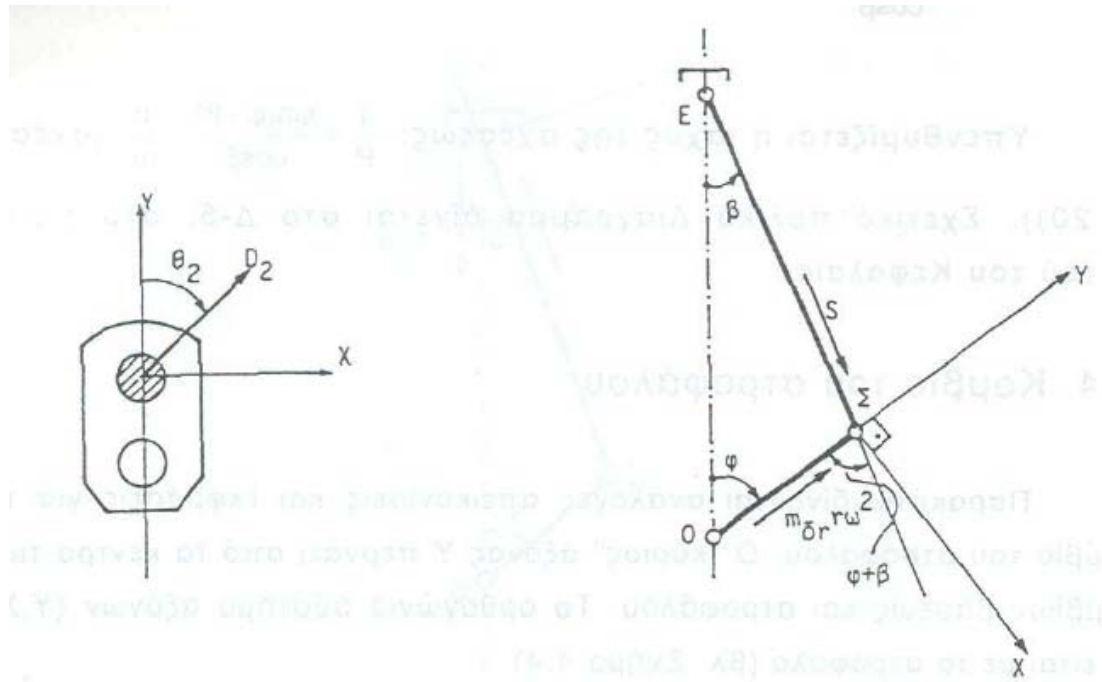


### Κομβίο του στροφάλου

Δυνάμεις από ένα κύλινδρο:



$$D_{2x} = T(\varphi) = \left( \frac{P(\varphi)}{\cos\beta} \right) \sin(\varphi + \beta)$$

$$D_{2y} = - \left( \frac{P(\varphi)}{\cos\beta} \right) \cos(\varphi + \beta) + = -R + m_{\delta} r \omega^2$$

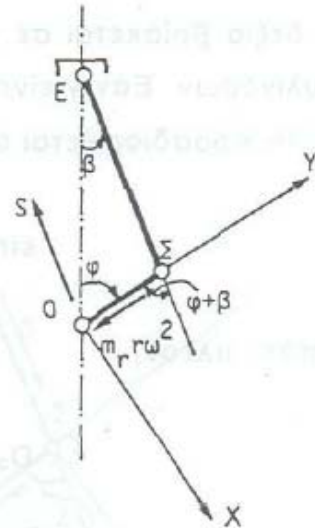
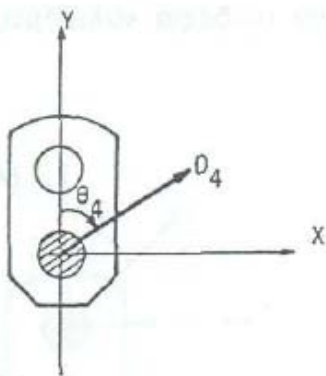
$m_{\delta r}$  = μάζα σχετικού διωστήρα στο υποθετικό μοντέλο

### Κομβίο βάσεως στροφαλοφόρου άξονα

Δυνάμεις από ένα κύλινδρο:

Έστω ότι η φόρτιση από τον κύλινδρο μοιράζεται εξίσου στα κομβία στήριξης του στροφαλοφόρου άξονα. Επομένως οι σχέσεις των δυνάμεων που αναφέρονται παρακάτω δίνουν τη μισή τιμή, αφού αναφέρονται στο ένα κομβίο.

Ο άξονας Y περνάει από τα κέντρα των κομβίων βάσεως και κάτω διωστήρα.



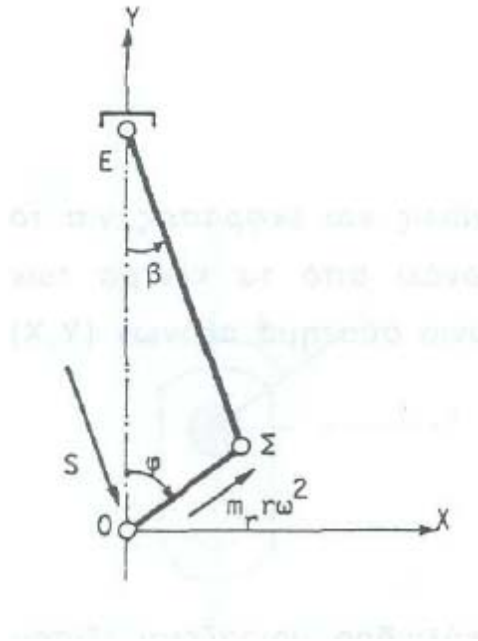
$$D_{4X} = \frac{1}{2} \frac{P(\varphi)}{\cos \beta} \cos(90^\circ + \varphi + \beta) = -\frac{1}{2} \frac{P(\varphi)}{\cos \beta} \sin(\varphi + \beta) = -\frac{1}{2} S \sin(\varphi + \beta) = -\frac{1}{2} T(\varphi)$$

$$D_{4Y} = \frac{1}{2} \left[ \frac{P(\varphi)}{\cos \beta} \cos(\varphi + \beta) - m_r r \omega^2 \right] = \frac{1}{2(R - m_r r \omega^2)}$$

Όπου:  $m_r = m_{\delta r} + m_\sigma$

### Έδρανο βάσεως στροφαλοφόρου άξονα

Δυνάμεις από ένα κύλινδρο



$$D_{6x} = \frac{1}{2} \left[ \frac{P(\varphi)}{\cos\beta} \cos(90^\circ - \beta) m_r r \omega^2 \cos(90^\circ - \varphi) \right] = \frac{1}{2} [P(\varphi) \operatorname{tg}\beta + m_r r \omega^2 \sin\varphi]$$

$$D_{6y} = \frac{1}{2} \left[ \frac{P(\varphi)}{\cos\beta} \cos(180^\circ - \beta) m_r r \omega^2 \cos\varphi \right] = \frac{1}{2} [-P(\varphi) + m_r r \omega^2 \cos\varphi]$$

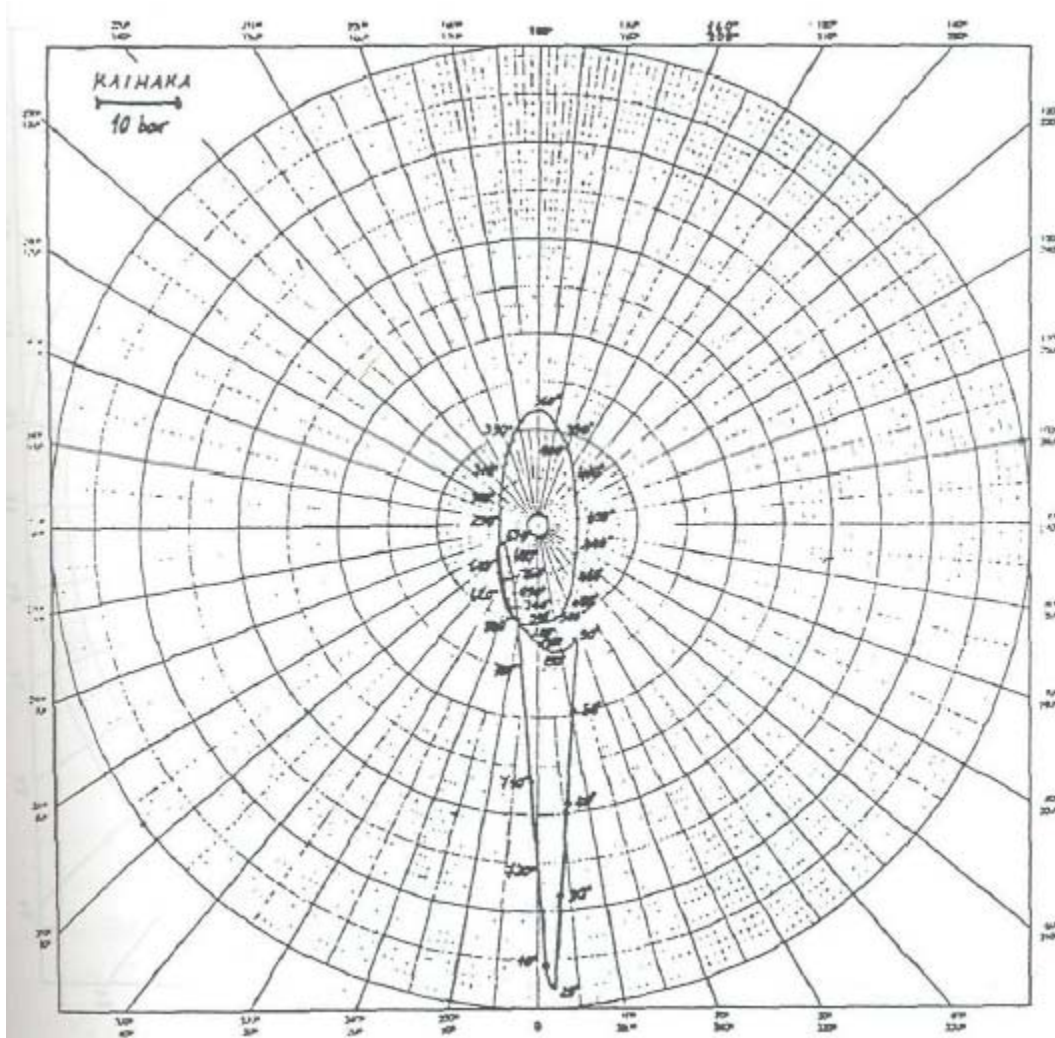
Το κλάσμα του ενός δευτέρου σημαίνει ότι η δύναμη μοιράζεται ισόποσα στα κομβία βάσεως.

## Πολικά Διαγράμματα

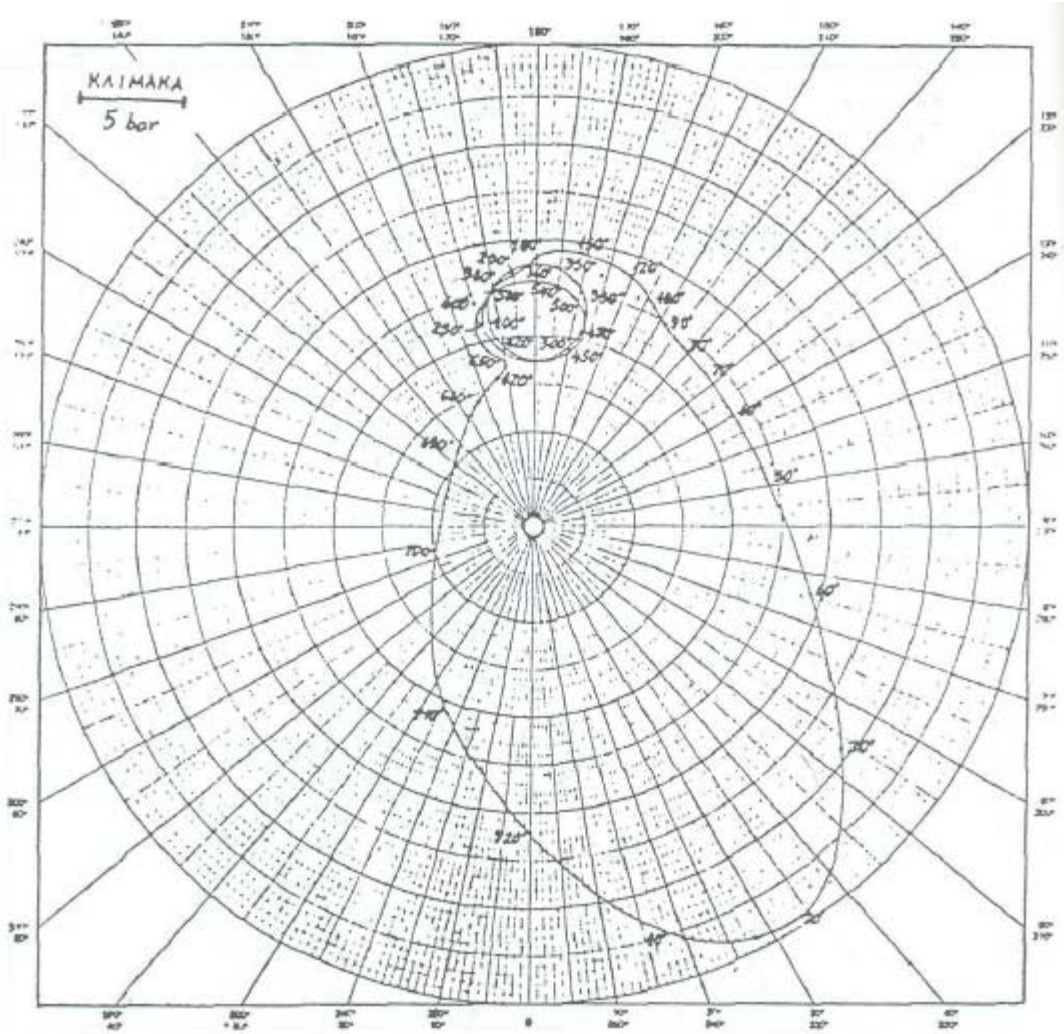
Για την αποτύπωση των δυνάμεων (και των πιέσεων) επάνω στα έδρανα ενός κινητήρα χρησιμοποιούνται διαγράμματα, που λόγω της μορφής που παρουσιάζουν ονομάζονται πολικά και παρουσιάζονται παρακάτω.

Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζουν:

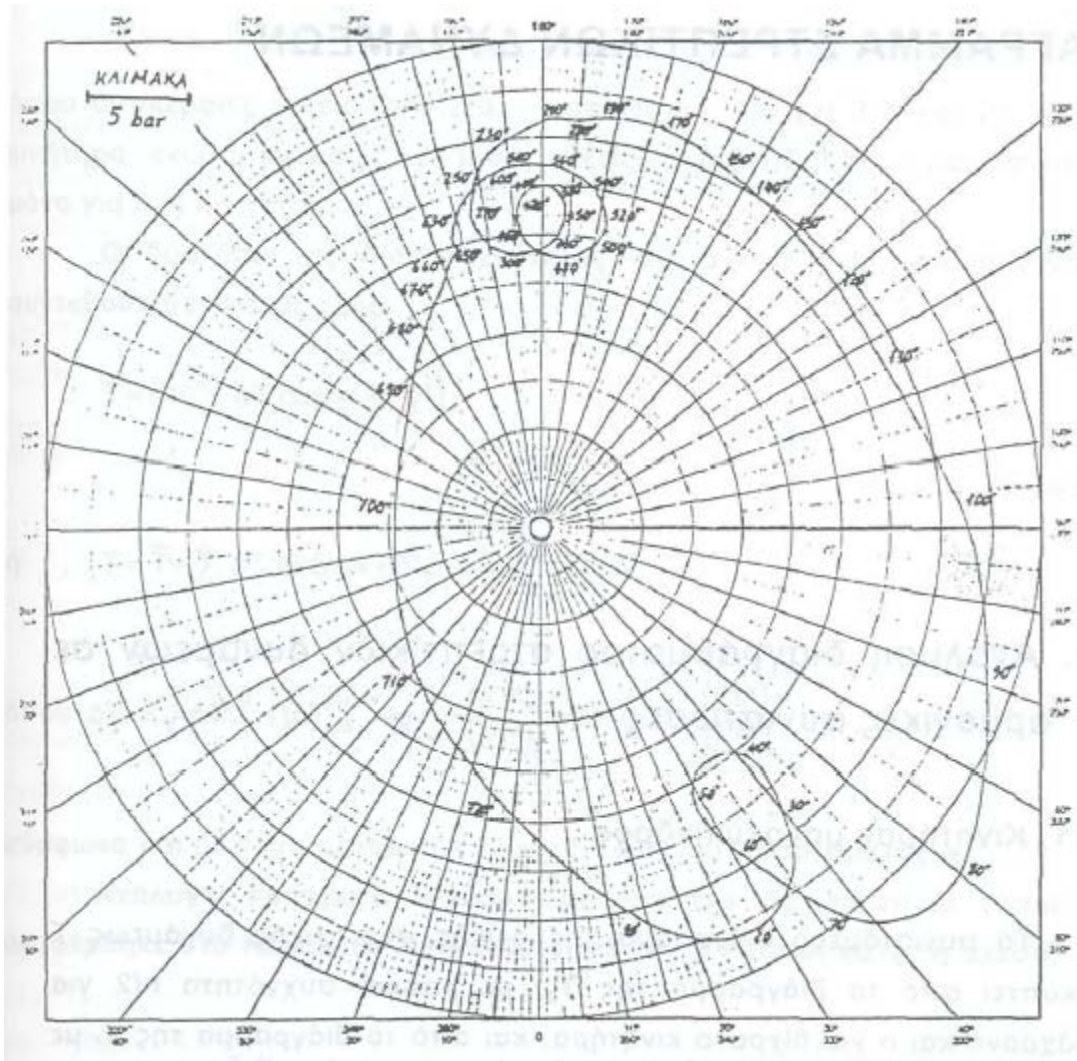
- Τις δυνάμεις ή τις πιέσεις
  - Πραγματικό τους μέγεθος
  - Υπό ορισμένη κλίμακα
  - Στην πραγματική τους θέση (αναφορικά προς ένα από τους κύριους άξονες του υπόψη στοιχείου)
- Παρουσιάζεται η σχετική γωνία του στροφάλου στην αντίστοιχη θέση



Πολικό Διάγραμμα πιέσεων στο έδρανο της κάτω κεφαλής του διωστήρα



Πολικό Διάγραμμα πιέσεως στο έδρανο βάσης 4-χρονου κινητήρα διάταξης V. Επίδραση του ενός κυλίνδρου.



Πολικό Διάγραμμα πιέσεως στο έδρανο βάσης 4-χρονου κινητήρα διάταξης V. Επίδραση του ενός κυλίνδρου.

## Διαγράμματα στρεπτικών δυνάμεων

### Μονοκύλινδος κινητήρας

Σε προηγούμενες αναλύσεις είχε αναφερθεί ότι η ολική στρεπτική δύναμη  $T$  προκύπτει:

- από το διάγραμμα της  $T_g$  με βασική συχνότητα  $n/2$  για τετράχρονο και  $n$  για δίχρονο κινητήρα, και
- από το διάγραμμα της  $T_i$  με συχνότητα  $n$  για κάθε κινητήρα

Ούτως ώστε το διάγραμμα της  $T$  θα έχει βασική συχνότητα  $n/2$  για τετράχρονους και  $n$  για δίχρονο κινητήρα.

Όπου  $n$  είναι 1,2,3,...

Η ολική στρεπτική δύναμη  $T$  μπορεί να αναλυθεί κατά Fourier και εκφράζεται ως εξής:

$$T = \bar{T} + \sum_{\substack{\lambda=0,5 \\ \text{ή } \lambda=1}}^{\infty} [(\Delta T^\lambda)_A \cos(\lambda\omega t) + (\Delta T^\lambda)_B \sin(\lambda\omega t)]$$

Όπου:

$\lambda=1,2,3,\dots$  Ισχύουν για δίχρονο και τετράχρονο κινητήρα ενώ όταν  $\lambda=1/2, 1, 3/2, 2$  ισχύουν μόνο για τετράχρονο κινητήρα.

Αν συντεθούν μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$T = \bar{T} + \sum \Delta T^\lambda \cos(\lambda\omega t - \gamma^\lambda) \text{ ή}$$

$$T = \bar{T} + \sum \Delta T^\lambda \sin(\lambda\omega t - \delta^\lambda)$$

Όπου:

$$\Delta T^\lambda = \sqrt{(\Delta T^\lambda)_A^2 + (\Delta T^\lambda)_B^2}$$

$$\operatorname{tg} \gamma^\lambda = \frac{(\Delta T^\lambda)_B}{(\Delta T^\lambda)_A} \text{ και}$$

$$\operatorname{tg} \delta^\lambda = \frac{(\Delta T^\lambda)_A}{(\Delta T^\lambda)_B}$$

Αναλόγως ισχύει και για την δύναμη  $T_g$  για την οποία σύμφωνα με την ανάλυση κατά Fourier ισχύει:

$$T_g = \bar{T}_g + \sum_{\substack{\lambda=0,5 \\ \text{ή } \lambda=1}}^{\infty} [(\Delta T_g^\lambda)_A \cos(\lambda\omega t) + (\Delta T_g^\lambda)_B \sin(\lambda\omega t)] \text{ ή όπως για την } T$$

$$T_g = \bar{T}_g + \sum \Delta T_g^\lambda \cos(\lambda\omega t - \gamma_g^\lambda) \text{ ή}$$

$$T_g = \bar{T}_g + \sum \Delta T_g^\lambda \sin(\lambda\omega t - \delta_g^\lambda)$$

Η  $T_l$  αναλύεται και αυτή κατά σειρά *Fourier* και εκφράζεται με ημιτονικούς ακέραιους όρους:

$$T_l = \sum_{v=1}^{\infty} \Delta T_l^v \sin(v\omega t)$$

Επειδή ισχύει ότι:  $T = T_g + T_l$  προσθέτουμε τις προηγούμενες εξισώσεις κατά μέλη και παίρνουμε:

$$T = \bar{T}_g$$

$$(\Delta T^\lambda)_A = (\Delta T_g^\lambda)_A$$

$$(\Delta T^\lambda)_B = (\Delta T_g^\lambda)_B + \Delta T_l^v$$

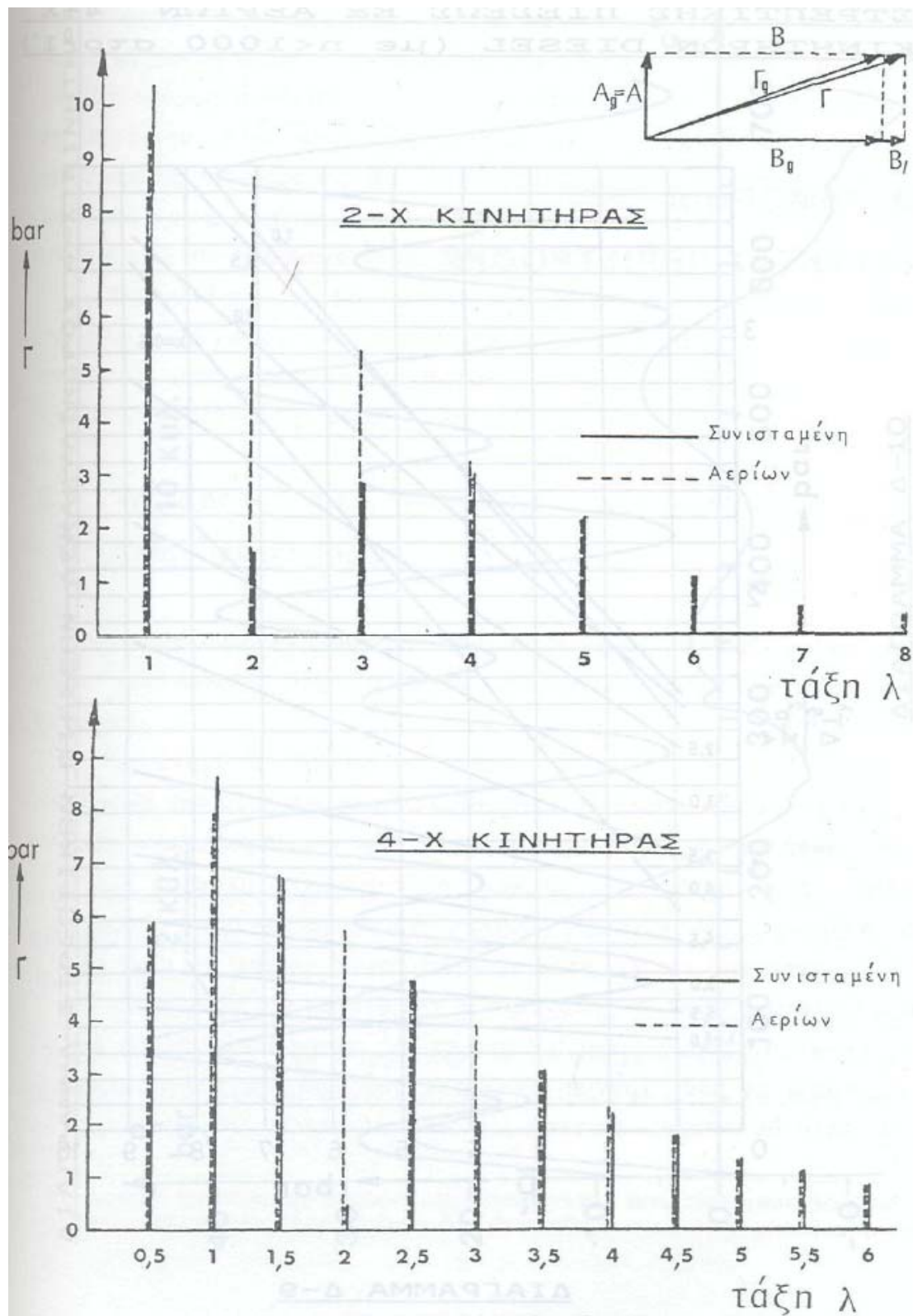
Όπου  $v=\lambda$  μόνο όταν το  $\lambda$  είναι ακέραιος, αλλιώς ισχύει ότι  $\Delta T_l^v=0$

Οι προηγούμενες σχέσεις ισχύουν:

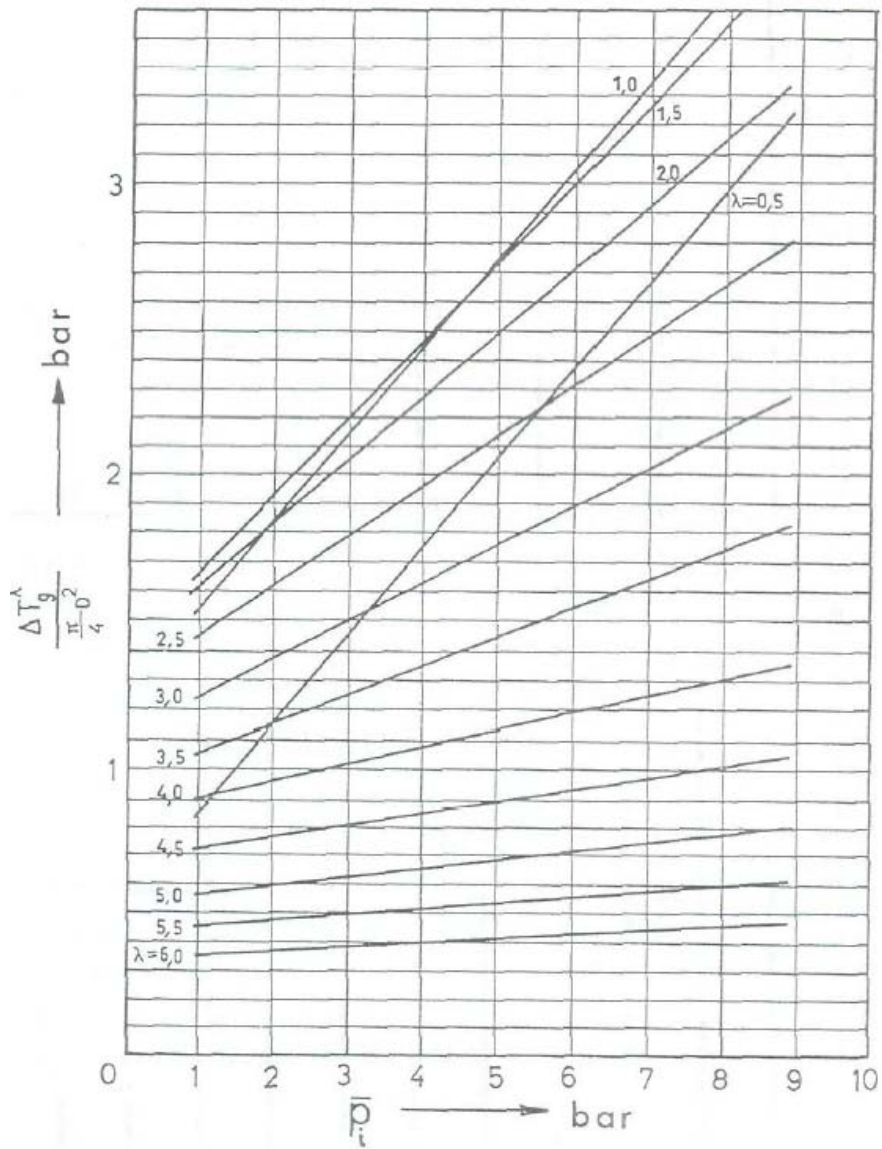
- δίχρονος κινητήρας για  $\lambda=1,2,3,\dots$
- Τετράχρονος κινητήρας για  $\lambda=1/2, 1, 3/2, 2, 5/2, 3, \dots$

Το διάγραμμα της  $T_g$ , είναι φυσικά διαφορετικό για διαφορετικούς τύπους κινητήρων και για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας (κυρίως για διαφορετικά φορτία). Τα διαγράμματα της  $T_l$ , αντίστοιχα μεταβάλλονται ευρέως με την ταχύτητα περιστροφής.

Λόγω του ότι τα δυναμοδεικτικά διαγράμματα όλων των κινητήρων ενός ορισμένου τύπου (π.χ. 4-Χ ταχύστροφου *diesel*) παρουσιάζουν ομοιότητες, έχουν αναπτυχθεί εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα που προέκυψαν από δοκιμές και μετρήσεις σε κινητήρες, που δίνουν τις αρμονικές στρεπτικές πιέσεις από τα αέρια συναρτήσει κυρίως της μέσης ενδεικνύμενης πίεσεως και βρίσκονται στην βιβλιογραφία.



Φάσμα αρμονικών στρεπτικών συνιστωσών



Τυπική εικόνα αρμονικών συνιστωσών στρεπτικής πίεσης λόγω των αερίων σε τετράχρονο κινητήρα πετρελαίου (με  $n < 1000$  στροφές ανά λεπτό), σε συνάρτηση με την μέση ενδεικτική πίεση για τις 12 πρώτες αρμονικές.

### Πολυκύλινδρος κινητήρας

Έχοντας ένα πολυκύλινδρο κινητήρα με αριθμό κυλίνδρων  $z$  και θεωρώντας ότι όλοι λειτουργούν με όμοιο τρόπο (πράγμα πρακτικά αδύνατο), οι αρμονικές συνιστώσες του διαγράμματος της δύναμης  $T$  θα έχουν συχνότητες:

- $nz, 2nz, 3nz, \dots$  για δίχρονο κινητήρα
- $nz/2, nz, 3nz/2, \dots$  για τετράχρονο κινητήρα

η στρεπτική δύναμη με γωνιακή ταχύτητα  $\omega=2\pi n$  είναι:

$$T_z = \sum_{\xi=0}^{z-1} \left\{ \bar{T} + \sum_{\substack{\lambda=0,5 \\ \text{ή } \lambda=1}}^{\infty} \left\{ (\Delta T^\lambda)_A \cos \left[ \lambda \omega \left( t + \xi \frac{\tau}{z} \right) \right] + (\Delta T^\lambda)_B \sin \left[ \lambda \omega \left( t + \xi \frac{\tau}{z} \right) \right] \right\} \right\}$$
$$= z\bar{T} + \sum_{\substack{\lambda=0,5 \\ \text{ή } \lambda=1}}^{\infty} \left\{ (\Delta T^\lambda)_A \sum_{\xi=0}^{z-1} \cos \left[ \lambda \omega \left( t + \xi \frac{\tau}{z} \right) \right] + (\Delta T^\lambda)_B \sum_{\xi=0}^{z-1} \sin \left[ \lambda \omega \left( t + \xi \frac{\tau}{z} \right) \right] \right\}$$

Όπου  $\tau/z$  είναι η χρονική απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών αναφλέξεων οπότε έχουμε:

Περίοδο  $\tau=1/n$  για δίχρονους κινητήρες και

$\tau=2/n$  για τετράχρονους κινητήρες.

Εργασία

Πως προκύπτουν οι σχέσεις των δύο κυλίνδρων στα εξής:

- Κομβίο βάσεως

Να γραφτούν αναλυτικά.

