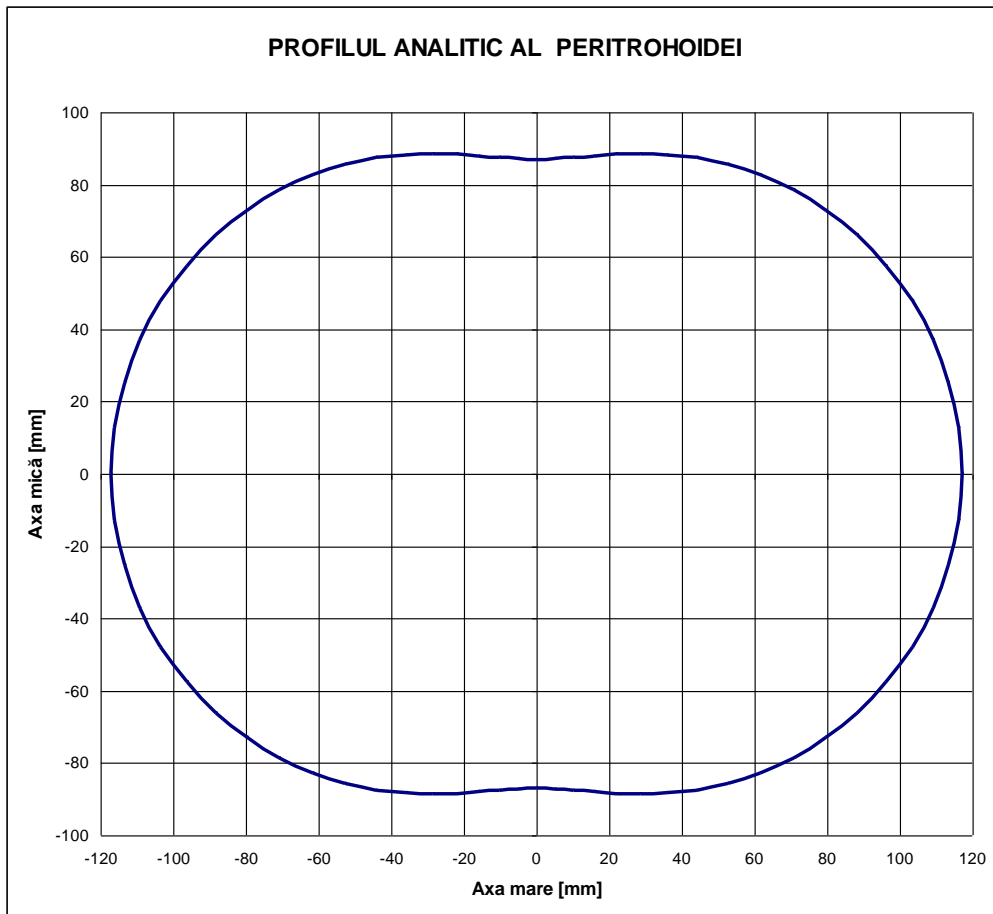


Fig.2.4 Profilul analitic al peritrohoidei

În vederea efectuării calculului termic, va trebui să determinăm volumele maxime și minime oferite de rotația corpului (pistonului) în profil. Vom determina, astfel, volumul maxim, de la care vom considera începutul compresiei, și volumul minim, corespunzător sfârșitului compresiei. Semnificația acestor volume este similară cu cea a punctului mort inferior și a punctului mort superior. Determinarea volumului minim cuprins între piston și profilul peritrohoidal se face prin determinarea ariei volumului minim, ce va fi înmulțită cu înălțimea corpului ( $h = 82 \text{ mm}$ ).

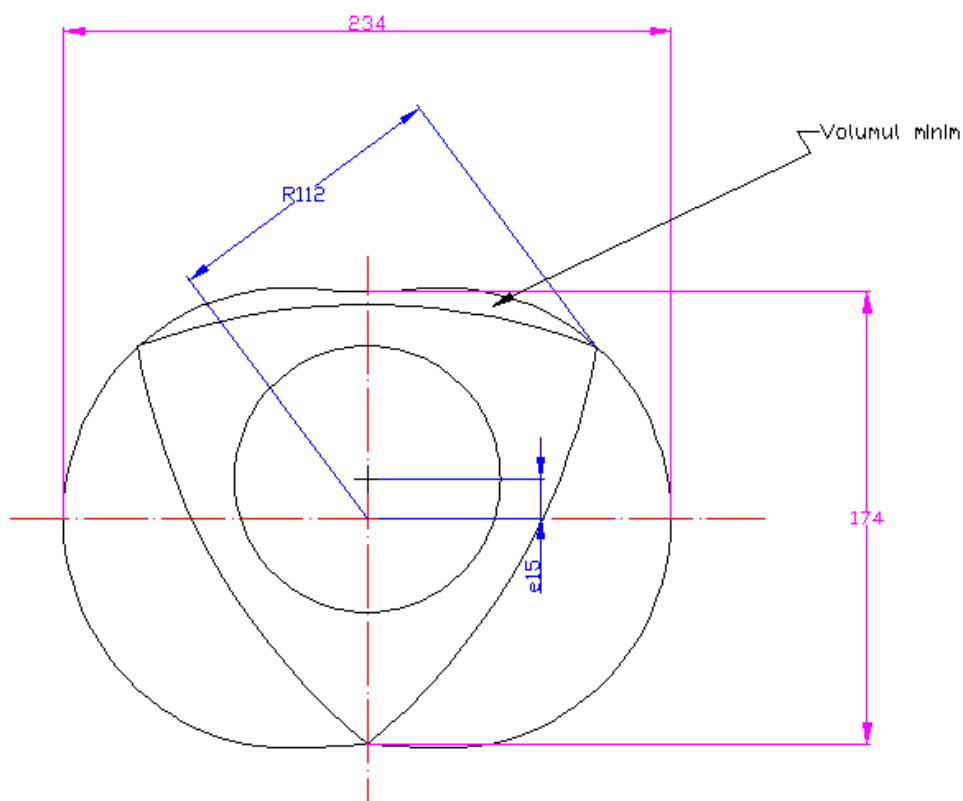


Fig.2.5

În fig. 2.6 este prezentat volumul minim, respectiv secțiunea corespunzătoare volumului minim. Valoarea secțiunii a fost determinată prin funcțiile REGION și MASSPROP ale programului Autocad.



Fig. 2.6 Secțiunea minimă

Rezultatele sunt prezentate tabelul de mai jos:

----- REGIONS -----	
Area:	1204.9161
Perimeter:	367.7691
Bounding box:	X: 730.6140 -- 906.8978 Y: 302.8527 -- 325.8736
Centroid:	X: 819.3918 Y: 318.1437
Moments of inertia:	X: 121981504.1944 Y: 811659987.1463
Product of inertia:	XY: 314096430.0184
Radii of gyration:	X: 318.1769 Y: 820.7458

Principal moments and X-Y directions about centroid:

I: 25416.5855 along [1.0000 -0.0024]

J: 2675748.8878 along [0.0024 1.0000]

De aici rezultă aria minimă  $A_{min} = 12,04 \text{ cm}^2$ .

$V_{min} = A_{min} \cdot h = 12,04 \cdot 8,2 = 98,728 \text{ cm}^3$

Pentru determinarea ariei corespunzătoare volumului maxim se procedează similar. În fig. 2.7 este prezentată secțiunea de arie maximă.

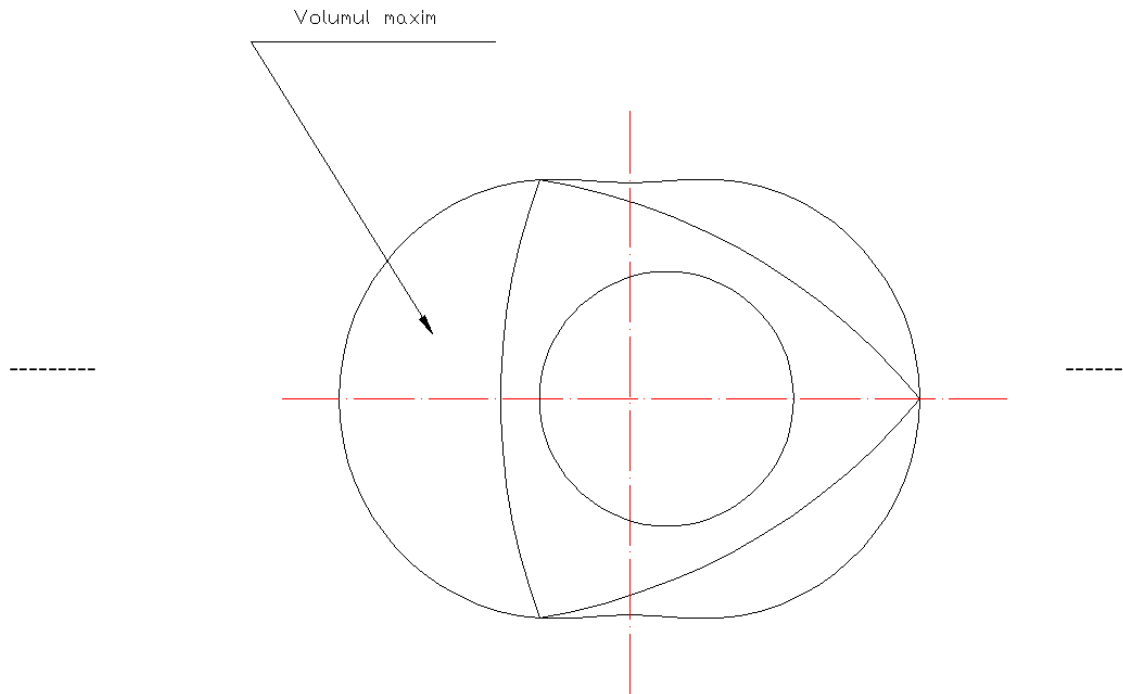


Fig.2.7. Secțiunea ariei maxime

REGIONS -----

Area: 9158.8511  
Perimeter: 444.5522  
Bounding box: X: 506.9152 -- 588.4793  
Y: 379.1643 -- 555.8193  
Centroid: X: 548.4968  
Y: 467.5009  
Moments of inertia: X: 2019802487.3748  
Y: 2758685058.5318  
Product of inertia: XY: 2348538959.7144  
Radii of gyration: X: 469.6063  
Y: 548.8208

Principal moments and X-Y directions about centroid:

I: 3256622.0698 along [0.0001 1.0000]

J: 18070608.0484 along [-1.0000 0.0001]

Valoarea ariei maxime  $A_{max} = 91,58 \text{ cm}^2$ . Acestea îi corespunde un volum cu valoarea:

$V_{max} = A_{max} \cdot h = 91,58 \cdot 8,2 = 750,956 \text{ cm}^3$ .

Pentru motorul Wankel avem:

Raza rotorului  $R_c = 102 \text{ mm}$ ;

Raza manivelei  $e = 15 \text{ mm}$ ;

Înălțimea rotorului  $h = 82 \text{ mm}$ .

Avem parametrii:

$$\lambda = \frac{e}{R_c} \quad \lambda = 0,147$$

$$\mu = \frac{h}{R_c} \quad \mu = 0,803$$

$V_{\min} = 87,55 \text{ cm}^3$ ;

$V_{ca} = 19,71 \text{ cm}^3$ ;

Determinarea volumului de lucru:

Relația pentru determinarea volumului de lucru este:

$$V(\alpha) = \mu \left( (R_c^3 \pi \lambda^2 - 3 \frac{\sqrt{3}}{2} \lambda \cos(2\alpha) + (\frac{\pi}{3} - 4 \frac{\sqrt{3}}{2})) \right) - (V_{\min} + V_{ca})$$

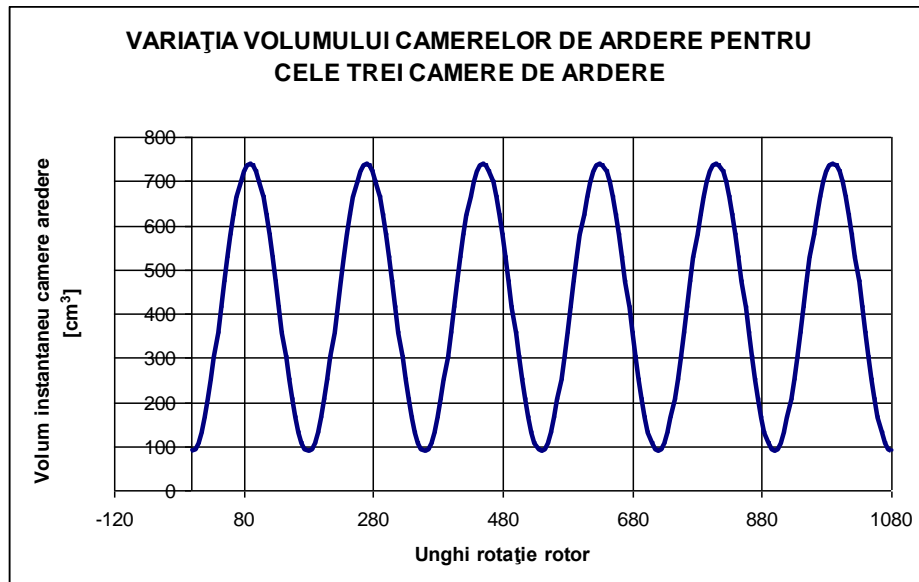


Fig. 2.8



În fig. 2.8. este redată variația volumului pentru cele trei camere de ardere pentru un ciclu complet al rotorului, respectiv 1080°.

Prin prelucrarea variației presiunii din camera de ardere în funcție de poziția rotorului, am determinat presiunea medie efectivă pe ciclu (indicated mean effective pressure):

$$p_{me} = \frac{1}{V_{cil}} \int_0^{1080} P dV = 630332 \text{ [Pa]}$$

Pentru calculul puterii motorului, avem turația arborelui cotit ce rezultă din relația:

$$n_c = 3/2n_r$$

unde:  $n_c$  – turația arborelui cotit;  
 $n_r$  – turația rotorului.

### Referințe bibliografice:

1. Bensinger, Wolf-Dieter, Rotationskolben-Verbrennungsmotoren, Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 1973, ISBN-10: 3540058869.
2. Faith, Nicholas, *Wankel: The Curious Story Behind the Revolutionary Rotary Engine*, Stein and Day Publishing, p. 219, ISBN 978-0-8128-1719-5.
3. Hege, John B., *The Wankel Rotary Engine*, McFarland Publishing, pp. 158–9, ISBN 978-0-7864-1177-1.
4. Yamamoto, Kenichi, *The Wankel Engine: Design, Development, Applications*, 2nd Edition, Illustrated Edition, Toyo Kogyo (Mazda), 1972, 519 p., ISBN-10: 0561001375.