ΤΕΙ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (Σ.Τ.ΕΦ.)
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
ΠΜΣ Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπολογισμός και αυτόματη παραμετροποίηση, σχεδίαση και κατασκευή στροφαλοφόρου άξονα σε 4-αξονικό κέντρο κατεργασιών CNC.

ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
ΑΜ 515002
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΚΡΙΜΠΕΝΗΣ ΑΓΑΘΟΚΛΗΣ
ΧΑΛΚΙΔΑ 2018

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

«Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ.Ε.Σ. του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΦΑΤΣΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ (Μέλος)

2. ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΑΡΚΟΛΕΦΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ (Μέλος)

3.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΡΙΜΠΕΝΗΣ ΑΓΑΘΟΚΛΗΣ (Επιβλέπων)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.»

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί ουσιαστικά τον επίλογο της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Κατά τη συγγραφή της ένιωσα ότι συνθέτω ένα «πάζλ».

Βγαίνοντας από κάθε θεματική ενότητα στην διαδρομή της ένοιωθα ότι το κάθε ένα είναι κομμάτι του «πάζλ». Μόνο στο τέλος μπορείς να δεις ολόκληρη την «εικόνα».

Η εικόνα όμως είναι ξεκάθαρη και όμορφη.

Και το κυριότερο είναι ότι πλαισιώνεται από τις εμπειρίες που απεκόμισα τα δύο χρόνια των Μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Εμπειρίες που με έκαναν να επαναπροσδιορίσω έννοιες όπως η γνώση, η σκέψη, η αμφισβήτηση, η επιμονή, η αυτοπεποίθηση, η ηθική. Στο τέλος της -ενδιαφέρουσας- διαδρομής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Κριμπένη Αγαθοκλή –Καθηγητή Εφαρμογών του τμήματος Μηχ/γων Μηχ/κων του ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας- για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας.

Ο στροφαλοφόρος άξονας παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα στον υπολογισμό των δυνάμεων που επενεργούν σε αυτόν,καθώς και στην κατασκευή του.

Με την επιστημονική και ηθική καθοδήγηση του Κου Κριμπένη απέκτησα τις γνώσεις στην ενδιαφέρουσα θεματολογία. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Καθηγητή Δρ. Φατσή Αντώνη για τις γνώσεις που απεκόμισα ιδιαίτερα στον υπολογισμό των μεγεθών του κινηματικού μηχανισμού εμβολοφόρας ΜΕΚ..

Τέλος η συνεισφορά τους στην ανάπτυξη ιδιαίτερων γνώσεων στο Μεταπτυχιακό πρόγραμμα είναι σημαντική.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

		ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
		ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
		ΕΙΣΑΓΩΓΗ	vii
1		**ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ**	
	1.1.	Ιστορική ανασκόπηση	1
	1.2.	Γενική κατάταξη των ΜΕΚ	3
	1.3.	Κατάταξη των πετρελαιοκινητήρων	4
	1.4.	Κατάταξη των βενζινοκινητήρων	4
2		**ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**	
	2.1.	Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα	7
	2.2.	Υπολογισμός χαρακτηριστικών των υπό εξέταση κινητήρων	9
	2.3.	Υπολογισμός κυβισμού των υπό εξέταση κινητήρων	10
	2.4.	Συνοπτικά στοιχεία στροφαλοφόρου άξονα	11
	2.5.	Υπολογισμός διαστάσεων στροφάλου	15
	2.6.	Συνοπτικά στοιχεία Διωστήρα	19
	2.7.	Υπολογισμός διαστάσεων διωστήρα	24
	2.8.	Συνοπτικά στοιχεία εμβόλου	27
	2.9.	Υπολογισμός διαστάσεων εμβόλου	29
	2.10.	Υπολογισμός μεγεθών του κινηματικού μηχανισμού	34
	2.11.	Υπολογισμός μετατόπισης του εμβόλου	35
	2.12.	Υπολογισμός ταχύτητας του εμβόλου	37

	2.13.	Υπολογισμός επιτάχυνσης του εμβόλου.	39
	2.14.	Δυνάμεις αερίων.	40
	2.15.	Καταπόνηση στροφάλου.	43
	2.16.	Επιλογή υλικού και υπολογισμός της αντοχής του στροφαλοφόρου.	45
	2.17.	Αστοχίες στροφαλοφόρου άξονα.	47
3		**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΜΕΚ**	
	3.1.	Βήματα σχεδιασμού του στροφαλοφόρου Άξονα με το πρόγραμμα soliwdorks.	49
	3.2.1.	Γεωμετρικό Μοντέλο του Στροφαλοφόρου Άξονα (Διάμετρος κυλίνδρου 67mm-Ford Fiesta 1000 cm^3).	61
	3.2.2.	Γεωμετρικό Μοντέλο του Στροφαλοφόρου Άξονα (Διάμετρος κυλίνδρου 84mm-Ford Mondeo 2000 cm^3).	62
	3.2.3.	Γεωμετρικό Μοντέλο του Στροφαλοφόρου Άξονα (Διάμετρος κυλίνδρου 35 mm (με εξωτερική διάμετρο 80 mm) το οποίο θα κατασκευαστεί.	63
	3.3.1.	Εισαγωγή γεωμετρικού μοντέλου στο model του προγράμματος Spurt CAM.	64
	3.3.2.	Επιμέρους βήματα που ακολουθούνται προκειμένου να ολοκληρωθεί το γεωμετρικό μοντέλο στο CAM : Face Milling, Roughing Waterline, Roughing Waterline2, Roughing Waterline2a, Roughing Waterline1a, Rotary machining.	65

	3.4.	Κώδικας: 0 Face tap 1 Roughing tap, 2 Roughing tap, 3 Roughing tap, 4 Roughing tap, 5 finish tap.	67
	3.5.	Κατασκευή στροφαλοφόρου άξονα σε 4-αξονική φρέζα CNC.	69
4		**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**	71
5		**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ**	74

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία έχει σκοπό την κατασκευή ενός στροφαλοφόρου άξονα τετρακύλινδρης τετράχρονης ΜΕΚ.

Την υλοποίηση του παραπάνω σκοπού υπηρέτησαν οι επί μέρους στόχοι: α)ο υπολογισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών των υπό εξέταση κινητήρων, β)ο υπολογισμός των μεγεθών του κινηματικού μηχανισμού, γ)οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις, δ)ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του στροφαλοφόρου άξονα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα solidworks και ε) ορίστηκαν οι γεωμετρικές παράμετροι που αφορούν την πλήρη γεωμετρία του στροφαλοφόρου άξονα.

Μελετάται στροφαλοφόρος άξονας κατασκευασμένος από χάλυβα υψηλής αντοχής με μέτρο ελαστικότητας E=206 GPa, λόγο poison μ= 0,3 ,όριο διαρροής σε εφελκυσμό (θλίψη)σS=736N/mm², όριο θραύσης σε εφελκυσμό (θλίψη) σB=981N/mm², τετρακύλινδρου, τετράχρονου βενζινοκινητήρα ΜΕΚ.

Στα υπό εξέταση οχήματα: α) Ford Fiesta 1000cm³ και β) Ford Mondeo 2000 cm³ αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των κινητήρων, υπολογίζεται ο κυβισμός τους, καθώς υπολογίζονται οι διαστάσεις των στοιχείων των κινητήρων.

Η συγκεκριμένη ΜΕΚ καταπονείται από έντονα δυναμικά φαινόνενα, λόγω της παλινδρομικής κίνησης των εμβόλων τους,αλλά και λόγω της χρονικής μεταβολής των δυνάμεων από την συμπίεση, την καύση και ιδιαίτερα από την εκτόνωση των αερίων του κινητήρα.

Έτσι προσδιορίστηκε η αυτόματη παραμετρική δημιουργία διαφορετικών γεωμετρικών μοντέλων στροφαλοφόρου άξονα.

Επιλέχτηκε το υλικό και υπολογίστηκε η αντοχή του στροφαλοφόρου άξονα.

Όλοι υπολογισμοί προσδιορίστηκαν από τις διαφορετικές τιμές του κυλίνδρου του κάθε οχήματος.

Το αντίστοιχο γεωμετρικό μοντέλο εισήχθη στο CAM, με την εξαγωγή του κώδικα ετοιμάστηκε προς κατασκευή σε 4-αξονική φρέζα CNC. . Η κατασκευή ακολούθησε συγκεκριμένα ιεραρχημένα βήματα για την υλοποίηση της.

Εργαλεία που αξιοποιήθηκαν για την επίτευξη των στόχων: excel , solidworks, το SprutCAM, φρέζα CNC(computer Aided Manufacturing).

ABSTRACT

This thesis aims at the construction of a four-stroke MEK rotary shaft. The implementation of this objective was accomplished by the following subsequent objectives: a) the calculation of the technical features of the engines under examination, b) the calculation of the sizes of the kinematic mechanism, c)the developing forces; d) the design of the rotary shaft geometry in the solidworks design program; and e) the defining geometric parameters relating to the complete geometry of the shaft axle.
It is studied the crankshaft made steel of high endurance with a modulus of elasticity E = 206 GPa, poison ratio $\mu = 0,3$, leakage limit $\sigma S = 736N / mm^2$, smashing limit $\sigma B = 981N / mm^2$, of a four cylinder, four stroke gasoline engine MEK.
For the vehicles under search: (a) Ford Fiesta 1000cm³ and (b) Ford Mondeo2000 cm³ the characteristics of the engines are referred, their cubic capacity is calculated as well as the dimensions of the engine data. This MEK is tormented by strong dynamic phenomena due to the reciprocating movement of their pistons, but also due to the temporal change of the forces caused by the compression, the combustion and especially by the release of the exhaust fumes of the engine.

Thus, the automatic parametric creation of different geometric models of crankshaft was defined. The material was chosen and the crankshaft endurance was measured.

All calculations were determined by the different values of the cylinder of each vehicle.

The respective geometric model was introduced into the CAM, with the extraction of the code being prepared for the construction on a 4-axis CNC milling machine. . The construction followed specific hierarchical steps for its implementation.

Tools which were used to achieve the goals: excel, solidworks, SprutCAM, computer Aided Manufacturing (CNC).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

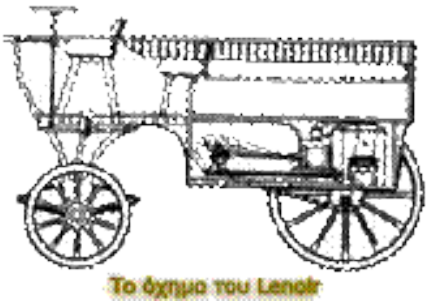
Η Δομή της διπλωματικής έχει ως εξής:

- Στο 1.1. υποκεφάλαιο αναφέρεται η ιστορική ανασκόπηση.
- Στο 1.2.υποκεφάλαιο περιγράφεται η κατάταξη των ΜΕΚ.
- Στο 2.2. υποκεφάλαιο υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά.
- Στο 2.3. υποκεφάλαιο ο κυβισμός των υπό εξέταση κινητήρων
- Στο 2.4. υποκεφάλαιο περιγράφονται τα μηχανικά στοιχεία του στροφαλοφόρου άξονα
- Στο 2.5. υποκεφάλαιο υπολογίζονται οι διαστάσεις του στροφαλοφόρου άξονα .
- Στο 2.6. υποκεφάλαιο περιγράφονται τα μηχανικά στοιχεία του διωστήρα.
- Στο 2.7. υποκεφάλαιο υπολογίζονται οι διαστάσεις του διωστήρα.
- Στο 2.8. υποκεφάλαιο περιγράφονται τα μηχανικά στοιχεία του εμβόλου.
- Στο 2.9. υποκεφάλαιο υπολογίζονται οι διαστάσεις του εμβόλου.
- Στο 2.10. υποκεφάλαιο υπολογίζονται τα μεγέθη του κινηματικού μηχανισμού.
- Στο 2.11. υποκεφάλαιο υπολογίζεται η μετατόπιση του εμβόλου.
- Στο 2.12. υποκεφάλαιο υπολογίζεται η ταχύτητα του εμβόλου.
- Στο 2.13. υποκεφάλαιο υπολογίζεται η επιτάχυνση του εμβόλου.
- Στο 2.14 υποκεφάλαιο υπολογίζεται η επιτάχυνση του εμβόλου.
- Στο 2.14. υποκεφάλαιο περιγράφονται και υπολογίζονται οι δυνάμεις των αερίων.
- Στο 2.15. υποκεφάλαιο περιγράφεται η καταπόνηση του στροφαλοφόρου άξονα.
- Στο2.16. υποκεφάλαιο επιλέγεται το υλικό και υπολογίζεται η αντοχή του στροφαλοφόρου άξονα .
- Στο 2.17. υποκεφάλαιο περιγράφονται οι αστοχίες του στροφαλοφόρου άξονα.
- Στο 3.1. υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα βήματα σχεδιασμού της γεωμετρίας του στροφαλοφόρου άξονα .
- Στο 3.2. υποκεφάλαιο ορίζεται η αυτόματη παραμετροποίηση.
- Στο 3.2.1. υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο του στροφαλοφόρου άξονα (διάμετρος κυλίνδρου 67mm).
- Στο 3.2.2. υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο του στροφαλοφόρου άξονα (διάμετρος κυλίνδρου 84mm).

- Στο 3.2.3. υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο του στροφαλοφόρου άξονα (διάμετρος κυλίνδρου 35mm) το οποίο και θα κατασκευαστεί.
- Στο 3.3.1. υποκεφάλαιο εισάγεται το γεωμετρικό μοντέλο στο model του προγράμματος Sprut CAM
- Στο 3.3.2. υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα επί μέρους βήματα που ακολουθούνται προκειμένου να ολοκληρωθεί το γεωμετρικό μοντέλο.
- Στο 3.4. υποκεφάλαιο εξάγεται ο κώδικας G gode.
- Στο 3.5. υποκεφάλαιο κατασκευάζεται ο στροφαλοφόρος άξονας σε 4-αξονική φρέζα CNC.
- Στο 3.6. υποκεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές.
- Στο 3.7. υποκεφάλαιο αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.1. Ιστορική αναφορά

Πρόδρομος του βενζινοκινητήρα θεωρείται η ατμομηχανή, που πρωτοεμφανίστηκε τον 18ο αιώνα. Η ΜΕΚ, που ακολούθησε τον 19ο αιώνα ως βελτίωση για πολλές εφαρμογές, δε μπορεί να αποδοθεί μόνο σε έναν εφευρέτη. Ήδη από τον 17ο αιώνα αρκετοί πειραματιστές προσπάθησαν αρχικά να χρησιμοποιήσουν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Το 1820 στην Αγγλία ένας κινητήρας λειτουργούσε με βάση την έκρηξη μίγματος αέρα-υδρογόνου. Οι κινητήρες αυτοί ήταν βαρείς και χονδροειδείς στην κατασκευή αλλά περιείχαν πολλά βασικά στοιχεία των μετέπειτα, πιο επιτυχημένων συσκευών.

Το 1769 ο Γάλλος Nicolas Joseph Cungot δημιούργησε το πρώτο αυτοκίνητο όχημα, ένα αυτοκινούμενο αμάξι το οποίο και πήρε το όνομα του. Το όχημα του Cugnot είχε 3 ρόδες , ζύγιζε 2,5 τόνους και στο εμπρόσθιο μέρος έφερε ατμολέβητα από όπου ο ατμός διοχετευόταν με μια απλή διάταξη σε κάθετο έμβολο και μετέδιδε με στροφαλοφόρο άξονα τη κίνηση στο πρόσθιο τροχό. Μια στάση κάθε 1520 λεπτά ήταν αναγκαία για να ενισχύσει τη δύναμη του ατμού. Έτσι το όχημα ήταν να ικανό να κινηθεί μέχρι 2,6 χιλιόμετρα ανά ώρα μεταφέροντας 4 επιβάτες. Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Σαντί Καρνό δημοσίευσε το κλασικό πλέον σύγγραμμα *Σκέψεις πάνω στην Ωστική δύναμη της θερμότητας* στο οποίο περιέγραψε τις βασικές αρχές της θεωρίας εσωτερικής καύσης.

Μια σημαντικότατη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το 1862, όταν δημοσιεύτηκε η περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης από τον Αλφόνς

Μπω ντε Ροσά, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που διατύπωσε τις συνθήκες για την άριστη απόδοση. Ο κινητήρας του Μπω ντε Ροσά προέβλεπε τετράχρονο κύκλο, σε αντίθεση με το δίχρονο κύκλο (είσοδος-ανάφλεξη και ισχύς-έξοδος) του Λενουάρ. Όμως στα επόμενα 14 χρόνια ο τετράχρονος κινητήρας έμεινε στα χαρτιά.

Ο Etienne Lenoir κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης το 1862 που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο ένα μίγμα από κάρβουνο φωταέριο και αέρα. Ένα χρόνο αργότερα κατάφερε και πραγματοποίησε το πρώτο ταξίδι καλύπτοντας απόσταση 19,3 χιλιόμετρα με μέση ταχύτητα 6,4 χιλιόμετρα ανά ώρα και ισχύ0,5 ίππους. Η μεγάλη ζήτηση για τους κινητήρες του Ότι οδήγησε στην ίδρυση από τον Λάνγκεν της ανώνυμης εταιρίας Deutz AG στην Κολωνία, το έτος 1872, η οποία είχε στόχο τη μαζική παραγωγή κινητήρων. Το 1876 η εταιρεία χρησιμοποίησε το τετράχρονο κύκλο του Μπω ντε Ροσά στον σχεδιασμό ενός νέου κινητήρα. Η επιτυχία ήταν άμεση.

Παρά το μεγάλο βάρος και τη μέτρια οικονομία στα επόμενα 17 χρόνια πουλήθηκαν σχεδόν 50.000 κινητήρες συνολικής ισχύος 200.000 περίπου ίππων, ενώ ακολούθησε μια ραγδαία εξελισσόμενη ποικιλία μηχανών του τύπου αυτού. Η κατασκευή του κινητήρα Otto στις Η.Π.Α ξεκίνησε το 1878, έναν χρόνο μετά την κατοχύρωση από τον Otto της σχετικής ευρεσιτεχνίας

Σχήμα 1.2. Κατασκευή κινητήρα Otto

Το 1892 ο Rudolf Diesel κατασκευάζει το πρώτο κινητήρα εσωτερικής καύσης έχοντας ως καύσιμο το πετρέλαιο. Ο κινητήρας βέβαια δε χρησιμοποιήθηκε σε αυτοκίνητα λόγω του μεγάλου βάρους του , αλλά με τη συνεχή βελτίωση του , άρχισε να χρησιμοποιείται σε φορτηγά και λεωφορεία. Το πρώτο λειτουργικά ολοκληρωμένο δείγμα με καλό βαθμό αποδόσεως και εξοικονόμηση καυσίμου, κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο της εταιρίας MAN στην πόλη Augsburg

της Βαυαρίας. Αργότερα ιδρύθηκαν εργοστάσια σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις για τη μαζική παραγωγή κινητήρων ντίζελ. [5]

1.2. ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΚ

Οι ΜΕΚ διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: στις εμβολοφόρες παλινδρομικές, στις περιστροφικές και στους αεριοστρόβιλους (gas turbines).

Οι ***εμβολοφόρες παλινδρομικές ΜΕΚ*** κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1) ***Ανάλογα με τον τρόπο έναυσης (αναφλέξης) του καυσίμου*** διακρίνονται σε:

α) Μηχανές *έναυσης* με σπινθήρα (ή βενζινομηχανές ή κινητήρες Otto - spar k ignition engines).

β) Μηχανές *εναύσεως* με συμπίεση (ή πετρελαιομηχανές ή κινητήρες Diesel - compression ignition engines) και

γ) μηχανές Semi-Diesel (hot-bulb engines).

2) ***Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του εμβόλου*** για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας διακρίνονται σε ***τετράχρονες*** (four-stroke engines) και σε ***δίχρονες*** μηχανές (two-stroke engines).

3) ***Ανάλογα με το είδος του καυσίμου*** κατατάσσονται σε:

α) Μηχανές βαρέος πετρελαίου (μαζούτ).

β) Μηχανές ελαφρών καυσίμων (πετρέλαιο ντίζελ - βενζίνη).

γ) Μηχανές αερίων καυσίμων.

δ) Μηχανές πολλαπλών καυσίμων (multi-fuel engines). Ειδική περίπτωση αποτελούν οι μηχανές διπλού καυσίμου (dual-fuel).

4) ***Ανάλογα με την γωνιακή ταχύτατα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα*** διακρίνονται σε *μηχανές* ***αργόστροφες,*** *με ταχύτητα περιστροφής έως 350 rpm περίπου (κύριες μηχανές πλοίων),* ***μεσόστροφες,*** με ταχύτητα περιστροφής έως 1500 rpm περίπου (μηχανές πλοίων, τρένων και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), ***πολύστροφες,*** με ταχύτητα περιστροφής μέχρι 5000 rpm περίπου (μηχανές τροχοφόρων) και ***ταχύστροφες,*** με ταχύτητα περιστροφής άνω των 5000 rpm (αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας, αγωνιστικά αυτοκίνητα, δίτροχα μεγάλου κυβισμού).

5) ***Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων*** διακρίνονται σε ***μονοκύλνδρες*** και σε ***πολυκύλινδρες μηχανές.***

6) ***Ανάλογα με τπ διάταξη των κυλίνδρων*** κατατάσσονται σε ***κατακόρυφες*** ή εν ***σειρά, τύπον V, αντί τιθέμενων κυλίνδρων*** (οριζόντιες-boxer), ***αστεροειδείς, πολυγωνικές, διπλών εμβόλων*** κ.λπ..

7) ***Ανάλογα με τον τρόπο ψύξεως των κυλίνδρων*** κατατάσσονται σε ***υδρόψυκτες*** και σε ***αερόψυκτες μηχανές.***

8) ***Ανάλογα με τον τρόπο συνδέσεως του εμβόλου και τον διωστήρα*** κατατάσσονται σε ***μηχανές με*** ή ***χωρίς βάκτρο*** και ***ζύγωμα.***

9) ***Ανάλογα με τον τρόπο, της πίεσης αλλά και τηνν ποσότητα τον αέρα*** που εισάγεται στον κύλινδρο, κατατάσσονται σε ***υπερπληρούμενες*** (supercharged) και ***ατμοσφαιρικές μηχανές*** (φυσικής αναπνοής, atmospheric-induction engines).

10) ***Ανάλογα με τον τρόπο εγκαταστάσεως*** διακρίνονται σε μηχανές ***σταθερής*** ή ***μόνιμης βάσης*** και σε μηχανές ***κινούμενου φορέα*** (κινητές ή φορητές).

11) ***Ανάλογα με τη χρήση τους*** κατατάσσονται σε μηχανές οχημάτων, ναυτικές μηχανές, βιομηχανικές (σταθερές), μηχανές αεροσκαφών κ.λπ.

12) ***Ανάλογα με τη μέθοδο εισαγωγής τον καυσίμου*** οι βενζινομηχανές κατατάσσονται σε μηχανές με εξαερωτήρα (carburator) και σε μηχανές με αντλία εγχύσεως και εγχυτήρα (injection).

13) ***Ανάλογα με τη φορά περιστροφής τον στροφαλοφόρου άξονα*** κατατάσσονται σε μηχανές ορισμένης φοράς περιστροφής (δεξιόστροφες ή αριστερόστροφες) και σε αναστρέψιμες μηχανές.

14) ***Ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ ανά κύλινδρο στις κανονικές στροφές λειτουργίας*** κατατάσσονται σε μηχανές μικρής ισχύος (μέχρι 20 Ps), μέσης ισχύος (μέχρι 200 Ps) και μεγάλης ισχύος (άνω των 200 Ps).

15) ***Ανάλογα με τον τρόπο απόδοσης της ισχύος*** κατατάσσονται σε μηχανές σταθερών στροφών (και μεταβλητού φορτίου) και σε μηχανές μεταβλητών στροφών.

16) ***Ανάλογα με το είδος τον Θαλάμου καύσεως*** διακρίνονται σε μηχανές με ενιαίο και σε μηχανές με διαιρούμενο θάλαμο καύσεως.

1.3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι πετρελαιοκινητήρες ανάλογα με τη χρήση τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1) Κινητήρες αυτοκινήτων.

Οι πετρελαιοκινητήρες έχουν επικρατήσει απόλυτα στα φορτηγά αυτοκίνητα και στα λεωφορεία . Στα επιβατικά αυτοκίνητα η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς, λόγω της συνεχούς βελτίωσης των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους, της μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων και της οικονομίας καυσίμου που προσφέρουν.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πετρελαιοκινητήρων αυτοκινήτων, σε σύγκριση με τους πετρελαιοκινητήρες που χρησιμοποιούνται σε άλλους τομείς, είναι το μικρό βάρος ανά παραγόμενο ίππο, ο μεγάλος αριθμός στροφών ανά λεπτό (2200- 5000 rpm), η λειτουργία τους χωρίς κραδασμούς, το γρήγορο ξεκίνημα στο κρύο περιβάλλον, η χρήση ειδικής ποιότητας καυσίμου (πετρέλαιο κινήσεως) και η σχεδίαση για όσο το δυνατόν μικρότερη εκπομπή ρύπων. Οι κινητήρες αυτοί σε συντριπτικό ποσοστό είναι υπερπληρούμενοι.

2) Κινητήρες βαρέων οχημάτων.

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα χωματουργικά και γεωργικά μηχανήματα. Είναι μεγαλύτερης ισχύος, υπερπληρούμενοι, μεγαλύτερου μεγέθους και βάρους, ιδιαίτερα στιβαρής κατασκευής και πιο αργόστροφοι από αυτούς των αυτοκινήτων.

3) Κινητήρες τρένων.

Είναι μεσόστροφοι σταθερού αριθμού στροφών και φοράς περιστροφής. Δεν κινούν απ' ευθείας τους τροχούς, αλλά περιστρέφουν γεννήτρια, η οποία παράγει ισχύ. Στο σύνολό τους είναι υπερπληρούμενες.

4) Ναυτικές μηχανές.

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα θαλάσσια μέσα, από τα μικρά σκάφη μέχρι τα πολύ μεγάλης χωρητ- κότητας εμπορικά πλοία, στα πολεμικά πλοία και τα συμβατικά υποβρύχια. Μπορεί να είναι δίχρονες ή τετράχρονες διαφόρων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος. Σχεδόν στο σύνολό τους οι μηχανές αυτές είναι υπερπληρούμενες.

1.4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.

Οι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται κατ' εξοχήν στην κίνηση επιβατικών οχημάτων και μοτοποδηλάτων, στην πρόωση μικρών ταχυπλόων σκαφών, ελικοφόρων αεροπλάνων, καθώς και στην κίνηση μικρών οικιακών ηλεκτρογεννητριών και γεωργικών μηχανημάτων. Αναλυτικότερα:

1)Μηχανές αυτοκινήτων.

Οι βενζινοκινητήρες, λόγω της μεγαλύτερης ισχύος που μπορούν να αναπτύξουν στον ίδιο όγκο (σε σχέση με τους αντίστοιχους πετρελαιοκινητήρες), το μικρό τους βάρος, την ταχύτερη απόκριση σε επιτάχυνση και τους χαμηλούς παραγόμενους ρύπους, έχουν επικρατήσει στην αυτοκινητοβιομηχανία . Στη βιομηχανία μοτοποδηλάτων και μοτοσικλετών είναι το μοναδικό είδος που χρησιμοποιείται, λόγω της υψηλής ισχύος που μπορούν να επιτύχουν με ανάλογη αύξηση των στροφών περιστροφής για το απαιτούμενο μικρό βάρος τους. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια στρέφεται προς τη μείωση των ρύπων με τη χρήση καταλυτών και την καύση φτωχού μείγματος. Παράλληλοι στόχοι είναι η βελτίωση της απόδοσης σε όλο το φάσμα των στροφών με τη χρήση πολυβάλβιδων κινητήρων μεταβλητού χρονισμού, η εφαρμογή του άμεσου ή έμμεσου ψεκασμού του καυσίμου και η ευρύτατη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων για τον βέλτιστο έλεγχο του κινητήρα.

2)Ναυτικές μηχανές.

Οι βενζινοκινητήρες ως ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται σε ταχύπλοα σκάφη καθώς επίσης και στα jet-ski για την κίνηση των αντλιών προώσεώς τους. Είναι συνήθως δίχρονοι και τετράχρονοι μικρού βάρους υδρόψυκτοι κινητήρες με ανοικτό κύκλωμα ψύξης.

3)Εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες.

Χρησιμοποιούνται πλέον μόνο στην κίνηση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών και μικρών ελικοπτέρων γενικής αεροπορίας. Είναι υψηλού αριθμού στροφών, καταναλώνουν ειδικό καύσιμο (αεροπορική βενζίνη), έχουν μικρό βάρος, είναι αερόψυκτοι και διαθέτουν ειδικά συστήματα λίπανσης και τροφοδοσίας για λειτουργία σε μεγάλα ύψη και σε ανάστροφη πτήση. [3]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

2. 1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Μοντέλο κινητήρα	Ford Fiesta 1000 cm^3
Τύπος κινητήρα	Εν Σειρά τετρακύλινδρος 4-Χ
Είδος Καυσίμου	Βενζίνη
720/4=180°	Ανά 180° γίνεται και μία ανάφλεξη
Σειρά ανάφλεξης	1-3-4-2
Διάμετρος εμβόλου D	67 mm
Διαδρομή εμβόλου S	70 mm
Μήκος διωστήρα L	140 mm
Ακτίνα στροφάλου r	35 mm
Από το Κέντρου βάρους του διωστήρα 1/3 του μήκους του στηρίζεται στο κομβίο του Στροφαλοφόρου.	46,66mm
Από το Κέντρου βάρους του διωστήρα 2/3 του μήκους του στηρίζεται στον πείρο του εμβόλου.	95.33mm
Όγκος εμβολισμού Vd	246, 67cm^3
Ισχύς	80 Hp 60 kW
Ταχύτητα περιστροφής Σστροφαλοφόρου Άξονα	ω= 418rpm

Πίνακας 1. 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ Ford Fiesta 1000 cm^3

Μοντέλο κινητήρα	Ford Mondeo 2000 cm^3
Τύπος κινητήρα	Εν Σειρά τετρακύλινδρος 4-Χ
Είδος Καυσίμου	Βενζίνη
720/4=180°	Ανά 180° γίνεται και μία ανάφλεξη
Σειρά ανάφλεξης	1-3-4-2
Διάμετρος εμβόλου D	84 mm
Διαδρομή εμβόλου S	89 mm
Μήκος διωστήρα L	178 mm
Ακτίνα στροφάλου r	44,5 mm
Από το Κέντρου βάρους του διωστήρα 1/3 του μήκους του στηρίζεται στο κομβίο του Στροφαλοφόρου.	59,33mm
Από το Κέντρου βάρους του διωστήρα 2/3 του μήκους του στηρίζεται στον πείρο του εμβόλου.	118,66mm
Όγκος εμβολισμού Vd	492, 96cm^3
Ισχύς	150Hp 112kW
Ταχύτητα περιστροφής Στροφαλοφόρου Άξονα	ω= 628rpm

Πίνακας 1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ Ford Mondeo 2000 cm^3

2.2. Υπολογισμός χαρακτηριστικών κινητήρων

1) Στην πρώτη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Fiesta 1000cm³ για τον υπολογισμό του κινητήρα.

Διάμετρος του κυλίνδρου **D= 67 mm.**

Διαδρομή εμβόλου **S=70 mm.**

Ο κινητήρας με όγκο εμβολισμού $\boldsymbol{V_d}$**=**$\frac{\pi}{4}$ * $\boldsymbol{D^2}$***S=**$\frac{3,14}{4}$ ***6, 7² *7=246, 67** cm³.

Ο κυβισμός του κινητήρα: **246,67*4=986,6822 cm³.** Ο κινητήρας λειτουργεί στις 3000 rpm ενώ η παροχή του αέρα είναι $\dot{m}_a$ 60 gr/sec.

Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης είναι: $\boldsymbol{n_u}$**=**$\frac{2*\dot{m}_a}{p*V_d*N}$ **=**$\frac{2*0,060Kgr/sec}{\frac{1,2Kgr}{m^3}*0,00246,67m^3*3000/60}$ **=0,81**.

Η μέση πίεση στον κινητήρα που εμφανίζεται η μέγιστη ροπή είναι: mep = **11500 kPa.**

Από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζω την ισχύ.

P =$\frac{mep*V_d*N}{n_R}$ **=**$\frac{11500Pa*0,00246,67*3000/60}{2,5}$ **=59,2,kW.**

Η ειδική κατανάλωση του καυσίμου για τον κινητήρα είναι sfc =270gr/kWh . $\dot{m}_f$ =sfc *P =270gr/kWh*59,2kW*sec/3600h **= 4,44 gr/sec.**

Ο λόγος αέρα καυσίμου είναι: $\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$ = $\frac{60}{4,44}$ = **13,5**

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης ισούται: n_f = $\frac{P}{\dot{m}_{f*Q*HV}}$ =$\frac{59,2}{4,44*45}$ **=0,296**

Συγκρίνοντας τα αναλυτικά αποτελέσματα του υπολογισμού ,σε σχέση με τα αναγραφόμενα στους πίνακες διαπιστώνεται ότι προέκυψαν ελάχιστες αποκλίσεις στις τιμές.

2)Στην δεύτερη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Mondeo 2000cm³ για τον υπολογισμό του κινητήρα.

Διάμετρος του κυλίνδρου **D= 84 mm.**

Διαδρομή εμβόλου **S=89 mm.**

Ο κινητήρας με όγκο εμβολισμού V_d =$\frac{\pi}{4}D^2$*S=8,4² *8,9=**492,96 cm³.**

Ο κυβισμός του κινητήρα: **492,96 *4= 1971,86976cm³.** Ο κινητήρας λειτουργεί στις 4000 rpm ενώ η παροχή του αέρα είναι $\dot{m}_a$ 70 gr/sec.

Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης είναι: $n_u = \frac{2*\dot{m}_a}{p*V_{d*N}} = \frac{2*0{,}070Kgr/sec}{\frac{1{,}2Kgr}{m^3}*0{,}00492{,}96m^3*4000/60}$ **=0,35**

Η μέση πίεση στον κινητήρα που εμφανίζεται η μέγιστη ροπή είναι: mep = **1170 kPa**

$P = \frac{mep*V_d*N}{n_R} = \frac{1170kPa*0{,}00492{,}96*3000/60}{2{,}5}$ **=115 kW.**

Η ειδική κατανάλωση του καυσίμου για τον κινητήρα είναι sfc =270gr/kWh . $\dot{m}_f$ =sfc *P =270gr/kWh*115kW*sec/3600h **= 8,62 gr/sec.**

Ο λόγος αέρα καυσίμου είναι: $\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{70}{8{,}62} =$ **8,1**

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης ισούται: $n_f = \frac{P}{\dot{m}_{f*Q*HV}} = \frac{115}{8{,}62*45}$ **=0,296** [6]

2.3. Κυβισμός των κινητήρων: α) **Ford Fiesta 1000cm³ β) Ford Mondeo 2000cm ³**

Υπολογισμός κυβισμού κινητήρων			
Κινητήρας	Τύπος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Monteo 2000cm³
αριθ. Κυλίνδρων	κ	4	4
Διάμετρος κυλίνδρου	d	6,7	8,4
Διαδρομή εμβόλου	s	7	8,9
Σταθερά	π	3,14	3,14
Παρανομαστής		4	4
Υπολογισμός Κυβισμού	v=π*d^2/4*s*κ	986,6822	1971,86976
Τυπική Κατηγορία κυβισμού οχημάτων		1000cm³	2000cm³
Φορολογήσιμοι Ίπποι	cm³*7/1000	7	14

Πίνακας 1.3. Υπολογισμός κυβισμού κινητήρων

2.4. ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΣ ΑΞΟΝΑΣ

Crankshaft

Σχήμα 1.3. Στροφαλοφόρος άξονας τετρακύλινδρης ΜΕΚ

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι ο στροφαλοφόρος άξονας ή απλά στροφαλοφόρος. Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελεί το συνδετικό στοιχείο μεταξύ του κιβώτιου ταχυτήτων και των εμβόλων και διωστήρων του κινητήρα και μετατρέπει μέσω των διωστήρων την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική.

Σε κάθε έμβολο και διωστήρα αντιστοιχεί ένα τμήμα του στροφαλοφόρου. Η πίεση που ασκείται από τα εκτωνούμενα καυσαέρια στο έμβολο το ωθεί προς τα κάτω, οπότε παρασύρει και το συνδεόμενο με αυτό διωστήρα στην κίνησή του. Το κάτω άκρο του διωστήρα με τη σειρά του κινεί το συνδεόμενο με αυτό στρόφαλο με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Στον στροφαλοφόρο άξονα μιας μηχανής εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), πραγματοποιείται η μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου σε περιστροφική. Το υλικό κατασκευής ενός

στροφαλοφόρου συνήθως είναι χυτός χάλυβας ή επεξεργασμένος χάλυβας υψηλής αντοχής . Η συναρμογή του στροφαλοφόρου άξονα με τους διωστήρες αποτελείται από τα κομβία στροφάλων, όπου συνδέονται οι μπιέλες, τα αντίβαρα τα οποία χρησιμεύουν για τη σωστή ζυγοστάθμιση του άξονα και τα έδρανα στα οποία στηρίζεται και περιστρέφεται ο άξονας.

Οι βραχίονες του στροφαλοφόρου άξονα φέρουν αντίβαρα για τη ζυγοστάθμιση των έκκεντρων μαζών του στροφαλοφόρου και των παλινδρομούντων μαζών του εμβόλου και του διωστήρα. Ο υπολογισμός της αντοχής ενός στροφαλοφόρου άξονα είναι αδύνατον να επιτευχθεί αναλυτικά, λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας του άξονα καθώς επίσης των δυνάμεων που εμφανίζονται. Για τον λόγο αυτό είτε πραγματοποιούνται απλοποιημένοι μαθηματικοί υπολογισμοί είτε χρησιμοποιούνται μέθοδοι υπολογιστικής μηχανικής, όπως τα πεπερασμένα στοιχεία. Οι ταλαντώσεις που εμφανίζονται στον άξονα είναι τριών ειδών: α) Οι διαμήκεις ταλαντώσεις όπου υπάρχει ταλάντωση κατά τον διαμήκη άξονα, β) Οι καμπτικές ταλαντώσεις όπου η ταλάντωση είναι κάθετη στον διαμήκη άξονα και γ) Οι στρεπτικές ταλαντώσεις, όπου υπάρχει ταλάντωση του στροφαλοφόρου άξονα γύρω από τον διαμήκη άξονα. Οι στρεπτικές ταλαντώσεις είναι οι πιο επικίνδυνες και ο πιο συχνά εμφανιζόμενος λόγος αστοχίας του στροφάλου.

Ο στροφαλοφόρος άξονας 'έχει χαρακτηριστικό σπαστό σχήμα, αποτελούμενο από διαδοχικά τμήματα σχήματος Π (αγκώνας).Είναι ένα από τα βαρύτερα και ακριβότερα τμήματα του κινητήρα. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα χρωμονικελιούχο αρίστης ποιότητας και υψηλής αντοχής.

Αποτελείται από τα κύρια κομβία βάσης (που εδράζονται στα έδρανα βάσης της μηχανής) και τα κομβία των διωστήρων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τους βραχίονες (παρειές, μάγουλα ή κιθάρες). Δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα αποτελούν τον λεγόμενο αγκώνα. Ο αριθμός των αγκώνων ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων, ενώ δεν βρίσκονται τοποθετημένοι στο ίδιο επίπεδο.

Τα αντίβαρα μπορεί να κατασκευάζονται σε ενιαίο τμήμα με τους βραχίονες ή να είναι πρόσθετα και να συνδέονται με κοχλίες. Στο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα συνδέεται ο σφόνδυλος (βολάν).

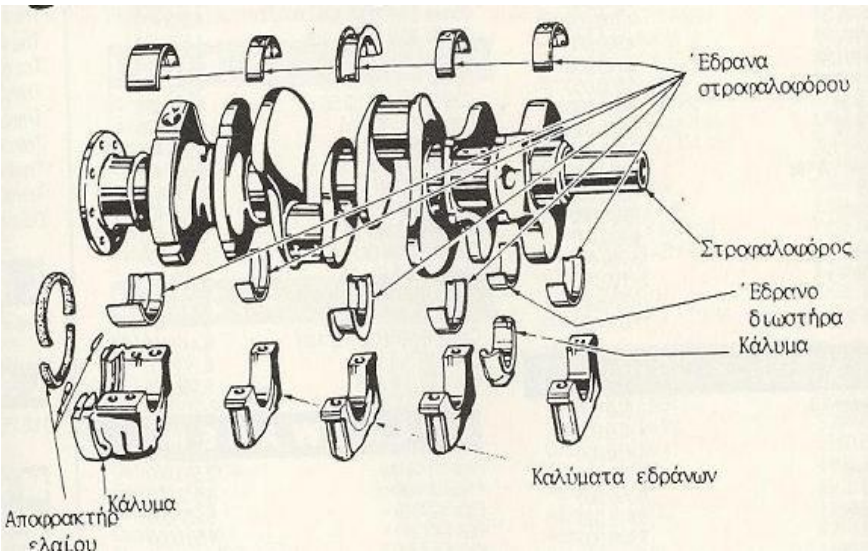
Ένας βαρύς ζυγοσταθμισμένος δίσκος που ονομάζεται σφόνδυλος ή βολάν συνδέεται με το πλησιέστερο προς το κιβώτιο ταχυτήτων άκρο του στροφαλοφόρου, με σκοπό να αποταμιεύει και να εκταμιεύει δυναμική ενέργεια, έτσι ώστε να υπάρχει ένας σταθερός ρυθμός περιστροφής (αλλιώς

θα είχαμε αισθητή επιτάχυνση της περιστροφής του άξονα σε κάθε εκτόνωση στο θάλαμο καύσης). Στην άλλη άκρη του στροφαλοφόρου συνδέεται μια τροχαλία ή ένας αποσβεστήρας ταλαντώσεων που σκοπό έχει την απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων που προκαλούν οι μεταβαλλόμενες ωθήσεις των εμβόλων.

Κάτι που επίσης έχει μεγάλη σημασία για την απροβλημάτιστη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα είναι η σειρά παραλαβής των επιβαλλόμενων φορτίων στα κομβία των διωστήρων, δηλ. η σειρά ανάφλεξης των κυλίνδρων. Η σειρά ανάφλεξης του υπό εξέταση κινητήρα, με διαμήκη τοποθέτηση στο μπροστινό τμήμα του οχήματος είναι 1,3,4,2 με το 1 να αντιστοιχεί στον πλησιέστερο προς το μπροστινό μέρος κύλινδρο του κινητήρα.

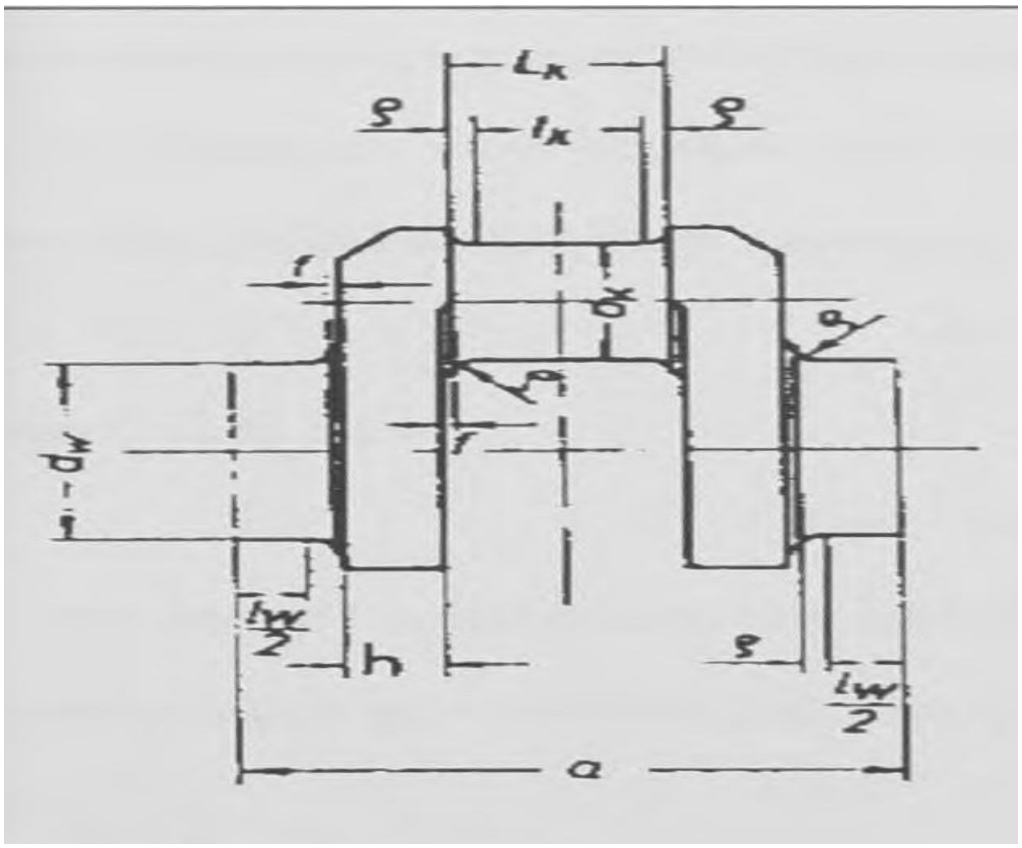
Τέλος, η εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του στροφαλοφόρου εξαρτάται και από τη γωνία σφηνώσεως, τη γωνία δηλαδή που σχηματίζουν μεταξύ τους τα κομβία των διωστήρων για 4-χρονο και τετρακύλινδρο κινητήρα το Κ = 4 τότε $\alpha = 720^{o}/4 \Rightarrow \alpha = 180°$ (δηλ. ανά 180° του στροφαλοφόρου γίνεται και μια ανάφλεξη) και η γωνία είναι υπεύθυνη για την ομοιόμορφη κλιμάκωση των ωθήσεων από τους διωστήρες και τα έμβολα. Συμπερασματικά, πρέπει να αναφέρουμε ότι η καλή λειτουργία του στροφαλοφόρου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι περισσότεροι από τους οποίους έχουν σχέση με τη σχεδίαση και την κατασκευή του. Σε έναν συμβατικό τετρακύλινδρο εν σειρά, κάποια στιγμή όλα τα έμβολα είναι ακίνητα. Όταν ο στρόφαλος περιστραφεί 90 μοίρες, όλα έχουν επιταχύνει στη μέγιστη ταχύτητά τους. Μετά από 90 ακόμη μοίρες περιστροφής του στροφάλου, όλα μαζί πάλι είναι ακινητοποιημένα.

Αυτό σημαίνει τεράστιες μεταβολές της αδρανείας των εμβόλων (από το 0 στο μέγιστο και πάλι στο 0) για κάθε μισή περιστροφή του στροφάλου. Οι μεταβολές αυτές καταπονούν αφάνταστα το στρόφαλο (όταν για παράδειγμα τα έμβολα επιβραδύνουν, τον πιέζουν με όλη τους τη δύναμη, ενώ αντίθετα όταν επιταχύνουν, τον τραβούν). [11]



Σχήμα 1.4. Έδραση στροφαλοφόρου άξονα

2.5. Υπολογισμός Διαστάσεων Στροφάλου



Σχήμα 1.5.Παραμετρικές διάστάσεις στροφάλου

Για την πρώτη σχεδίαση του στροφαλοφόρου μπορούν να προσδιορισθούν οι διαστάσεις του σύμφωνα με το σχήμα 1. με βάση τις παρακάτω σχέσεις, όταν είναι γνωστή η διάμετρος D του κυλίνδρου της μηχανής. **Στην πτυχιακή μελετώνται οι κινητήρες Ford Fiesta 1000cm³ με διάμετρο κυλίνδρου D=67mm , β) Ford Mondeo 2000cm³ με διάμετρο κυλίνδρου D=84mm dk=0.7D** (1) Διάμετρος κομβίου Στροφάλου.

Με τη διάμετρο του κομβίου στροφάλου που προκύπτει από τη σχέση (1) εξασφαλίζεται και η ελεύθερη δίοδος του διωστήρα δια μέσου του κυλίνδρου.

Η ακτίνα ρ είναι: **ρ = 0.045* D** (2)

Το μήκος του κομβίου : **Lk=lk + 2p=0.34*D (**3)

Στο μήκος αυτό Lκ του κομβίου αντιστοιχεί μια ειδική φόρτιση εδράνου pL περίπου 45 N / mm².

Η ειδική φόρτιση του εδράνου στην διάμετρο του κομβίου dk είναι 23N/mm².

Το **f** (σχήμα 1) στους πλήρως κατεργασμένους στροφαλοφόρους λαμβάνεται από 0.5 έως 1.

Η διάμετρος των αξόνων του στροφαλοφόρου, για έναν ικανοποιητικά άκαμπτο στρεπτικά στροφαλοφόρο είναι : **dw =0.8*D** (4)

Το μήκος κάθε άξονα**: Lw= lw+2ρ 0.3*D** (5) όπου **lw** το φέρον πλάτος του εδράνου βάσης.

Στο μήκος Lw του άξονα που προσδιορίσθηκε με την παραπάνω σχέση, αντιστοιχεί, σε πίεση ανάφλεξης pg = 100 bar, μια ειδική φόρτιση εδράνου plw **23** N / mm².

Στην πρώτη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Fiesta 1000cm³ για τον υπολογισμό διαστάσεων Στροφάλου.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 67 mm.**

Η διάμετρος του κομβίου του στροφάλου dk το είναι 0,7 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Άρα **dk** είναι 46,9mm.

Η ακτίνα ρ(ράδιο στροφάλου στα άκρα) είναι 0.045 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **ρ**=3,012 mm.

Το μήκος του κομβίου είναι **Lk**= lk + 2p=0.34 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **Lk=**22,78 mm.

όπου lk το φέρον πλάτος του εδράνου.

Το μήκος κάθε άξονα είναι **Lw=**lw+2ρ =0.3 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Επομένως **Lw=** 20,1mm.

Το h είναι το πάχος του αντίβαρου του στροφάλου. h= Η διάμετρος κομβίου του στροφάλου επί 29/112. Επομένως h = 12,143

Το f το ελήφθη 0,75mm.

Η ειδική φόρτιση κατά το μήκος του κομβίου είναι **Lk** =26,9279N/mm².

Οι δυνάμεις των αερίων σε(N) προσδιορίζονται από την διάμετρο του κυλίνδρου στο τετράγωνο δια 4 επί την πίεση των καυσαερίων δια 10. Άρα οi δυνάμεις των αερίων fg είναι 2115,9141 N.

Στην δεύτερη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Mondeo 2000cm³ για τον υπολογισμό διαστάσεων του Στροφάλου.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 84 mm.**

Η διάμετρος του κομβίου του στροφάλου dk είναι το 0,7 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Άρα **dk** είναι 58,8mm.

Η ακτίνα ρ(ράδιο στροφάλου στα άκρα) είναι 0.045 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **ρ**=3, 78mm.

Το μήκος του κομβίου είναι **Lk**= lk + 2p=0.34 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **Lk=**28,56 mm. όπου lk το φέρον πλάτος του εδράνου.

Το f το ελήφθη 0,75mm.

Το μήκος κάθε άξονα του στροφάλου είναι **Lw=**lw+2ρ =0.3 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Επομένως **Lw=** 25,2mm..

Το h είναι το πάχος του αντίβαρου του στροφάλου. h = η διάμετρος κομβίου του στροφάλου επί 29/112. Επομένως h = 15,225.

Η ειδική φόρτιση κατά το μήκος του κομβίου είναι **Lk** =40,3919N/mm².

Οι δυνάμεις των αερίων σε(N) προσδιορίζονται από την διάμετρο του κυλίνδρου στο τετράγωνο δια 4 επί την πίεση των καυσαερίων δια 10. Άρα δυνάμεις των αερίων fg είναι 49875,9249 N. [4]

Διαστάσεις Στροφάλου				
Τύπος	Όνομα	Παράμετρος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Monteo 2000cm³
	Διάμετρος κυλίνδρου	D(mm)	67	84
0.7*D	Διάμετρος κομβίου στροφάλου	dk(mm)	46,9	58,8
0.045*D	ράδιο άκρα κομβίου	ρ (mm)	3,015	3,78
0.34*D	Μήκος κομβίου	Lk (mm)	22,78	28,56
	πίεση καυσαερίων	pg (bar)	40	70
	Ειδική φόρτιση εδράνου	pL (N/mm^2)	17,95195802	31,41592654
0.5-		f (mm)	0,75	0,75

1mm				
0.8*D	Διάμετρος αξόνων στροφαλοφόρου	dw (mm)	53,6	67,2
0.3*D	Μήκος αξόνων στροφαλοφόρου	Lw (mm)	20,1	25,2
	Ειδική φόρτιση εδράνου	plw	9,349978136	16,36246174
(112/29)		h	12,14375	15,225
	Δυνάμεις αερίων	Fg (N)	21153,91413	49875,92497

Πίνακας 1.4. Διαστάσεις στροφάλου για τους κινητήρες Ford Fiesta 1000 cm^3, Ford Mondeo 2000 cm^3

2.6. ΔΙΩΣΤΗΡΑΣ

Connecting Rod

Σχήμα 1.6. Μορφή Διωστήρα

Ο προορισμός του διωστήρα είναι να μεταφέρει την κινητική ενέργεια του εμβόλου στον στροφαλοφόρο άξονα κατά τη φάση της εκτόνωσης, και την κινητική ενέργεια από τον στροφαλοφόρο στο έμβολο κατά τις φάσεις της συμπίεσης και της εξαγωγής των καυσαερίων. Ο διωστήρας αποτελείται από την κεφαλή, τον κορμό και το πόδι. Το ένα άκρο του συνδέεται με τον πείρο του εμβόλου, ενώ το άλλο με τον στροφαλοφόρο άξονα. Και στα δύο άκρα φέρει τριβείς (κουζινέτα) από μαλακό μέταλλο (λευκό μέταλλο, μπρούντζος, κ.λπ.).Η διατομή του διωστήρα έχει μορφή διπλού ταυ (Η) για να δημιουργούνται νευρώσεις και να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντοχή με μικρότερη μάζα.

Επειδή ο διωστήρας στις φάσεις της εκτόνωσης, συμπίεσης και εξαγωγής καταπονείται σε θλίψη και λογισμό, ενώ στη φάση της εισαγωγής σε εφελκυσμό, πρέπει να κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα για να αντέχει στην στρέβλωση και την κάμψη. [10]

Υλικά Διωστήρων:

Σχήμα 1.7.Διωστήρες Χυτές (Ατσάλινες)

Οι χυτοί ατσάλινοι διωστήρες είναι το πιο κοινό είδος και χρησιμοποιείται στο 99% των κινητήρων παραγωγής. Για την κατασκευή τους γίνεται απλή χύτευση ατσαλιού στο καλούπι. Είναι πιο σκληρές και άκαμπτες από τις αλουμινένιες, αλλά πιο μαλακές από τις σφυρήλατες και τις τιτανίου. Σαφώς υπάρχουν διαφορές στην ποιότητα, καθώς η περιεκτικότητα σε άνθρακα δεν είναι σε όλες η ίδια και ο κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιεί διαφορετικής ποιότητας ατσάλι, ώστε να ταιριάζει με την απόδοση του συγκεκριμένου κινητήρα. Αυτό του τύπου οι μπιέλες είναι ιδανική επιλογή για κινητήρες χαμηλής κα μέσης ειδικής ισχύος.

- **Πλεονεκτήματα**

Εύκολη διαδικασία παραγωγής.

Χαμηλό κόστος αντικατάστασης.

- **Μειονεκτήματα**

Περιορισμένη αντοχή στις υψηλές καταπονήσεις.

Σχήμα 1.8.Διωστήρες Σφυρήλατες

Σφυρήλατοι είναι οι ατσάλινοι διωστήρες που έχουν υποστεί σκλήρυνση μέσω συμπίεσης. Η μέθοδος αυτή έχει σκοπό να δώσει συγκεκριμένη κατεύθυνση στη μοριακή δομή του ατσαλιού (στην περίπτωσή μας κατά μήκος της μπιέλας) με αποτέλεσμα να αυξηθεί η μηχανική αντοχή. Έτσι, μια σφυρήλατη μπιέλα μπορεί να αντέξει μεγαλύτερες δυνάμεις από μια χυτή. Οι κατασκευαστές εκμεταλλεύονται αυτό το χαρακτηριστικό, είτε για να μειώσουν το υλικό και να κατασκευάσουν ελαφρύτερες μπιέλες με την ίδια αντοχή των χυτών, είτε για μεγαλύτερη αξιοπιστία σε κινητήρες παραγωγής με πολύ μεγάλη ειδική ισχύ (π.χ. Supersport, Superbike, Motocross κτλ).

- **Πλεονεκτήματα**

Ανθεκτικότητα στις ισχυρές καταπονήσεις.

Λογικό κόστος κατασκευής.

Λογικό βάρος.

- **Μειονεκτήματα**

Αν μιλάμε για κινητήρες παραγωγής δεν έχουν μειονεκτήματα. Για αγωνιστική χρήση υπάρχουν καλύτερες επιλογές.

Σχήμα 1.9.Διωστήρες Τιτανίου

Είναι το σκληρότερο και ελαφρύτερο υλικό κατασκευής διωστήρα. Σχεδόν όλοι οι αγωνιστικοί κινητήρες έχουν τέτοιου είδους μπιέλες καθώς είναι οι πιο κατάλληλες όταν το ζητούμενο είναι οι πολύ υψηλές στροφές και ακραίες τιμές γραμμικής ταχύτητας εμβόλου. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και σε εξωτικές μοτοσυκλέτες παραγωγής (Ducati Superleggera, MV Agusta F4 CC, Yamaha R1M κ.τ.λ.

- **Πλεονεκτήματα**

Ακαριαία μεταφορά δυνάμεων στον στρόφαλο.

Ταχύτατη άνοδος στροφών.

Δυνατότητα επίτευξης υψηλής γραμμικής ταχύτητας εμβόλου.

- **Μειονεκτήματα**

Λόγω σκληρότητας καταπονούν υπερβολικά τα κουζινέτα στροφάλου και τον ίδιο τον στρόφαλο. Γι΄αυτό σπάνια χρησιμοποιούνται σε αγώνες endurance από ιδιωτικές ομάδες με μικρό budg.

Σχήμα 2.0.Διωσήρες αλουμινίου

Οι διωστήρες αλουμινίου είναι πιο ογκώδεις και μαλακές απ' όλες, ενώ το αλουμίνιο έχει μνήμη και συσσωρεύει τις καταπονήσεις που δέχεται. Γι΄αυτούς τους λόγους οι μπιέλες αλουμινίου χρησιμοποιούνται στους ισχυρότερους κινητήρες του κόσμου! Όταν κατασκευαστεί ένας κινητήρα ς που βγάζει περισσότερους από 200 ίππους ανά κύλινδρο, οι αλουμινένιες μπιέλες είναι μονόδρομος. Οι κινητήρες Dragster που βγάζουν 2000-3000 ίππους (με turbo και nitro) έχουν μπιέλες αλουμινίου διότι αν είχαν πιο σκληρές θα έσπαγε ο στρόφαλος. Οι μπιέλες αλουμινίου μπορούν και απορροφούν το αρχικό "χτύπημα" της εκτόνωσης του εμβόλου και μεταφέρουν πιο ομαλά την δύναμη προς τον στρόφαλο.

- **Πλεονεκτήματα**

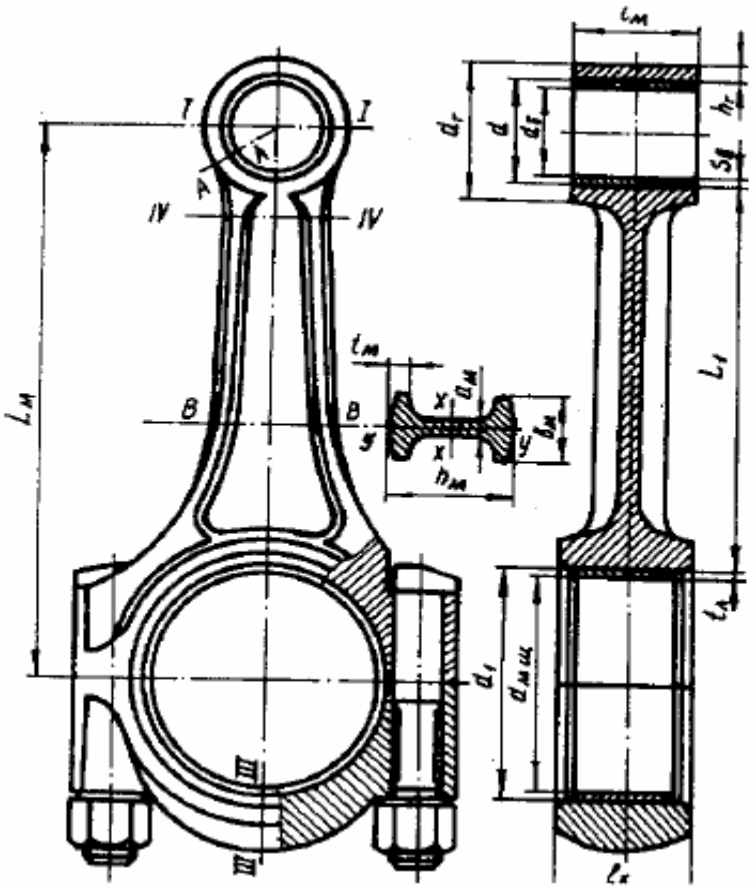
Προστατεύουν τον στρόφαλο από τις καταπονήσεις.

- **Μειονεκτήματα**

Είναι αναλώσιμο ανταλλακτικό και πρέπει να αντικαθιστάται συχνά καθώς συσσωρεύει τις καταπονήσεις.

Είναι ογκώδεις και δημιουργούν χωροταξικά προβλήματα στον σχεδιασμό των Κάρτερ. [13]

2.7. Υπολογισμός Διαστάσεων Διωστήρα



Σχήμα 2.1..Παραμετρικές διάστάσεις διωστήρα

Στην πρώτη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Fiesta 1000cm³ για τον υπολογισμό διαστάσεων του Διωστήρα.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 67 mm.**

Η εσωτερική διάμετρος της άνω κεφαλής d , είναι ίση με την d_6 του εμβόλου. d_6=16,75mm. **Άρα d=16,75mm.**

Η εξωτερική διάμετρος της άνω κεφαλής d_2είναι ίση με 1,45 επί την d_6 Δηλαδή $\boldsymbol{d_2}$**=24,28 mm.**

Το μήκος της άνω κεφαλής του Διωστήρα l_M ισούται με 0,40 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l_M}$**=24,85mm.**

Το ακτινικό πάχος της άνω κεφαλής h_2 είναι το 0,2 της d_6. Άρα $\boldsymbol{h_2}$**=3,35 mm.**

Το ελάχιστο ύψος του προφίλ $h_{M,min}$ είναι ίσο με το 0.53 του d_2. **Το** $\boldsymbol{h_{M,min}}$**=12,87 mm.**

Άλλες διαστάσεις: h_M είναι ίσο το 1,3 του $h_{M,min}$. $\boldsymbol{h_M}$**=16,73 mm**.

d_M είναι ίσο το 0,55 του l_M. $\boldsymbol{l_M}$**=14,74 mm.**

α_M ~ t_M το λαμβάνω (2,5-6,0) $\boldsymbol{\alpha_M}$ ~ $\boldsymbol{t_M}$ **=4 mm.**

Η διάμετρος του συνδετικού λαιμού του διωστήρα d_{Mm} είναι το 0,65 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{d_{Mm}}$**=43,55 mm.**

Το πάχος των κελυφών του εδράνου t_π ισούται με το 0,04 του d_{Mm} . Άρα $\boldsymbol{t_\pi}$ **=1,72 mm.**

Η απόσταση μεταξύ σύνδεσης κοχλία και διωστήρα C. Είναι ίση με το 1,55 της d_{Mm} . Επομένως **C=67,50mm.**

Το μήκος της κάτω κεφαλής του διωστήραl_κ. Είναι το 0,70 της d_{Mm} . Άρα $\boldsymbol{l_\kappa}$**=30,48mm.**

Στην δεύτερη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Mondeo 2000cm³ για τον υπολογισμό διαστάσεων του Διωστήρα.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 84 mm.**

Η εσωτερική διάμετρος της άνω κεφαλής χωρίς χιτώνια d , είναι ίση με την d_6 του εμβόλου. d_6= 21mm. **Άρα d=21mm.**

Η εξωτερική διάμετρος της άνω κεφαλής d_2είναι ίση με 1,45 επί την d_6 Δηλαδή $\boldsymbol{d_2}$ **=30,45mm.**

Το μήκος της άνω κεφαλής του Διωστήρα l_M ισούται με 0,40 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l_M}$**=33,6mm.**

Το ακτινικό πάχος της άνω κεφαλής h_2 είναι το 0,2 της d_6. Άρα $\boldsymbol{h_2}$**=4,2 mm.**

Το ελάχιστο ύψος του προφίλ $h_{M,min}$ είναι ίσο με το 0.53 του d_2. **Το** $\boldsymbol{h_{M,min}}$**=16,13 mm.**

Άλλες διαστάσεις: h_M είναι ίσο το 1,3 του $h_{M,min}$. $\boldsymbol{h_M}$**=20,98 mm**.

d_M είναι ίσο το 0,55 του l_M. $\boldsymbol{l_M}$**=18,48 mm.**

α_M ~ t_M το λαμβάνω (2,5-6,0) $\boldsymbol{\alpha_M}$ ~ $\boldsymbol{t_M}$ **=5 mm.**

Η διάμετρος του συνδετικού λαιμού του διωστήρα d_{Mm} είναι το 0,65 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{d_{Mm}}$**=54,6 mm.**

Το πάχος των κελυφών του εδράνου t_π ισούται με το 0,04 του d_{Mm} . Άρα $\boldsymbol{t_\pi}$**=2,18 mm.**

Η απόσταση μεταξύ σύνδεσης κοχλία και διωστήρα C. Είναι ίση με το 1,55 της d_{Mm} . Επομένως **C=84,63mm.**

Το μήκος της κάτω κεφαλής του διωστήραl_κ. Είναι το 0,70 της d_{Mm} . Άρα $\boldsymbol{l_\kappa}$**=38,22mm.** [2]

Διαστάσεις Διωστήρα			
Τύπος	Παράμετρος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Mondeo 2000cm³
Διάμετρος κυλίνδρου		67	84
0.25*D d6 Εμβόλου	d	16,75	21
1,,45*d6	d2	24,2875	30,45
0,40*D	l_M	26,8	33,6
0,2*d6	h2	3,35	4,2
0,53*d2	H_M,min	12,872375	16,1385
1,3*H_M,min	h_M	16,7340875	20,98005
0,55*l_M	d_M	14,74	18,48
3-6mm	α_M=t_M	4	5
0,65*D	d_Mm	43,55	54,6
0,04*d_Mm	tπ	1,742	2,184
1,55*d_Mm	C	67,5025	84,63
0,70*d_Mm	lκ	30,485	38,22

Πίνακας 1.5. Διαστάσεις διωστήρα για τους κινητήρες: Ford Fiesta 1000 cm³, Ford Mondeo 2000 cm³.

2.8. ΕΜΒΟΛΟ

Piston

Σχήμα 2.2..Μορφή εμβόλου

Τα έμβολα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα ενός κινητήρα. Το έμβολο ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι το πρώτο εξάρτημα του μηχανισμού που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ωφέλιμο μηχανικό έργο . Καταπονούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (λόγω της καύσης) και στις επιφάνειες αυτών εξασκούνται μεγάλες πιέσεις (λόγω της εκτόνωσης). Επίσης, τα έμβολα δημιουργούν τη κατάλληλη υποπέσει (αναρρόφηση) για την εισαγωγή του μίγματος (αέρας + καύσιμο) εντός του θαλάμου καύσης και απωθούν τα καυσαέρια για να καθαρίσει ο κύλινδρος. Χαρακτηριστική τιμή θερμοκρασίας στην οποία εκτίθεται η κεφαλή του, είναι οι 2.000 oC έως και 2.500 oC.

Τα ελατήρια εμβόλου: εφαρμόζονται στις αυλακώσεις/οδηγούς του εμβόλου για να εξασφαλίσουν πλήρη στεγανότητα εντός του κυλίνδρου. Ουσιαστικά αποτρέπουν τη διαφυγή καυσαερίων στον στροφαλοθάλαμο και το πέρασμα του λιπαντικού στο θάλαμο καύσης. Η εσωτερική τους διάμετρος είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του εμβόλου.

Ο πείρος του εμβόλου: είναι ένα σωληνωτό εξάρτημα κυλινδρικού σχήματος, όπου συνδέει το έμβολο με τη μπιέλα. Ο πείρος, είναι και αυτός ένα από τα εξαρτήματα που καταπονούνται αρκετά ιδίως στη φάση της συμπίεσης και της εκτόνωσης, αφού μεταφέρει όλες τις δυνάμεις από το έμβολο στη μπιέλα.

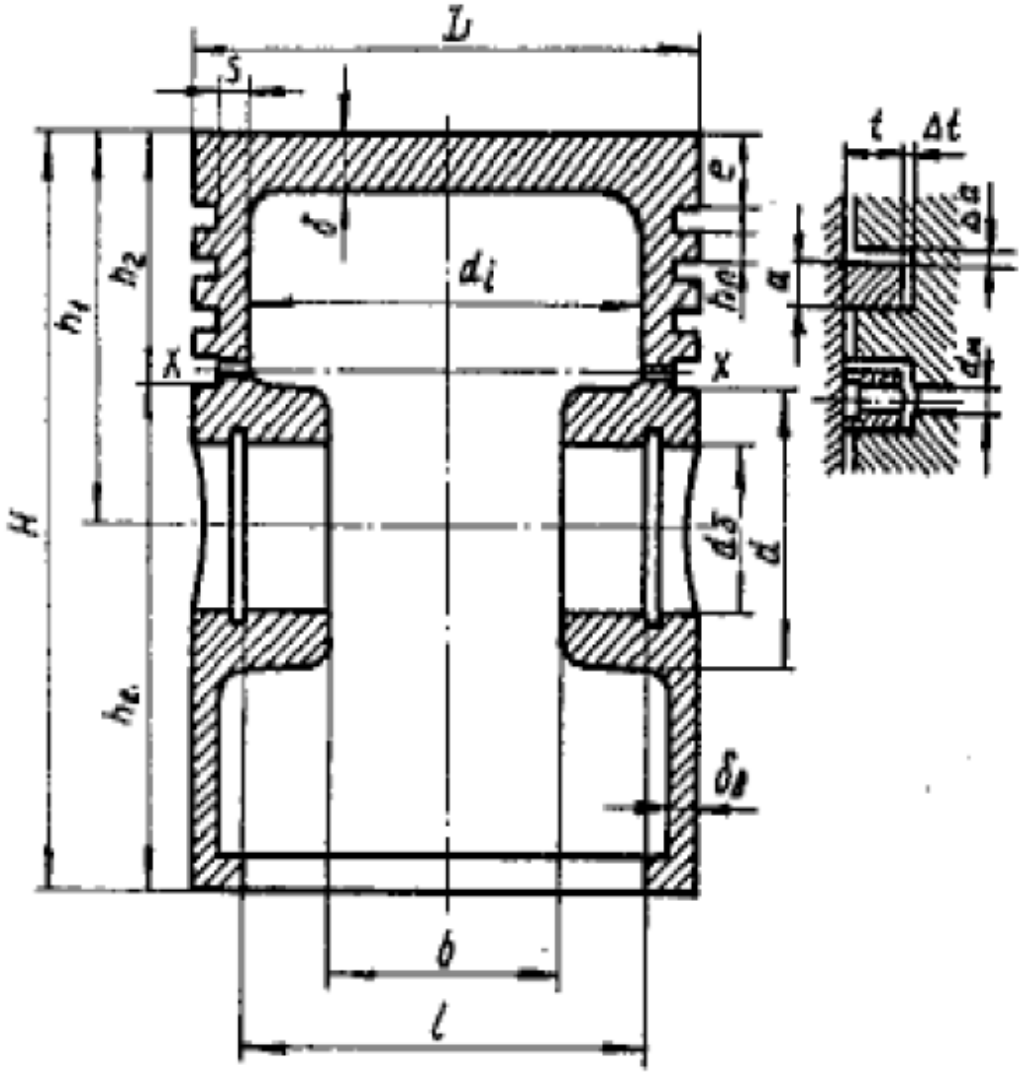
Για να επιτευχθούν χαμηλές μαζικές αδρανειακές δυνάμεις, υψηλή αντίσταση έναντι παραμόρφωσης, αποφυγή αστοχίας λόγω κόπωσης ,και καλές ιδιότητες ολίσθησης, τα υλικά κατασκευής των εμβόλων πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως:

- χαμηλή πυκνότητα του υλικού κατασκευής για μικρότερο βάρος
- υψηλή αντοχή κάτω από μεταβολές της θερμοκρασίας
- υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- καλά χαρακτηριστικά φθοράς,
- ευνοϊκή θερμική διαστολή

Τα τυπικά υλικά κατασκευής εμβόλων είναι ελαφρά κράματα χυτοσίδηρος κονδυλώδης χυτοσίδηρος και κράματα χάλυβα.

Τα έμβολα για μηχανές υψηλών ταχυτήτων κατασκευάζονται κυρίως από κράματα .Εκτός του αλουμινίου αυτά τα κράματα περιέχουν 11% έως 13%πυρίτιο και περίπου από 1% χαλκό, νικέλιο και μαγνήσιο. [12]

2.9. Υπολογισμός Διαστάσεων Εμβόλου



Σχήμα 2.3. Παραμετρικές διάστάσεις εμβόλου

Στην πρώτη περίπτωση μελετάται ο κινητήρας της Ford Fiesta 1000cm³ για τον υπολογισμό διαστάσεων του Εμβόλου.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 67 mm.**

Το πάχος της κεφαλής του εμβόλου **δ** είναι το 0,08 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Άρα **δ=5,36 mm**.

Το ύψος **Η** του εμβόλου είναι όση η διάμετρος του κυλίνδρου δηλ. **67 mm.**

Η απόσταση από το μέτωπο προς τον άξονα του πείρου του εμβόλου h1 είναι το 0,46 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_1}$**=30,82 mm.**

Η διάμετρος πάχυνσης του πείρου του εμβόλου d είναι το 0,45 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **d= 30,15 mm.**

Επίσης το b είναι το 0,4 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **b=26, 8 mm.**

Το πάχος των τοιχωμάτων δ6 είναι από (1,5 -4,5) mm.Επέλεξα 2,8mm **δ6=2,8mm**.

Το πάχος σφραγίσματος s ελήφθη 0,05 επί την διαμέτρου του κυλίνδρου. **s=3, 35 mm.**

Η απόσταση από το μέτωπο στο πρώτο κανάλι e. Είναι το 0,09 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. **e= 6, 03 mm.**

Το πάχος του τοιχώματος μεταξύ των καναλιών hn. Ελήφθη 0,04mm επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_n}$**=2, 68 mm.**

Ο αριθμός των οπών του λιπαντικού λαμβάνεται 0,8 $\boldsymbol{n_M}$**=0,8.**

Η διάμετρος οπής του πείρου του εμβόλου $\boldsymbol{d_6}$**=16,75 mm.**

Η διάμετρος των οπών του λιπαντικού $\boldsymbol{d_M}$**.** Επιλέγεται 0,04 επί το d_6. $\boldsymbol{d_M}$**=0,67 mm.**

Το ύψος h_6 με σημαντικό ρόλο επιλέγει το 0,7 επί την διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_6}$**=46,9 mm.**

Το μήκος της άνω κεφαλής του διωστήρα l_M ελήφθη 0,33 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l_M}$**=22,11 mm.**

Το μήκος του πείρου του εμβόλου l το έλαβα 0,9 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l}$**=60,3 mm**

Το ύψος του δακτυλίου α(2-4) επιλέγεται 2,8mm. **α= 2,8 mm.**

Το ακτινικό πάχος του δακτυλίου συλλέκτη λαδιού t_M .Υπολογίζεται 0,0040 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{t_M}$**=2,68 mm.**

Το ακτινικό διάκενο Δ_t μεταξύ εμβόλου κ καναλιού. Το έλαβα 0,0005 m. $\boldsymbol{\Delta_t}$ **=0,0005m,0,5mm.**Το ράδιο t του ελατηρίου **t=0,004 m,4 mm.**

Στην δεύτερη περίπτωση μελετώ τον κινητήρα της Ford Mondeo 2000cm ³ για τον υπολογισμό διαστάσεων του Εμβόλου.

Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι **D= 84 mm.**

Το πάχος της κεφαλής του εμβόλου **δ** είναι το 0,08 της διαμέτρου του κυλίνδρου. Άρα **δ=6,72 mm**.

Το ύψος **Η** του εμβόλου είναι όση η διάμετρος του κυλίνδρου δηλ. **84 mm.**

Η απόσταση από το μέτωπο προς τον άξονα του πείρου του εμβόλου h1 είναι το 0,46 της διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_1}$**=38,64 mm.**

Η διάμετρος πάχυνσης του πείρου του εμβόλου d είναι το 0,45 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **d= 37,8 mm.**

Επίσης το b είναι το 0,4 της διαμέτρου του κυλίνδρου. **b=33 6 mm.**

Το πάχος των τοιχωμάτων δ6 είναι από (1,5 -4,5) mm.Επέλεξα 3mm **δ6=3mm.**

Το πάχος σφραγίσματος s το έλαβα 0,05 επί την διαμέτρου του κυλίνδρου **s=4,2 mm.**

Η απόσταση από το μέτωπο στο πρώτο κανάλι e. Είναι το 0,09 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. **e= 7, 56 mm.**

Το πάχος του τοιχώματος μεταξύ των καναλιών hn. Το έλαβα 0,04mm επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_n}$**=3, 36 mm.**

Ο αριθμός των οπών του καυσίμου λαμβάνεται 0,8 $\boldsymbol{n_M}$**=0,9.**

Η διάμετρος οπής του πείρου του εμβόλου $\boldsymbol{d_6}$**=21 mm.**

Η διάμετρος των οπών του καυσίμου Επιλέγεται 0,04 επί το d_6. $\boldsymbol{d_M}$**=0,84 mm.**

Το ύψος h_6 με σημαντικό ρόλο επιλέγει το 0,7 επί την διαμέτρου του κυλίνδρου. $\boldsymbol{h_6}$**=58,8 mm.**

Το μήκος της άνω κεφαλής του διωστήρα l_M το έλαβα 0,33 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l_M}$**=27,72 mm.**

Το μήκος του πείρου του εμβόλου l το έλαβα 0,9 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{l}$**=75,6 mm.**

Το ύψος του δακτυλίου α(2-4) επιλέγεται 3mm. **α= 3 mm.**

Το ακτινικό πάχος του δακτυλίου συλλέκτη λαδιού t_M .Υπολογίζεται 0,0040 επί την διάμετρο του κυλίνδρου. $\boldsymbol{t_M}$**=3,36 mm.**

Το ακτινικό διάκενο Δ_t μεταξύ εμβόλου κ καναλιού. Το έλαβα 0,0005 m. $\boldsymbol{\Delta_t}$ **=0,0006m, 0,6mm.** Το ράδιο t του ελατηρίου **t=0,0045 m,0,45 mm.** [2]

Διαστάσεις Εμβόλου			
Τύπος	Παράμετρος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Mondeo 2000cm³
	Διάμετρος κυλίνδρου (mm)	67	84
0,08*D	δ (mm)	5,36	6,72
1*D	H (mm)	67	84

0,46*D	h1 (mm)	30,82	38,64
0,45*D	d (mm)	30,15	37,8
0,4*D	b (mm)	26,8	33,6
0,05*D	S (mm)	3,35	4,2
(1,5-4,5)	δ6 (mm)	2,8	30
0,09*D	e (mm)	6,03	7,56
0,04*D	hn (mm)	2,68	3,36
(6-12)	hM (mm)	8	9
0,25*D	d6 (mm)	16,75	21
0,04*d6	dM (mm)	0,67	0,84
0,7*D	h6 (mm)	46,9	58,8
0,9*D	l (mm)	60,3	75,6
0,33*D	lM (mm)	22,11	27,72
(2-4)	α (mm)	2,8	3
0,040*D	tM (mm)	2,68	3,36
0,0004-0,0008	Δt (mm)	0,5	0,6
0,004-0,005	t (mm)	4	4,5

Πίνακας 1.6. Διαστάσεις διωστήρα για τους κινητήρες Ford Fiesta 1000 cm^3, Ford Mondeo cm^3

ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΣ ΑΞΟΝΑΣ-ΔΙΩΣΤΗΡΕΣ –ΕΜΒΟΛΑ

Στο 2.4. σχήμα παρουσιάζεται ο κινηματικός μηχανισμός, ο οποίος μεταδίδει την κίνηση από τα έμβολα στον στροφαλοφόρο άξονα μέσω των διωστήρων.

Σχήμα 2.4. Κινηματικός μηχανισμός

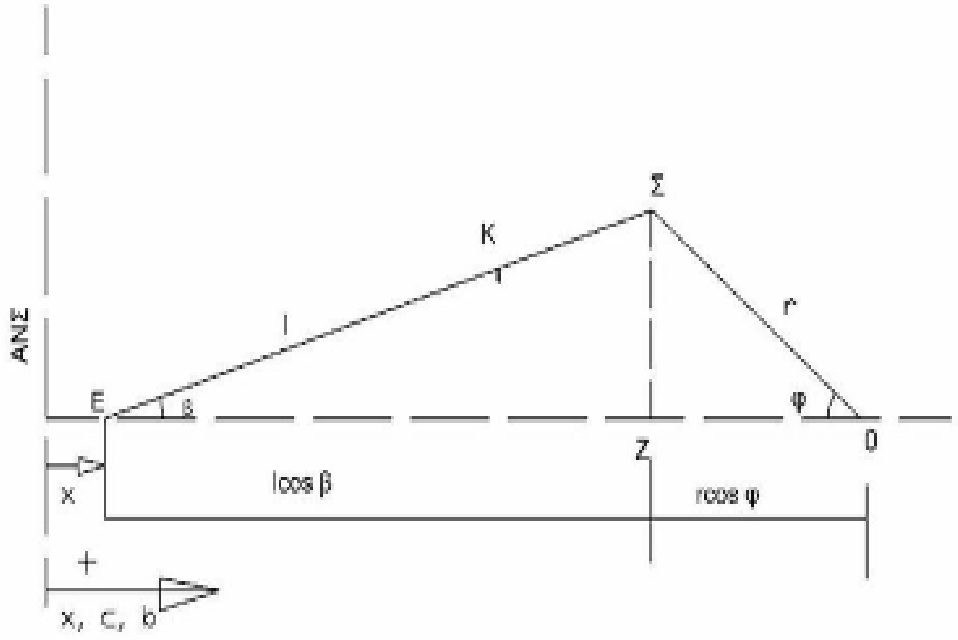
2.10. ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

Μεγέθη κινηματικού μηχανισμού			
Όνομα	Τύπος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Mondeo 2000cm³
Λόγος ακτίνας στροφάλου προς το μήκος του διωστήρα	Λόγος λ= r/λ	λ=35/140=0.25	λ=44,5/178=0.25
Μήκος Διωστήρα	1=r/λ	1=r/λ=140mm = 0,140m	1=r/λ=178mm = 0,178m
Διάμετρος κυλίνδρου	D	67mm =0,067m	84 mm 0,084 m
Διαδρομή εμβόλου	S	70mm = 0,07m	89mm = 0,089 m
Ακτίνα Στροφάλου	r	35mm= 0,035m	44,5mm = 0,0445m
Κέντρο Βάρους Διωστήρα 1/3 στήριξης στο κομβίο του στροφάλου		46,66mm	59,33mm
Κέντρο Βάρους Διωστήρα 2/3 στήριξης στον πείρο του εμβόλου		95,33mm	118,66mm

Πίνακας 1.7. Μεγέθη κινηματικού μηχανισμού για τους κινητήρες Ford Fiesta 1000 cm³, Ford Mondeo 2000 cm³

Στο κεφάλαιο 2.4. θα αναπτυχθούν τα βασικά στοιχεία των δυναμικών φαινομένων που εμφανίζονται κατά την λειτουργεία της εμβολοφόρου ΜΕΚ. Υπολογίζονται: η μετατόπιση , η ταχύτητα και η επιτάχυνση του εμβόλου.

.



Σχήμα 2.5. Κινηματικός μηχανισμός

2.11. Υπολογισμός Μετατόπισης του εμβόλου

Η β είναι η γωνία που σχηματίζει ο διωστήρας με την οριζόντια διεύθυνση, r η ακτίνα του στροφάλου, (r = s/2)όπου s η διαδρομή του εμβόλου) και l το μήκος του διωστήρα (απόσταση μεταξύ των κέντρων του κομβίου διωστήρα του στροφαλοφόρου και του πείρου του εμβόλου).
Δύο κύρια σημεία είναι ενδιαφέροντα ως κινηματικά χαρακτηριστικά , είναι το κέντρο του πείρου του εμβόλου και το κέντρο του κομβίου του διωστήρα.

Το κέντρο του πείρου του εμβόλου εκτελεί ευθύγραμη κίνηση διαδοχικά επιταχυνόμενη και επιβραδυδυνόμενη (παλιδρόμηση μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ), ενώ το κέντρο του κομβίου του διωστήρα διαγράφει κυκλική τροχιά ακτίνας r,με σταθερή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής ω (στην περίπτωση που ο κινητήρας λειτουργεί με σταθερές στροφές)

Για μία τυχαία θέση του στροφάλου, που καθορίζεται από τη γωνία περιστροφής του στροφάλου φ η μετατόπιση του εμβόλου χ από το ΑΝΣ είναι:

$$x = l + r - l.\cos\beta - r.\cos\varphi \quad (1)$$

γνωρίζεται ότι: $l.\sin\beta = r.\sin\varphi$ }

$$\Rightarrow \sin\beta = \lambda.\sin\varphi \quad (2)$$

Ορίζεται $\lambda = \frac{r}{l}$ }

Απο την τριγωνομετρία προκύπτει:

$$\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1 \Rightarrow \cos\beta = \sqrt{1 - sin^2\beta} \quad (3)$$

Συνδυάζοντας την εξίσωση (2) προκύπτει:

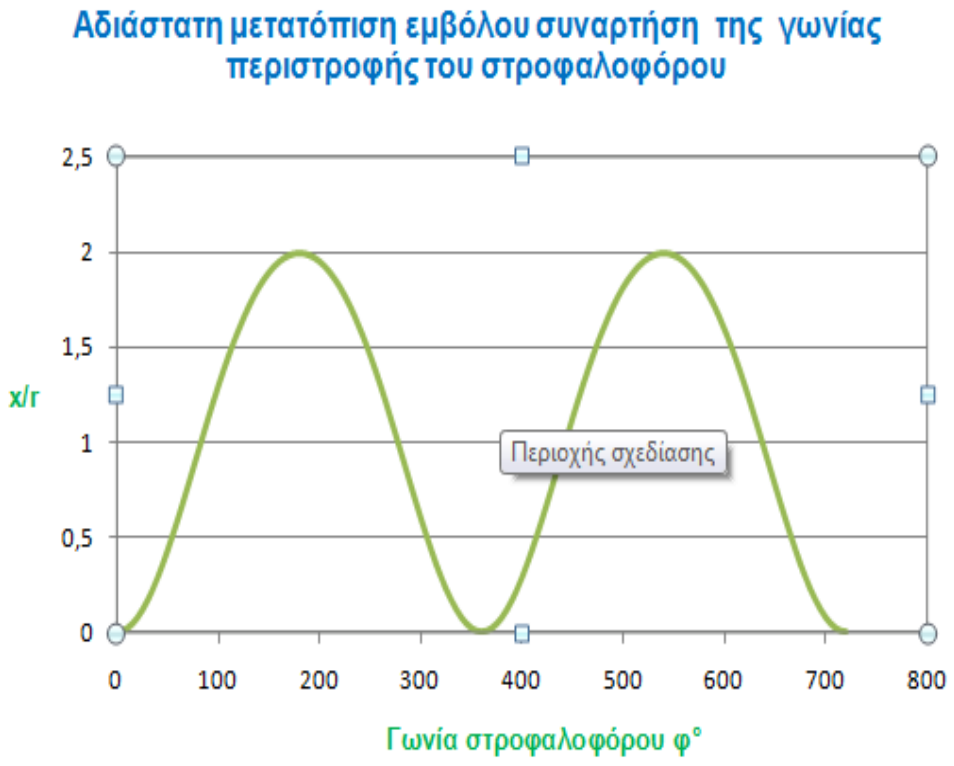
$$cos\ \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 sin^2\varphi} \quad (4)$$

Από την εξίσωση (1) κ (4) $\Rightarrow$

$$x = l.(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 sin^2\varphi}) + r(1 - \cos\varphi) \quad (5)$$

Αδιαστατοποιώντας με την ακτίνα του στροφάλου r αποκτώ την αδιάστατη **μετατόπιση** του εμβόλου από το ΑΝΣ $\left(\frac{x}{r}\right) = 1 - \cos\varphi + \frac{1}{\lambda}.\left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2.\sin^2\varphi}\right.$ (6)

Στο σχήμα 2.6. παρουσιάζεται το διάγραμμα της μετατόπισης του εμβόλου συναρτήσει της γωνίας φ στροφαλοφόρου άξονα.



Σχήμα 2.6. Διάγραμμα μετατόπισης του εμβόλου

2.12. Υπολογισμός Ταχύτητας του εμβόλου

Η ταχύτητα του εμβόλου είναι η παράγωγος μετατόπισης ως προς τον χρόνο.

$$c=\frac{dx}{dt}=\frac{dx}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt}=\omega.\frac{dx}{d\varphi} \qquad (7)$$

Επειδή η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα εκφράζεται σε rad/s, καθώς οι πλειονότητα των εφαρμογών αναφέρονται σε rpm όσον αφορά την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα πρέπει να κάνουμε την μετατροπή: $\omega=\frac{2\pi rpm}{60}$ (8)

Μελετώνται οι δύο κινητήρες όπου η ταχύτητα περιστροφής του Στροφαλοφόρου Άξονα για κάθε έναν είναι:

A) Για το Ford Fiesta 1000cm³ $\omega=\frac{2*3,14*4000}{60}$=418rpm

B) Για toFord Mondeo 2000cm³ $\omega=\frac{2*3,14*6000}{60}$=628rpm

Η συνάρτηση που εκφράζει τη μετατόπιση του εμβόλου σε συνάρτηση με τη γωνία περιστροφής του στροφάλου είναι η εξίσωση (5). Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της ταχύτητας από την εξίσωση (7) και βρίσκοντας τη χρονική παράγωγο της μετατόπισης του εμβόλου, οπότε υπολογίζουμε την ταχύτητα του εμβόλου από την εξίσωση:

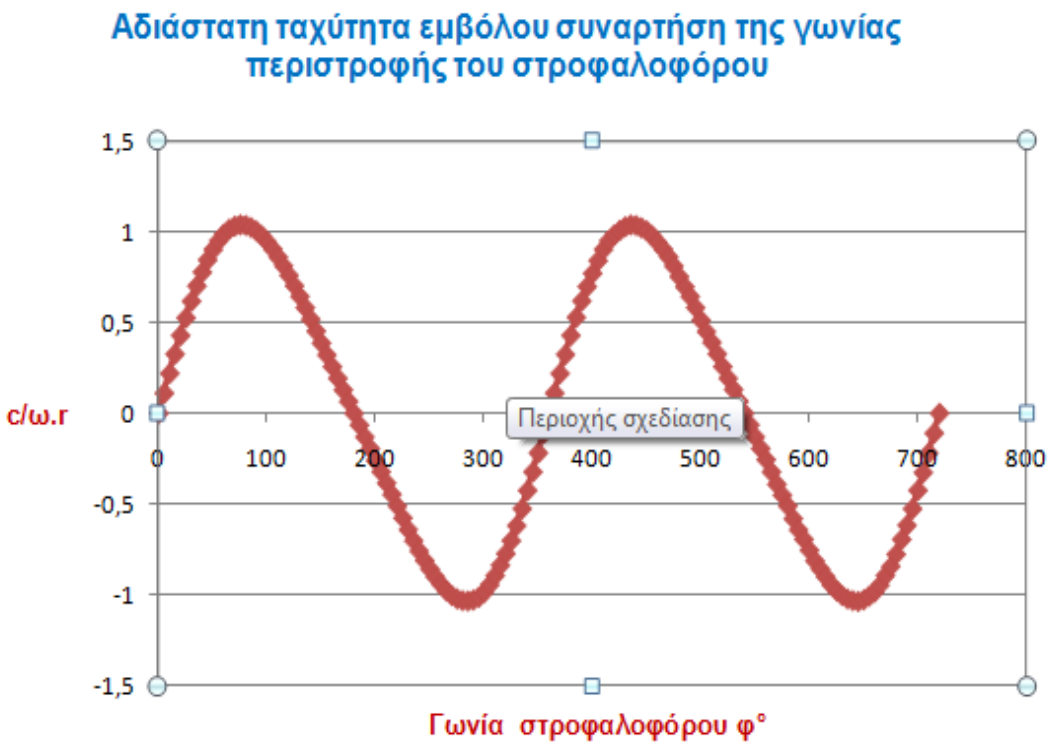
$$c=\omega.r.\ \sin\varphi.\left(\mathbf{1}+\frac{\lambda\cos\varphi}{\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}}\right) \qquad (9)$$

Η παραπάνω εξίσωση μου δείχνει ότι η ταχύτητα του εμβόλου είναι συνάρτηση της γωνίας περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Άρα η ταχύτητα του εμβόλου συνεχώς μεταβάλλεται. Αδιαστατοποιώντας την ταχύτητα του εμβόλου με την ταχύτητα του στροφαλοφόρου άξονα , παίρνω την αδιάστατη τιμή της **ταχύτητας** του εμβόλου:

$$\frac{c}{\omega r}=\sin\varphi.\left(1+\frac{\lambda\cos\varphi}{\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}}\right) \qquad (10)$$

Η φορά αναφοράς της ταχύτητας **c** λαμβάνεται θετική όταν κατευθύνεται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ.

Στο σχήμα 2,12 παρουσιάζεται η καμπύλη της ταχύτητας του εμβόλου συναρτήσει της γωνίας φ στροφαλοφόρου άξονα.



Σχήμα 2.7. Διάγραμμα ταχύτυτας του εμβόλου

2.13.Υπολογισμός Επιτάχυνσης του εμβόλου

Ηεπιτάχυνση ορίζεται ώς την χρονική μεταβολή της ταχύτητας του εμβόλου:

$$b=\frac{dc}{dt}.=\frac{dc}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt}=\omega\cdot\frac{dc}{d\varphi} \qquad (11)$$

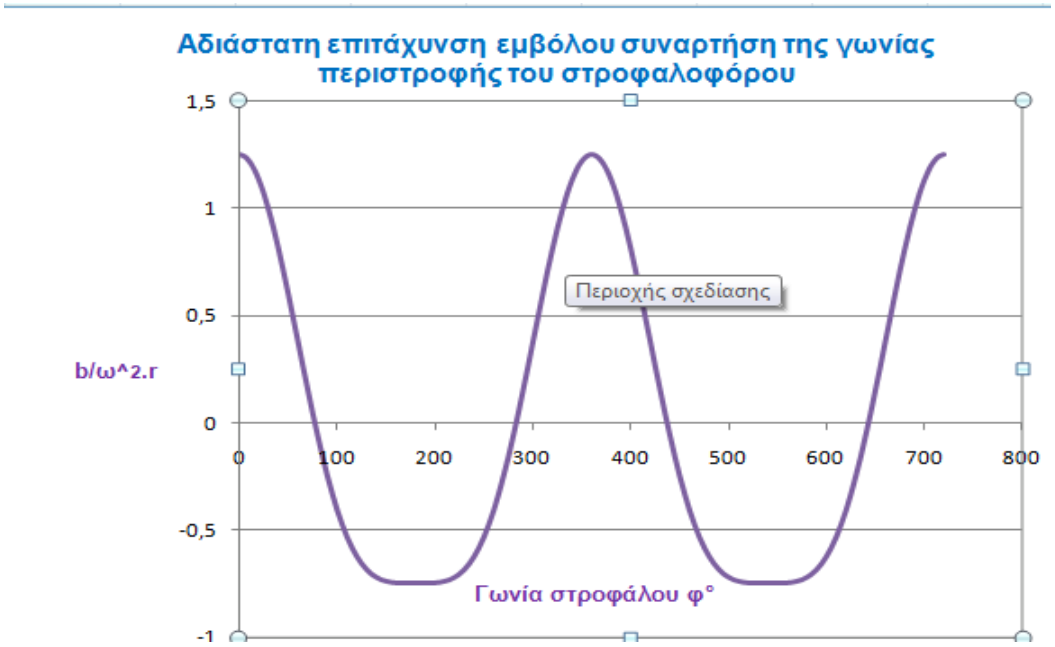
Η επιτάχυνση του εμβόλου λαμβάνεται από την παράγωγο της ταχύτητας , ως ορος την γωνία φ.

$$b=\omega^2.r\left(cos\varphi+\frac{\lambda.(cos2\varphi+\lambda^2 sinx^4\varphi)}{(1-\lambda^2 sin^2\varphi)3/_2}\right) \qquad (12)$$

Αδιαστατοποιώντας δια της κεντρομόλου επιτάχυνσης του στροφαλοφόρου άξονα $(\omega^{2\cdot r})$ η αδιάστατη επιτάχυνση του εμβόλου που προκύπτει είναι:

$$\frac{b}{\omega^2.r}=\left(cos\varphi+\frac{\lambda.(cos2\varphi+\lambda^2 sinx^4\varphi)}{(1-\lambda^2 sin^2\varphi)3/_2}\right) \qquad [1] \qquad (13)$$

Στο σχήμα 2.8 διάγραμμα παρουσιάζεται η καμπύλη της επιτάχυνσης του εμβόλου συναρτήσει της γωνίας φ στροφαλοφόρου άξονα.



Σχήμα 2.8. Διάγραμμα επιτάχυνσης του εμβόλου

2.14. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΕΡΙΩΝ

- Οι δυνάμεις των αερίων ή πρωτογενείς δυνάμεις δημιουργούνται από τα αέρια της καύσης.
- Δευτερογενής δυνάμεις αδράνειας που τις προκαλούν:
- ✓ Δυνάμεις παλινδρομικών μαζών
- ✓ Δυνάμεις περιστρεφόμενων μαζών

Η πίεση των αερίων μέσα στον κύλινδρο μιας εμβολοφόρου ΜΕΚ μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας.

Μεταφέροντα στην κεφαλή και το σώμα της μηχανή και από το έμβολο δια μέσου του διωστήρα στον στρόφαλο, όπου δημιουργείται η ροπή περιστροφή του στροφαλοφόρου Άξονα.

Οι δυνάμεις αυτές μεταβάλλονται περιοδικά με περίοδο μεταβολής: Τα $= \frac{1}{na}$

όπου $na = \frac{n}{2}$ (για τετράχρονες) n = στροφές του κινητήρα.(1)

Από τις δυνάμεις αυτές καταπονούνται δυναμικά το σώμα της μηχανής από την κεφαλή μέχρι τα έδρανα βάσης του στροφάλου καθώς και όλα τα στοιχεία του μηχανισμού του στροφαλοφόρου άξονα.

Δεν μεταφέροντα στις βάσεις στήριξης της μηχανής.

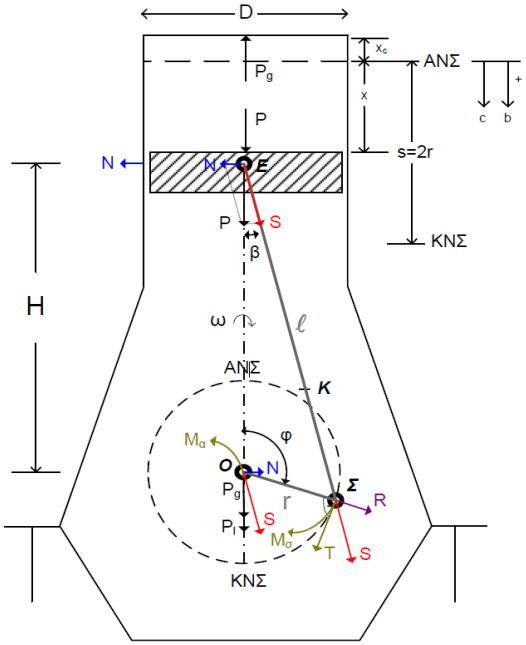
Το Δυναμοδεικτικό Διάγραμμα του κινητήρα (λαμβανόμενο με μέτρηση) δίνει την τιμή της πίεσης pg από αέρια, σε κάθε θέση του εμβόλου x (διάγραμμα pg-x) και επομένως και για κάθε συνολικό όγκο V=Vc+Fx (όπου Vc ο επιζήμιος όγκος και F=πD2/4 η επιφάνεια του εμβόλου), ή σε κάθε γωνία του στροφάλου φ.

Τα αέρια λόγω της πίεση pg εξασκούν . Σχήμα :

- Στο έμβολο τη δύναμη Pg κατά τον άξονα του κυλίνδρου με φορά πάντα από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ.
- Στο κάλυμμα του κυλίνδρου ίση κατά μέτρο δύναμη Pg, με αντίθετη όμως φορά (στα παράπλευρα τοιχώματα η συνισταμένη είναι μηδενική).

Το μέτρο της Pg σε κάθε χρονική στιγμή (γωνία στροφάλου) δίνεται από τη σχέση, $Pg=\frac{\Pi}{4}D^2Pg=F.Pg$ (2)

Σαν pg λαμβάνεται κατά κανόνα η μανομετρική πίεση, η οποία δίνεται από τα δυναμοδεικτικά διαγράμματα για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας,διότι στην κάτω πλευρά του εμβόλου (στροφαλοθάλαμος) εξασκείται η πίεση της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.9. Δυνάμεις του Κινηματικού Μηχανισμού

Την Pg παραλαμβάνει εν γένει το τοίχωμα του κυλίνδρου μέσω του εμβόλου (δύναμη N κάθετη στο τοίχωμα η οποία κείται επάνω στο επίπεδο που διαγράφει ο διωστήρας) και ο διωστήρας (δύναμη S), ο οποίος μπορεί να μεταβιβάζει δύναμη μόνο κατά τον άξονα του (θεωρείται αβαρής ράβδος, αμφιαρθρωτή κατά τα δύο άκρα της προς το έμβολο και το στρόφαλο).

Έτσι η δύναμη Pg αναλύεται στις δύο ακόλουθες συνιστώσες:

Ng= δύναμη παρειάς κυλίνδρου=pg.tanβ (3)

Sg= δύναμη διωστήρα $= \frac{pg}{cos\beta}$ (4)

Η δύναμη Sg μεταβιβάζεται μέσω του διωστήρα στο κομβίο του στροφάλου. Η αναγωγή της Sg στο σημείο Ο δίνει μία δύναμη ίση προς αυτήν, που ασκείται στο έδρανο βάσεως, καθώς και μία ροπή επί του στροφαλοφόρου άξονα που αποτελεί τη στρεπτική ροπή του κινητήρα.
Η δύναμη Sg μπορεί να αναλυθεί στο σημείο Σ σε δύο συνιστώσες **Tg και Rg** που ονομάζονται, αντίστοιχα, **εφαπτομενική δύναμη** ή στρεπτική δύναμη στροφάλου (κάθετη πάντα στο στρόφαλο) και **ακτινική δύναμη** στροφάλου (κατά τη διεύθυνση της ακτίνας του στροφάλου).

Tg =Sg .sin(φ+β**)** **(**5**)**

Rg =Sg.cos(φ+β**)** **(**6)

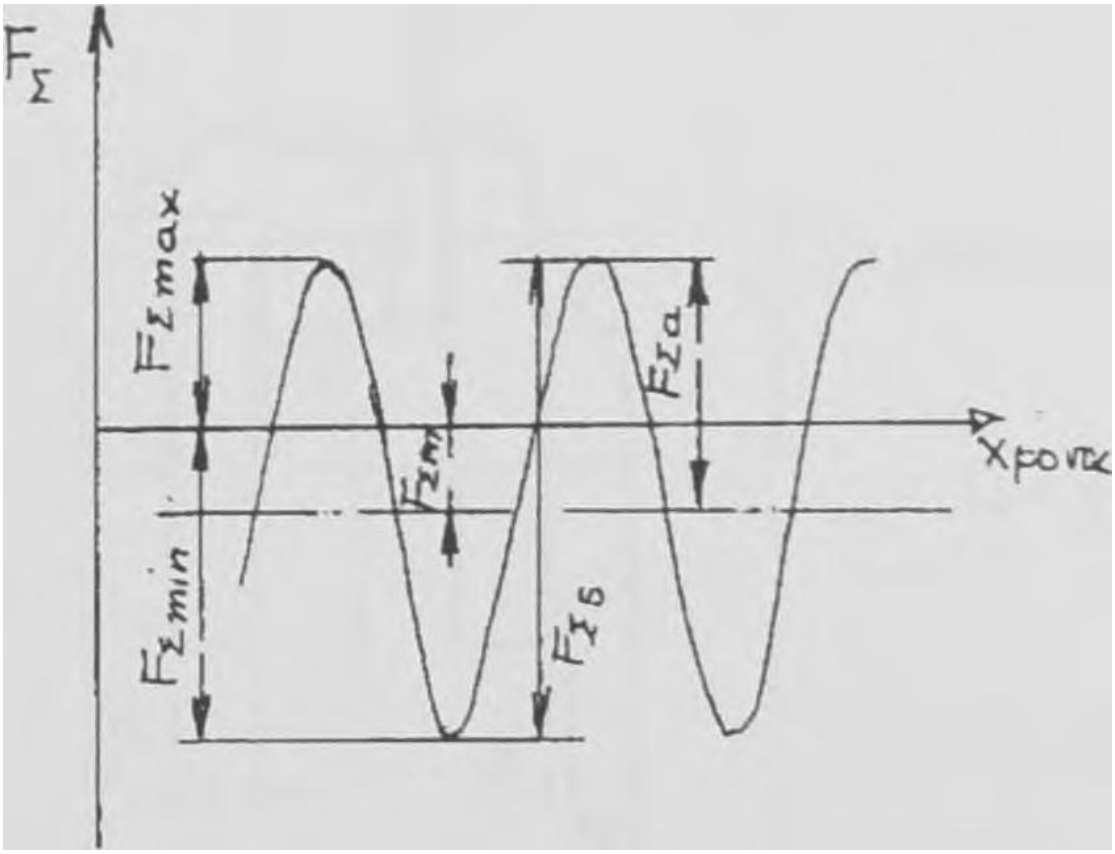
2.15. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ

Ο στροφαλοφόρος άξονας καταπονείται σε κάμψη και σε στρέψη. Η ταυτόχρονη επενέργεια πάνω στο έμβολο των δυνάμεων αερίων και αδρανείας των *μαζών* που κινούνται παλινδρομικά, προξενεί στο στροφαλοφόρο άξονα μια δυναμική καμπτική και στρεπτική καταπόνηση.
Η μεταβαλλόμενη δύναμη F_Σ που επενεργεί στο κέντρο κάθε κομβίου στροφάλου φτάνει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της όταν το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΑΝΣ και καταπονεί τον στροφαλοφόρο άξονα σε κάμψη.

Η F_Σ μεταβάλλεται περιοδικά μεταξύ μιας μεγίστης θετικής τιμής $F_\Sigma\, max$ κατά την ανάφλεξη του καυσίμου μίγματος και μιας ελάχιστης (αρνητική) τιμής $F_\Sigma\, min$ κατά την έναρξη της αναρρόφησης.

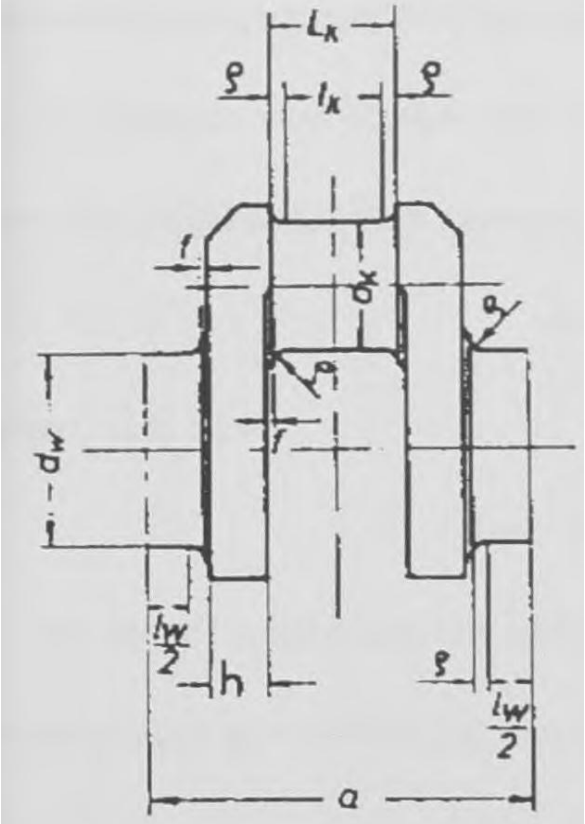
Η F_Σ μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή $F_{\Sigma\Pi}$.
Το πλάτος μεταβολής της δύναμης του εμβόλου ως προς τη μέση τιμή (εναλλασσόμενη δύναμη) : $F_{\Sigma\alpha}$ =Fg / 2.

Αυτό δείχνει ότι η δύναμη ανάφλεξης που είναι η μεγίστη δύναμη των καυσαερίων Fg ορίζει την εναλλασσόμενη καταπόνηση του στροφαλοφόρου άξονα και των υπολοίπων τμημάτων του μηχανισμού στροφαλοφόρου. Ο στροφαλοφόρος άξονας καταπονείται σε στρέψη από την περιοδικά μεταβαλλόμενη στρεπτική ροπή και από τις στρεπτικές ταλαντώσεις. [7]



Σχήμα 3.Ενδεικτική παράσταση της μεταβολής της δύναμης F_Σ

2.16. ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ



Σχήμα 3.1. Αντοχή στροφάλου για τους κινητήρες Ford Fiesta 1000 cm^3, Ford Mondeo 2000 cm^3

Αντοχή στροφαλοφόρου Άξονα Υλικό 36CrN2Mo		
Παράμετρος	Ford Fiesta 1000cm³	Ford Monteo 2000cm³
S (mm)	70	89
D (mm)	67	84
pg (bar)	40	70
dw (mm)	53,6	67,2
dw τυποποίηση	55	70
dk (mm)	46,9	58,8
dk τυποποίηση	50	60
ρ (mm)	3,015	3,78
dk τυποποίηση	3	4
lk (mm)	16,78	20,56
a/D	1,25	1,25
a (mm)	83,75	105
a	85	105
Lw (mm)	20,1	25,2
h	12,14375	15,225
Fg (N)	15393,804	43547,97197
c (mm)	19,121875	24,2125
σbn (N/mm^2)	5,4936382	11,07318333
τn (N/mm^2)	40	40
ab0	2,27	2,27

θ1	1,015	1,015
θ2	1,015	1,015
θ3	1,008	1,008
θ4	0,59	0,59
θ5	1,08	1,08
θ6	5,28	5,28
ab	7,9310039	7,9310039
σbmax (N/mm^2)	43,57006599	87,82146021
τmax (N/mm^2)	73,2	73,2
σνσυολ (N/mm^2)	134,0636813	154,2314134
σθρ (N/mm^2)	981	981
σδρ (N/mm^2)	736	736
Συντ.Ασφάλ.	3	3
σεπ (N/mm^2)	245,3333333	245,3333333

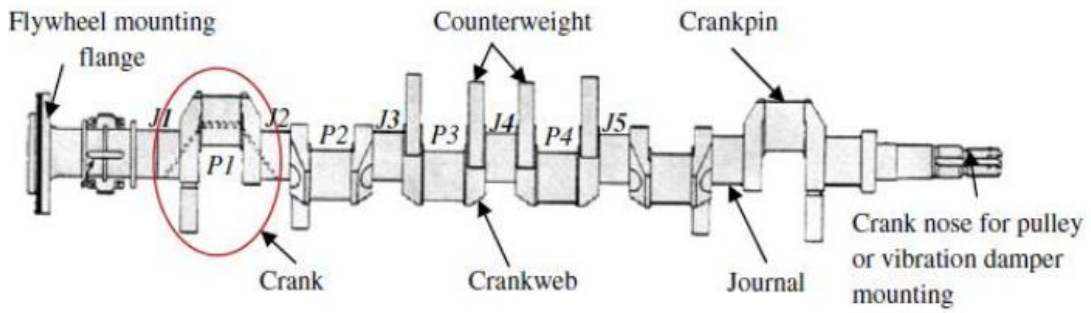
Πίνακας 1.8. Υπολογισμός αντοχής στροφαλοφόρου

Αποδεικνύεται ότι το Υλικό που επιλέγει για την κατασκευή του Στροφαλοφόρου Άξονα αντέχει στις καταπονήσεις που δέχεται από την μέγιστη καμτική τάση σmax και από την μέγιστη στρεπτική τάση τmax. [8]

2.17. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΤΡΟΦΑΛΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ

Τα κυριότερα αίτια αστοχίας των στροφαλοφόρων αξόνων είναι τα κατασκευαστικά ελαττώματα και η κόπωση .Τα ελαττώματα αναφέρονται είτε σε σφάλματα κατά την διαδικασία παραγωγής τους , είτε σε σφάλματα που εμφανίζονται κατά την επιδιόρθωση/ συντήρηση τους.

Η θραύση παρουσιάστηκε στο τμήμα που ενώνει το κύριο στροφείο J2 με το κομβείο P1.
Η ελαττωματική επιφάνεια των παραπάνω τμημάτων του στροφαλοφόρου άξονα έπαιξε σημαντικό ρόλο για το αίτιο της αστοχίας.
Η κόπωση ευνοεί την εμφάνιση της από τα κατασκευαστικά ελαττώματα .



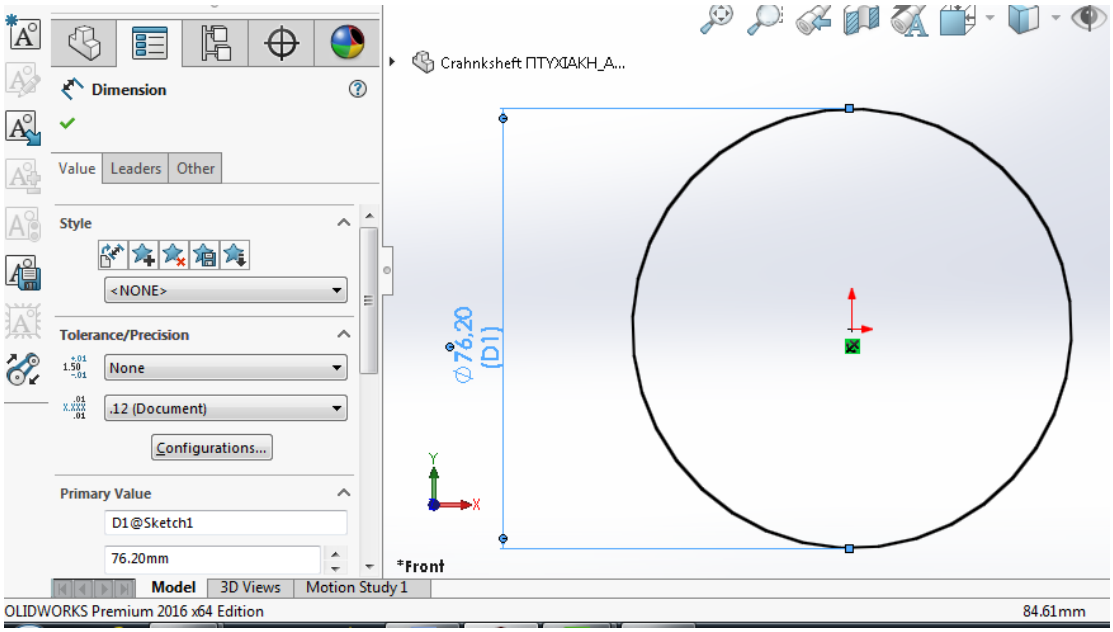
Σχήμα 3.2.Αστοχία στροφαλοφόρου άξονα

Σχήμα 3.3. Ποσοστά των κυριότερων αστοχιών των στοιχείων των κινητήρων

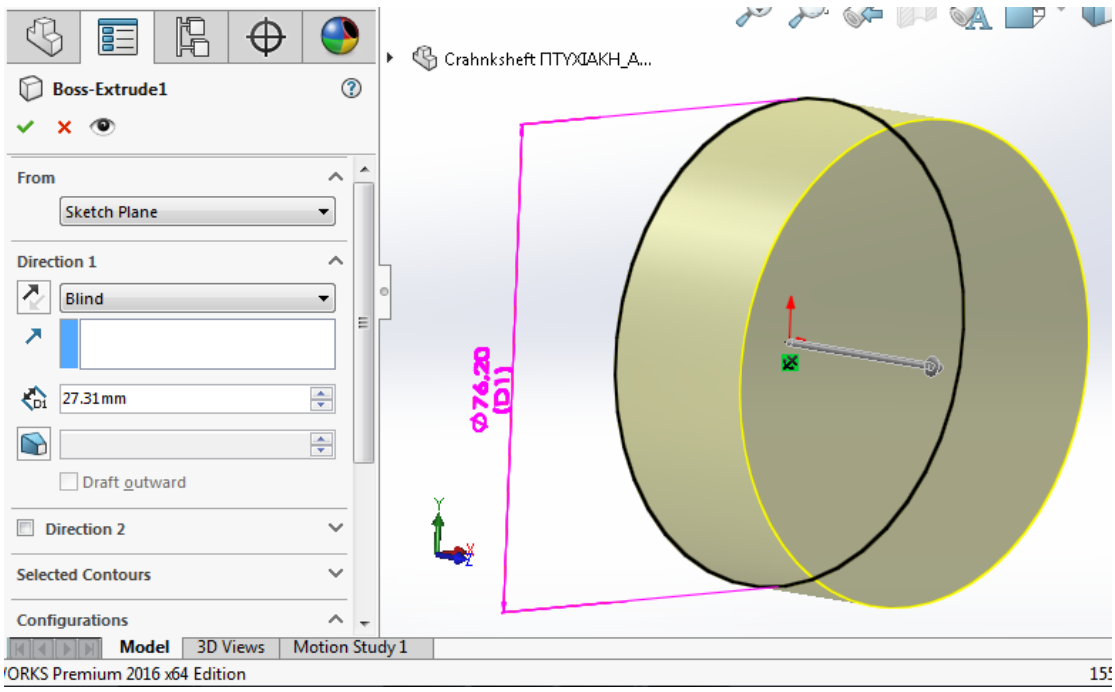
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥΑΞΟΝΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΜΕΚ

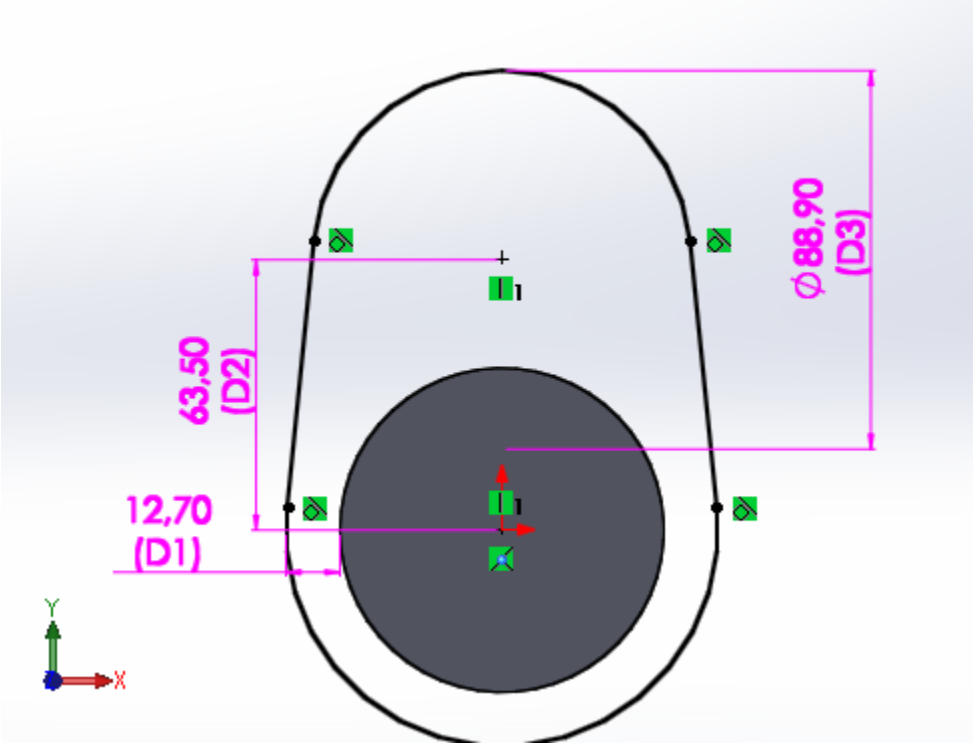
3.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ



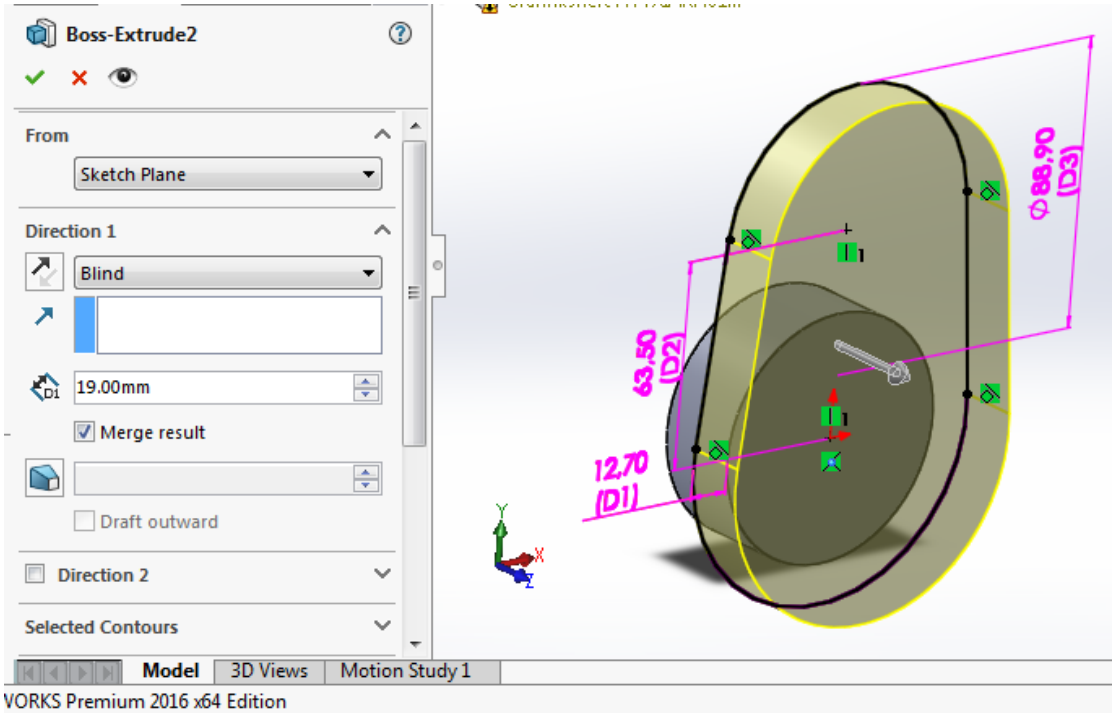
Σχήμα 1. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch1.



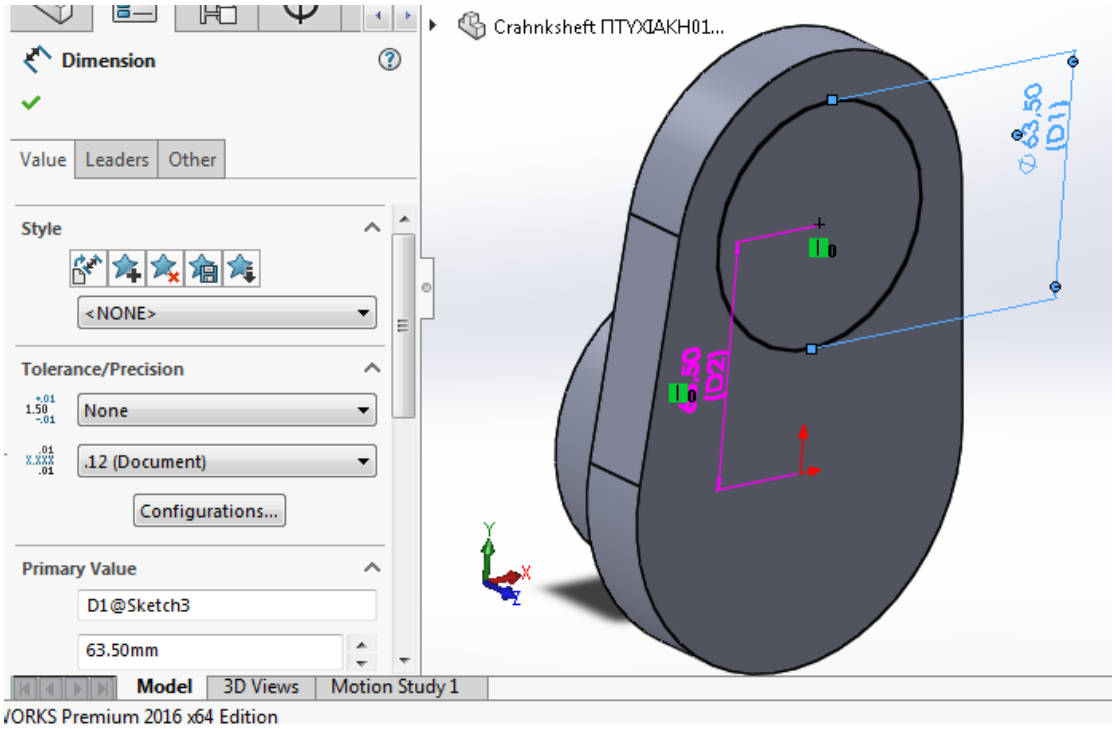
Σχήμα 2. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Boss-Extrude1.



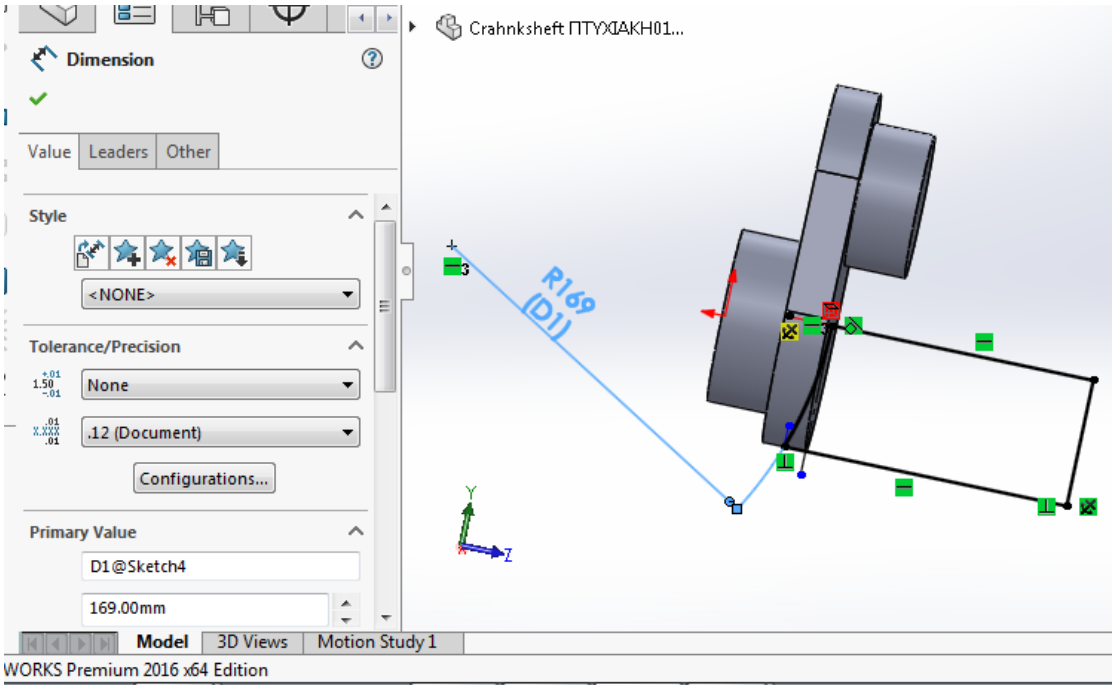
Σχήμα 3. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch2, D2@Sketch2, D3@Sketch2.



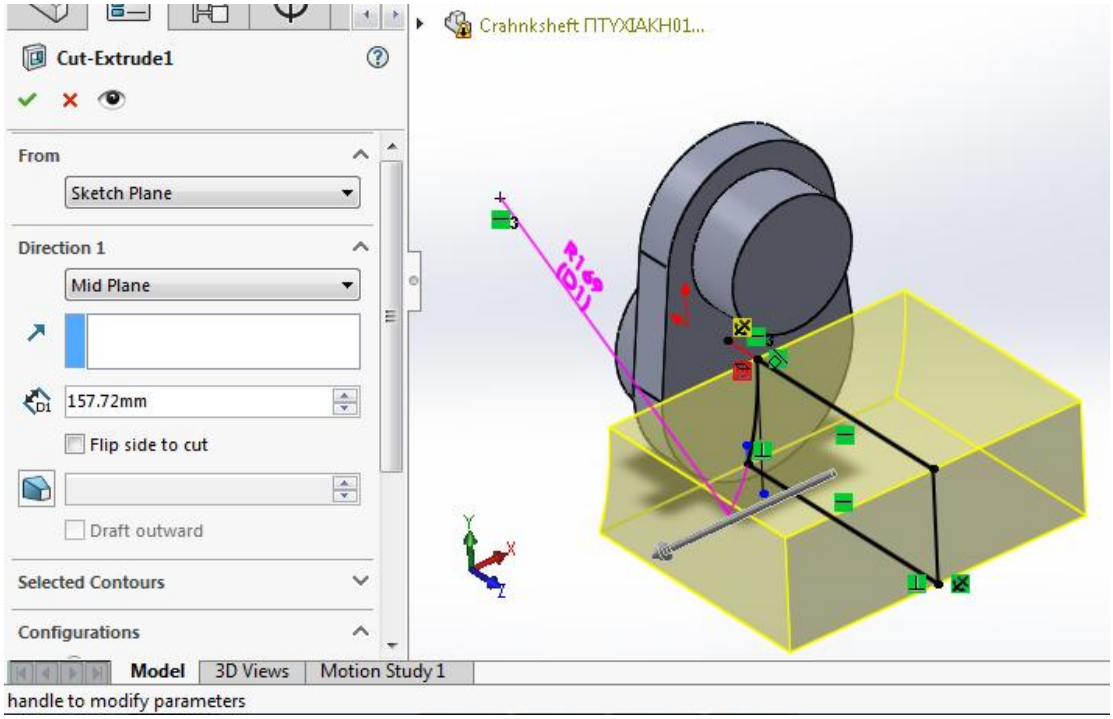
Σχήμα 4. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Boss-Extrude2.



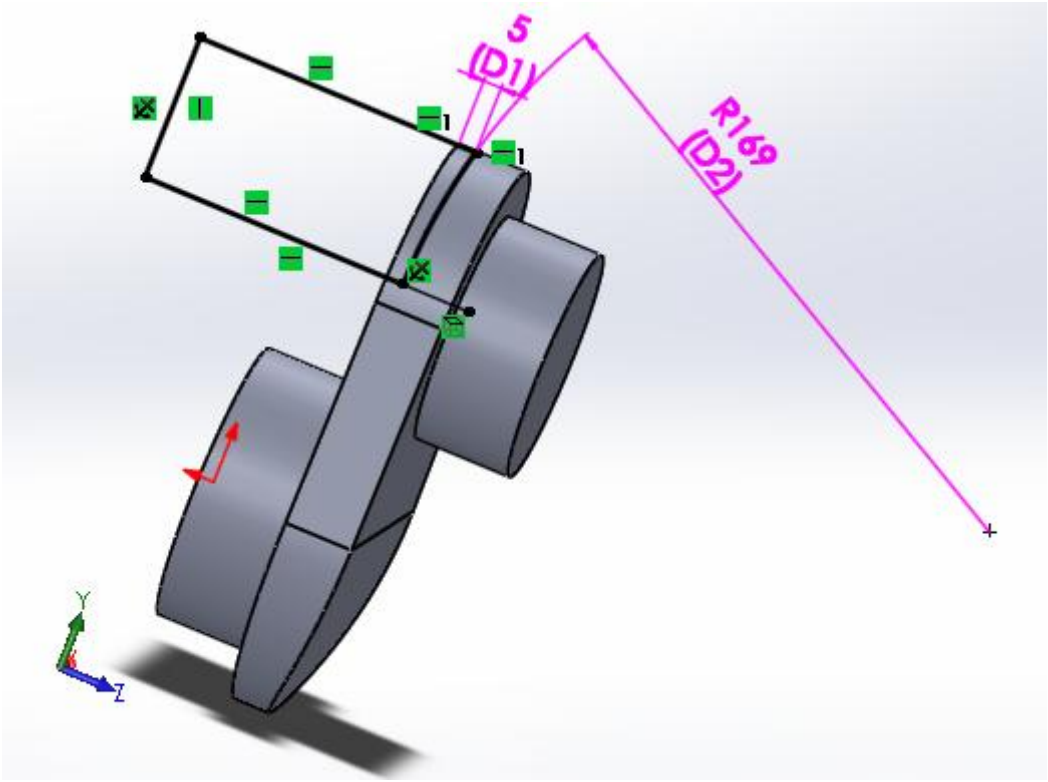
Σχήμα 5. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch3, D2@Sketch3.



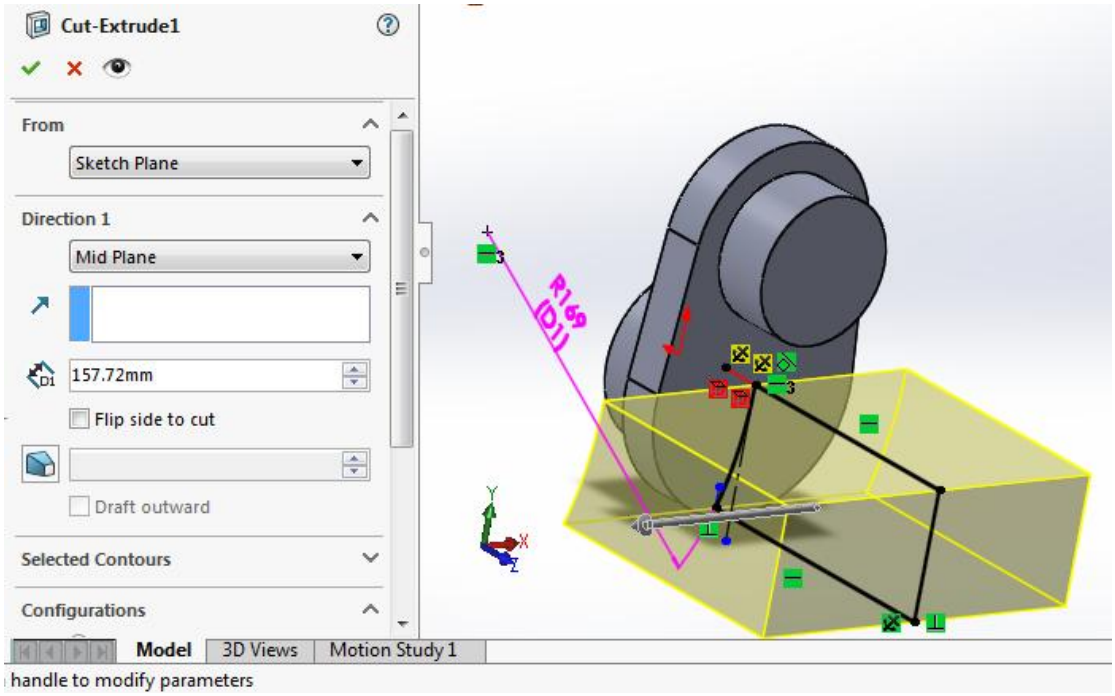
Σχήμα 6. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch4.



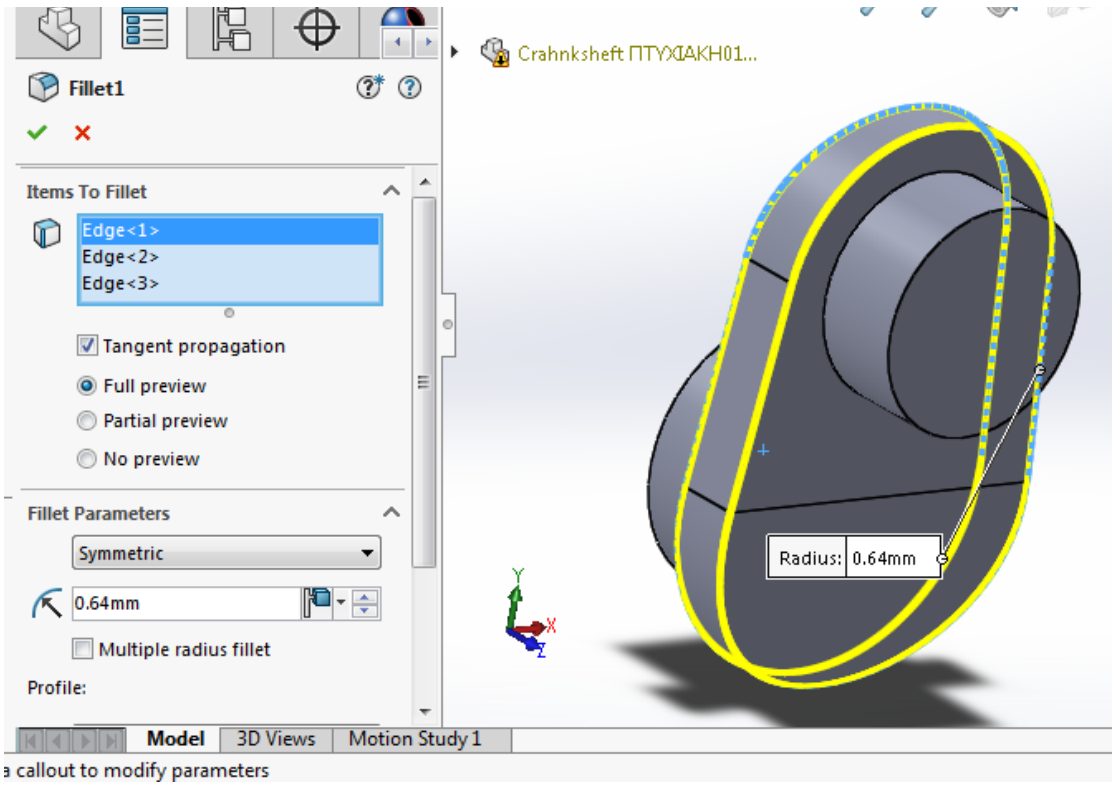
Σχήμα 7. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Cut-Extrude1.



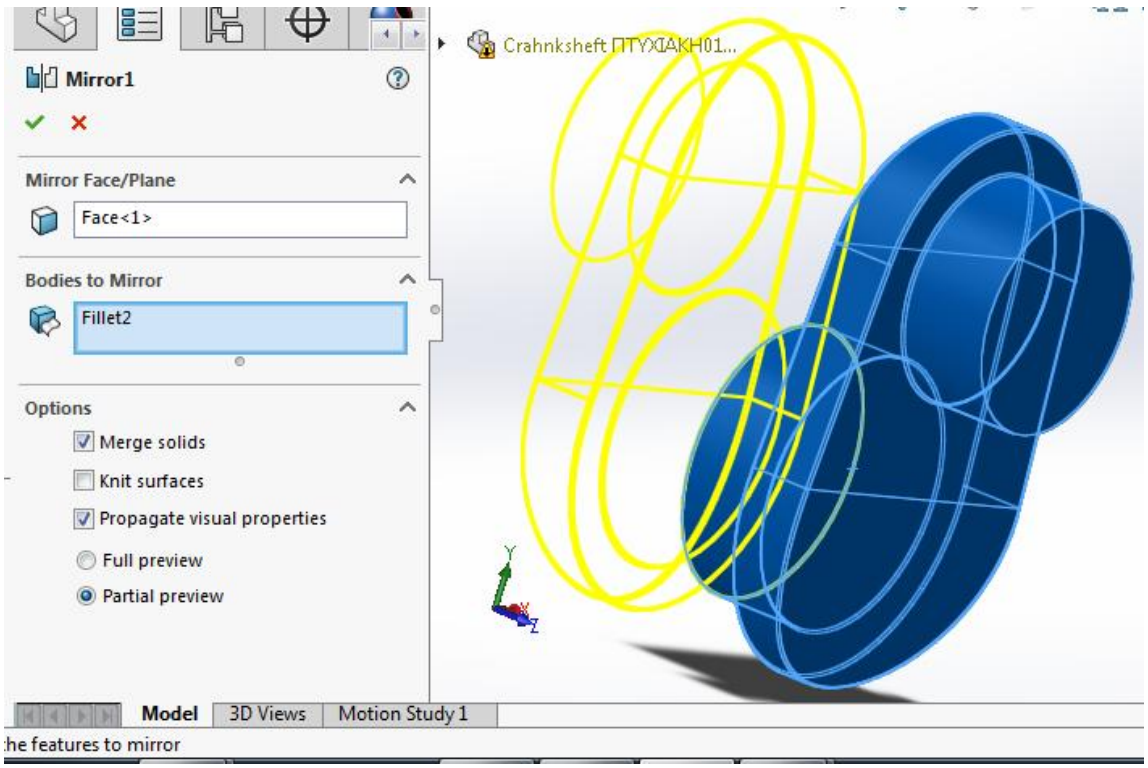
Σχήμα 8. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch5, D2@Sketch5.



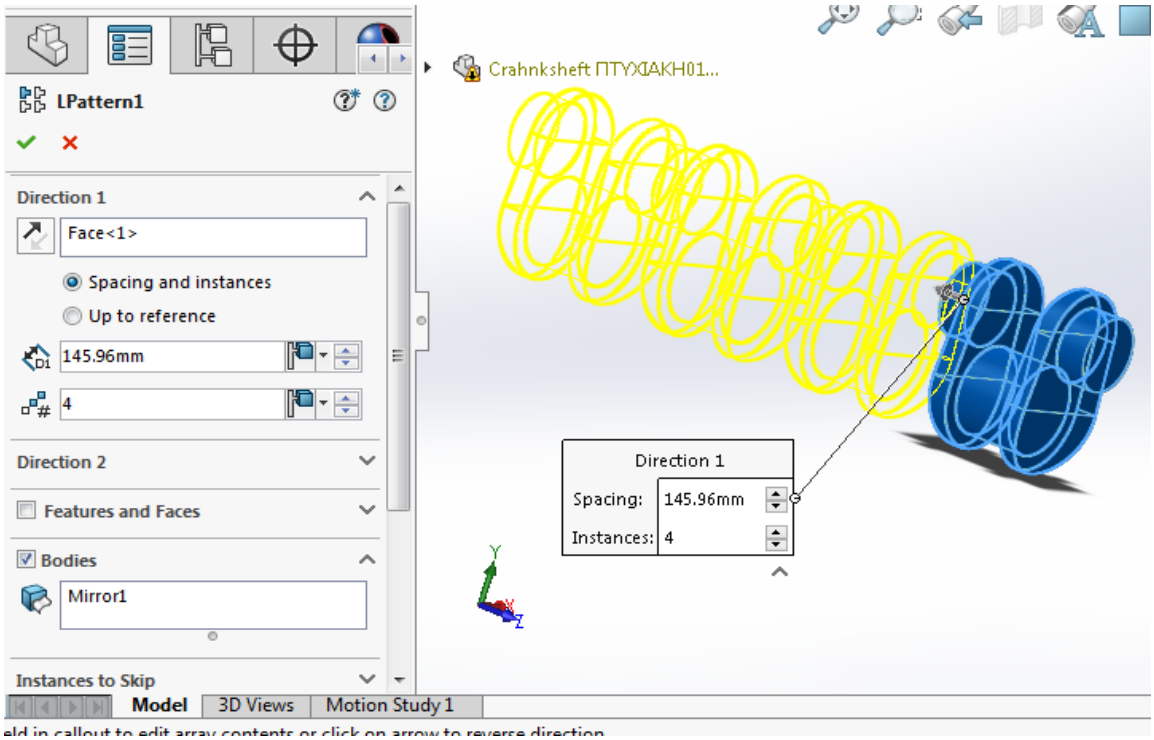
Σχήμα 9. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Cut-Extrude2.



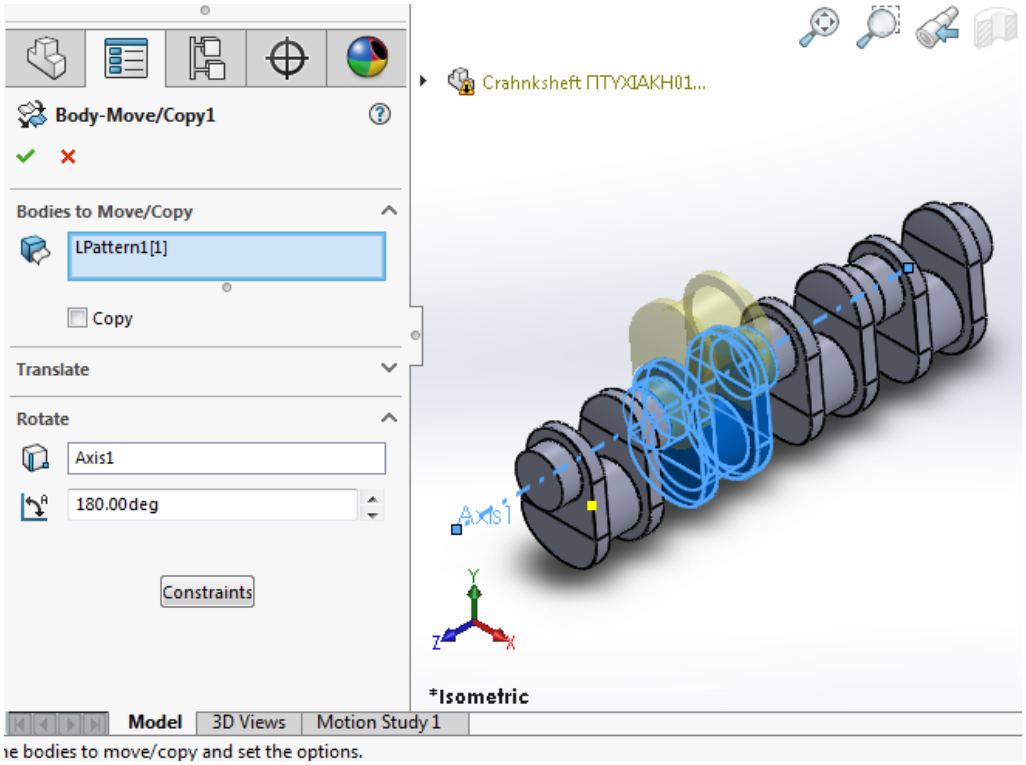
Σχήμα 10. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Fillet1, D1@Fillet2.



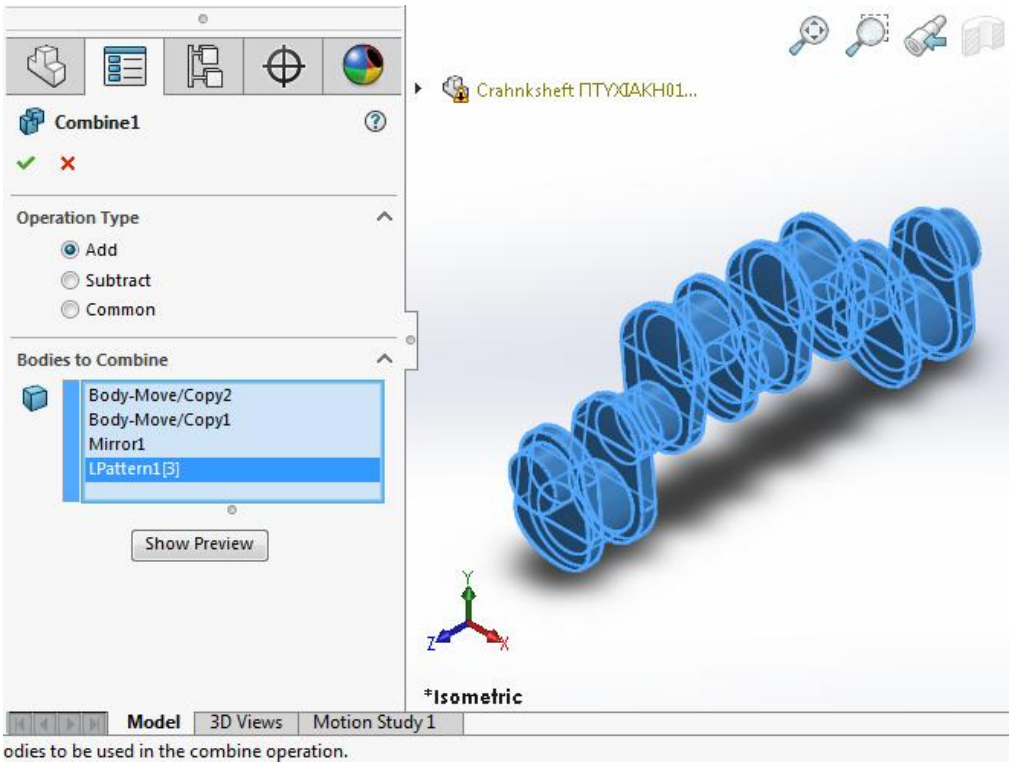
Σχήμα 11. Ορισμός εντολής Mirror1.



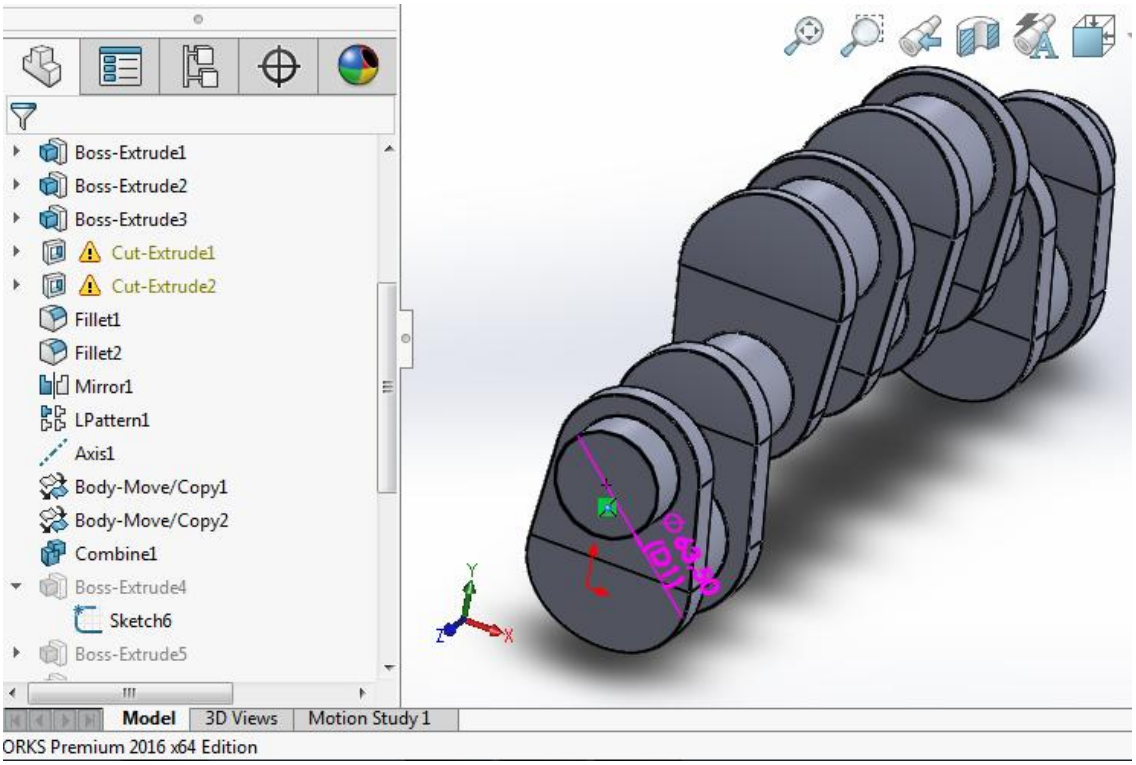
Σχήμα 12. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D3@LPattern1, D1@LPattern1.



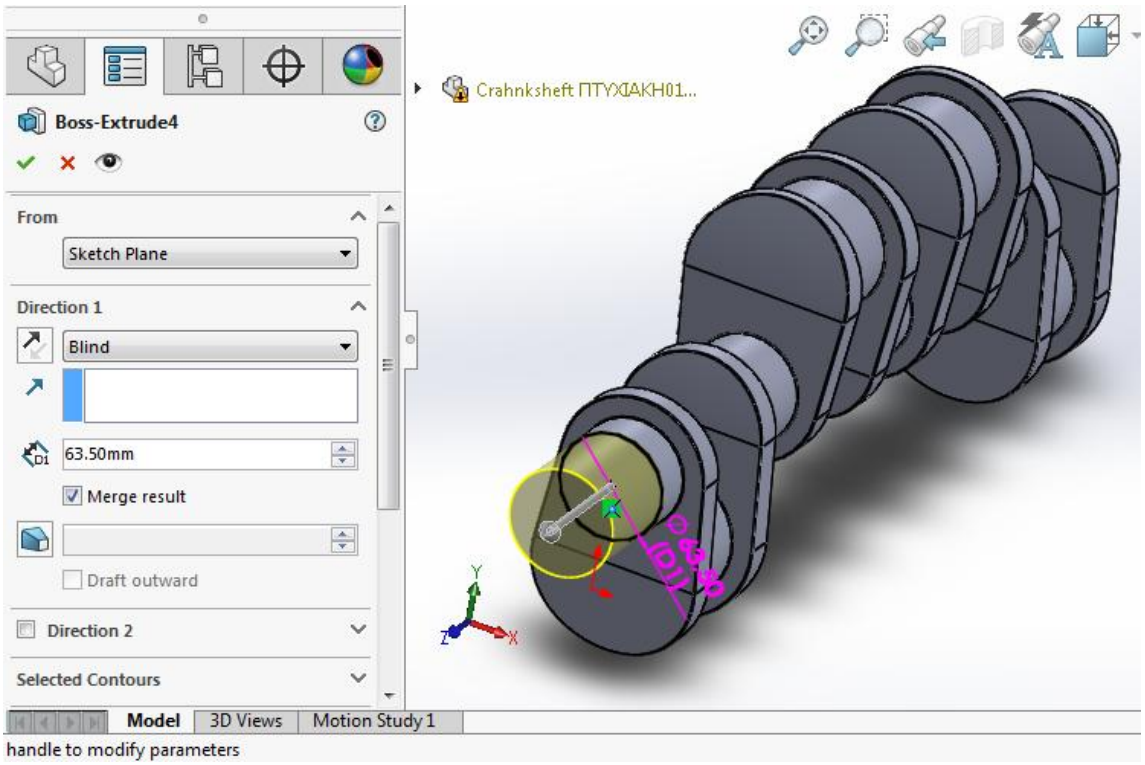
Σχήμα 13. Ορισμός εντολής Body-Move/Copy1, Body-Move/Copy2.



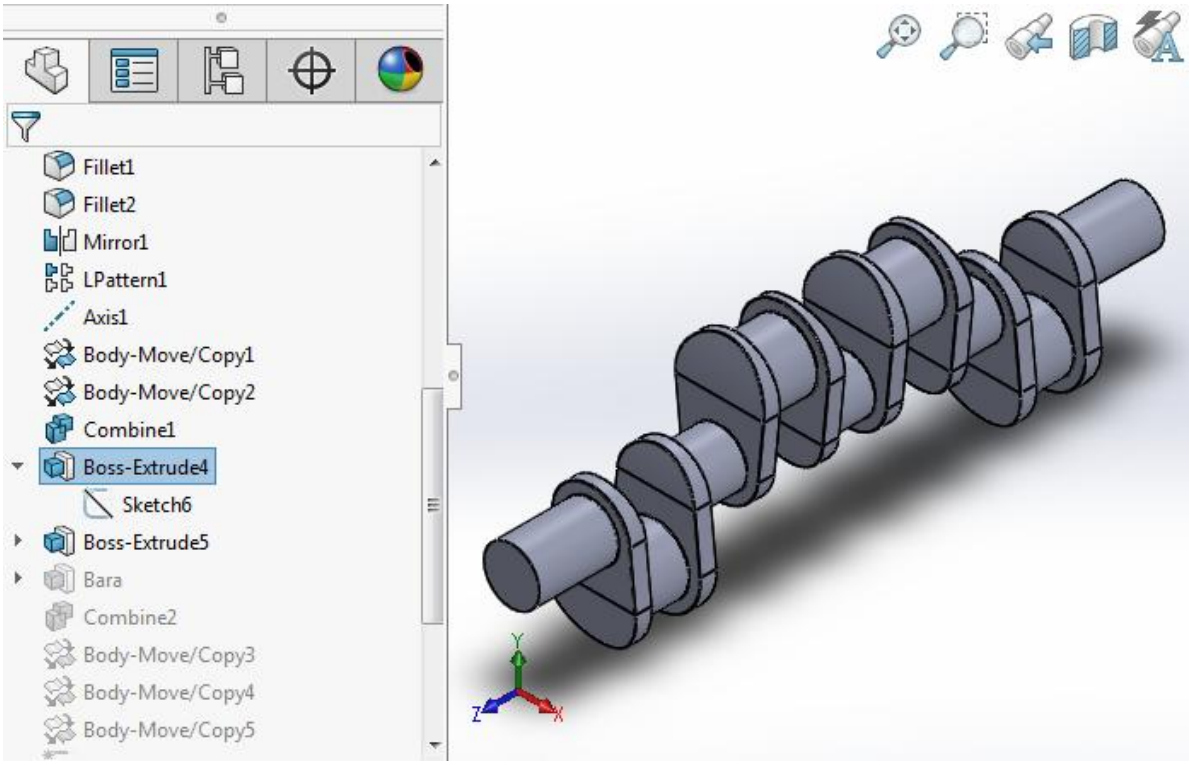
Σχήμα 14. Ορισμός εντολής Combine1.



Σχήμα 15. Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Sketch6, D1@Sketch7



Σχήμα16.Ορισμός και αρχική τιμή διαστασιακής παραμέτρου D1@Boss-Extrude4, D1@Boss-Extrude5



Σχήμα 17. Τελική μορφή τρισδιάστατου γεωμετρικού μοντέλου στροφαλοφόρου άξονα.

3.2ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

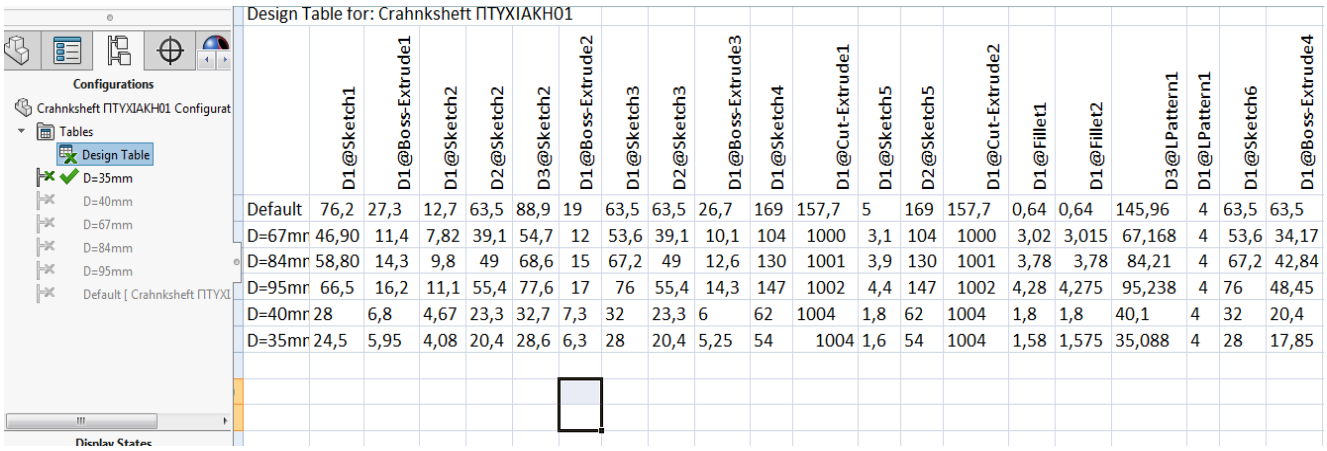
Από τη στιγμή που ορίστηκαν οι γεωμετρικοί παράμετροι που αφορούν την πλήρη γεωμετρία του στροφαλοφόρου άξονα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κατάλληλο τρόπο, ορίζοντας της μαθηματικές συσχετίσεις τους, με σκοπό την αυτόματη παραμετρική δημιουργία διαφορετικών γεωμετρικών μοντέλων στροφαλοφόρου άξονα. Στο λογισμικό Solidworks αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή Design Tables. Επικουρικά έχει δημιουργηθεί ένα φύλλο Excel, στο οποίο έχουν περαστεί οι γεωμετρικές μαθηματικές συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων, όπως αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (διαστάσεις στροφάλου). Μερικά παραδείγματα τιμών των γεωμετρικών παραμέτρων που ορίζουν την συνολική γεωμετρία στροφάλου για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στο Πίνακα 7. Ο υπολογισμός όλων των παραμέτρων βασίζεται στη δεδομένη τιμή της διαμέτρου κυλίνδρου του κινητήρα.

Παραμετρικός υπολογισμός περιπτώσεων στροφαλοφόρων αξόνων							
Παράμετρος	1	2	3	4	5	6	7
Διάμετρος Κυλίνδρου	108,9	67,0	84,0	95,0	50,0	30,0	114,3
D1@Sketch1	76,2	46,9	58,8	66,5	35,0	21,0	80,0
D1@Boss-Extrude1	27,3	11,4	14,3	16,2	8,5	5,1	19,4
D1@Sketch2	12,7	7,8	9,8	11,1	5,8	3,5	13,3
D2@Sketch2	63,5	39,1	49,0	55,4	29,2	17,5	66,7
D3@Sketch2	88,9	54,7	68,6	77,6	40,8	24,5	93,3
D1@Boss-Extrude2	19,0	12,1	15,2	17,2	9,1	5,4	20,7
D1@Sketch3	63,5	53,6	67,2	76,0	40,0	24,0	91,4
D2@Sketch3	63,5	39,1	49,0	55,4	29,2	17,5	66,7
D1@Boss-Extrude3	26,7	10,1	12,6	14,3	7,5	4,5	17,1
D1@Sketch4	169,0	104,0	130,4	147,5	77,6	46,6	177,4
D1@Cut-Extrude1	157,7	1000,0	1001,0	1002,0	1003,0	1003,0	1004,2
D1@Sketch5	5,0	3,1	3,9	4,4	2,3	1,4	5,2
D2@Sketch5	169,0	104,0	130,4	147,5	77,6	46,6	177,4
D1@Cut-Extrude2	157,7	1000,0	1001,0	1002,0	1003,0	1003,0	1004,2
D1@Fillet1	0,6	3,0	3,8	4,3	2,3	1,4	5,1
D1@Fillet2	0,6	3,0	3,8	4,3	2,3	1,4	5,1
D3@LPattern1	146,0	67,2	84,2	95,2	50,1	30,1	114,6
D1@LPattern1	4	4	4	4	4	4	4
D1@Sketch6	63,5	53,6	67,2	76,0	40,0	24,0	91,4

D1@Boss-Extrude4	63,5	34,2	42,8	48,5	25,5	15,3	58,3
D1@Boss-Extrude5	63,5	34,2	42,8	48,5	25,5	15,3	58,3
D1@Sketch7	63,5	53,6	67,2	76,0	40,0	24,0	91,4

Πίνακας 1.9. Παραμετρικός υπολογισμός γεωμετρίας διάφορων περιπτώσεων στροφαλοφόρων.

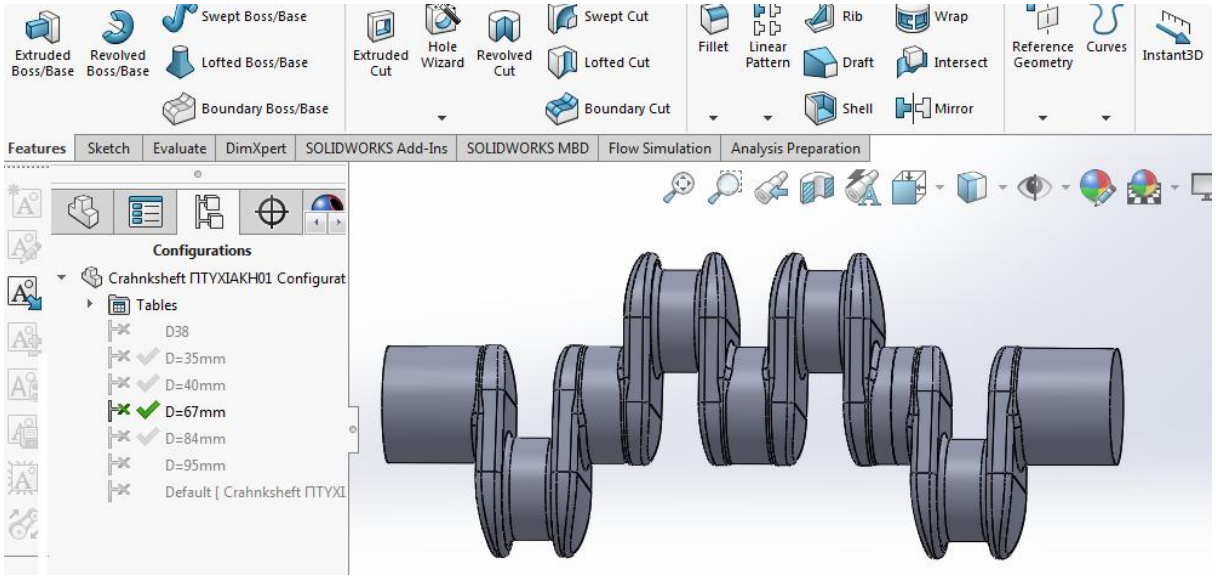
Οι τιμές των παραμέτρων της κάθε περίπτωσης εισάγονται στο τμήμα Design Tables του Solidworks όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα 18. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα γεωμετρικά μοντέλα των περιπτώσεων στροφαλοφόρων που έχουν μελετηθεί και έχει αποδειχθεί η αντοχή τους στα λειτουργικά φορτία, καθώς και της γεωμετρίας που πρόκειται να κατασκευαστεί.



	D1@Sketch1	D1@Boss-Extrude1	D1@Sketch2	D2@Sketch2	D3@Sketch2	D1@Boss-Extrude2	D1@Sketch3	D2@Sketch3	D1@Boss-Extrude3	D1@Sketch4	D1@Cut-Extrude1	D1@Sketch5	D2@Sketch5	D1@Cut-Extrude2	D1@Fillet1	D1@Fillet2	D3@LPattern1	D1@LPattern1	D1@Sketch6	D1@Boss-Extrude4
Default	76,2	27,3	12,7	63,5	88,9	19	63,5	63,5	26,7	169	157,7	5	169	157,7	0,64	0,64	145,96	4	63,5	63,5
D=67mr	46,90	11,4	7,82	39,1	54,7	12	53,6	39,1	10,1	104	1000	3,1	104	1000	3,02	3,015	67,168	4	53,6	34,17
D=84mr	58,80	14,3	9,8	49	68,6	15	67,2	49	12,6	130	1001	3,9	130	1001	3,78	3,78	84,21	4	67,2	42,84
D=95mr	66,5	16,2	11,1	55,4	77,6	17	76	55,4	14,3	147	1002	4,4	147	1002	4,28	4,275	95,238	4	76	48,45
D=40mr	28	6,8	4,67	23,3	32,7	7,3	32	23,3	6	62	1004	1,8	62	1004	1,8	1,8	40,1	4	32	20,4
D=35mr	24,5	5,95	4,08	20,4	28,6	6,3	28	20,4	5,25	54	1004	1,6	54	1004	1,58	1,575	35,088	4	28	17,85

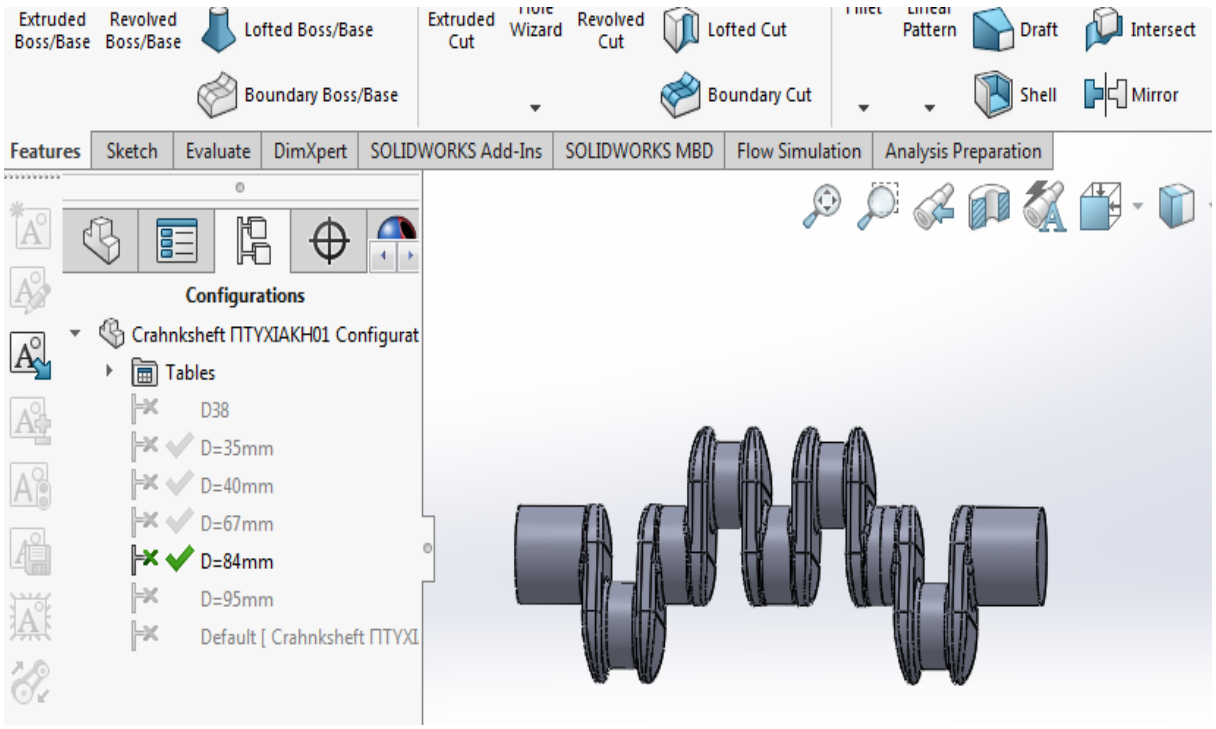
Σχήμα 18. Εισαγωγή παραμέτρων κάθε σχεδιαστικής επιλογής στο Design Tables του Solidworks.

3.2.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ (Διάμετρος κυλίνδρου 67mm-Ford Fiesta 1000 cm³)



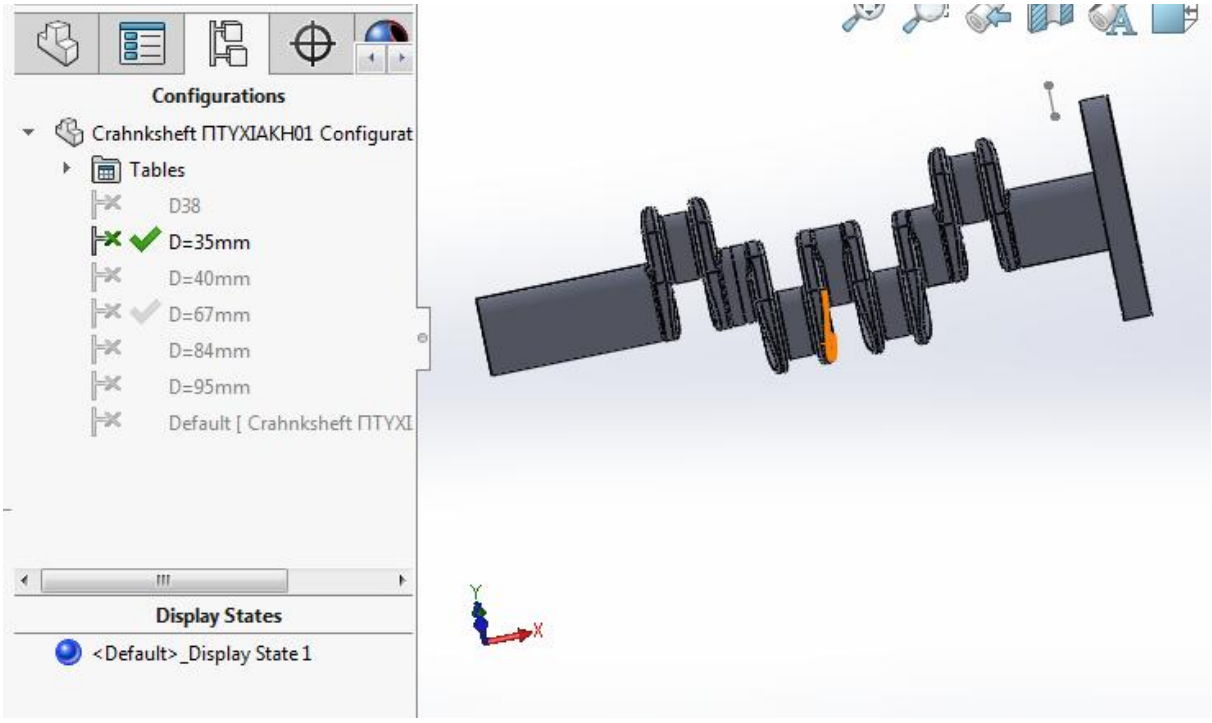
Σχήμα 19. Γεωμετρικό μοντέλο στροφαλοφόρου άξονα για διάμετρο κυλίνδρου **67mm** (Ford Fiesta 1000 cm³)

3.2.2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ (Διάμετρος κυλίνδρου 84mm Ford Mondeo 2000 cm³)



Σχήμα 20. Γεωμετρικό μοντέλο στροφαλοφόρου άξονα για διάμετρο κυλίνδρου **84mm** (Ford Mondeo 2000 cm³)

3.2.3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ (Διάμετρος κυλίνδρου 35mm το οποίο και θα κατασκευαστεί.

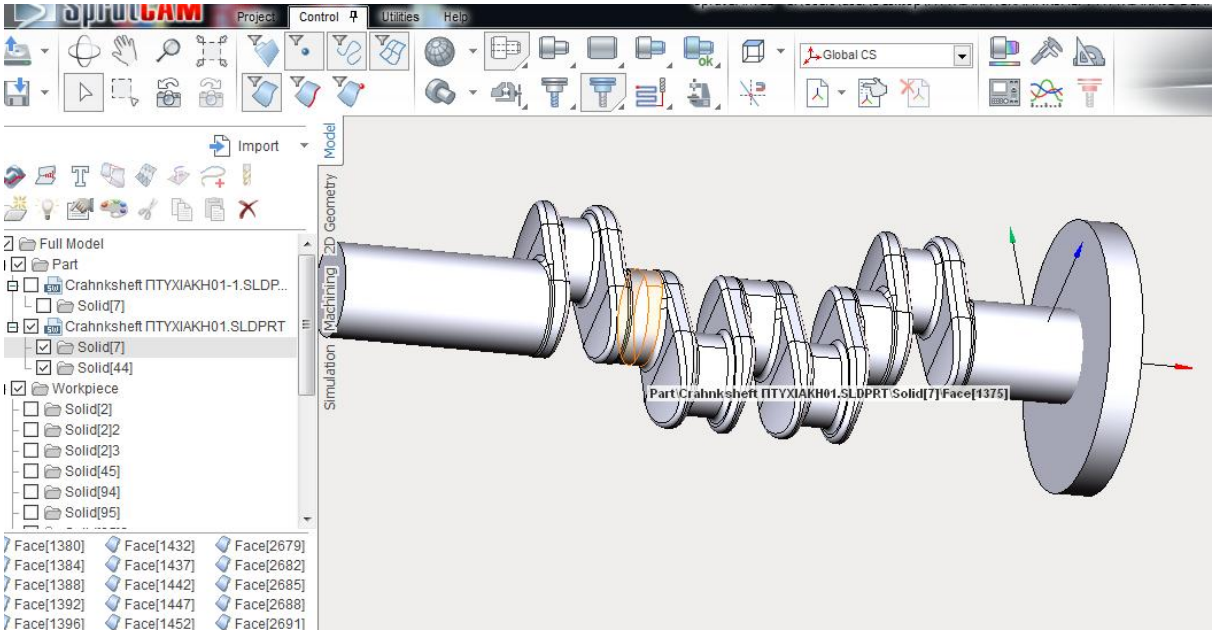


Σχήμα 21. Γεωμετρικό μοντέλο στροφαλοφόρου άξονα για διάμετρο κυλίνδρου 35mm, το οποίο θα κατασκευαστεί.

3.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Sprut CAM.

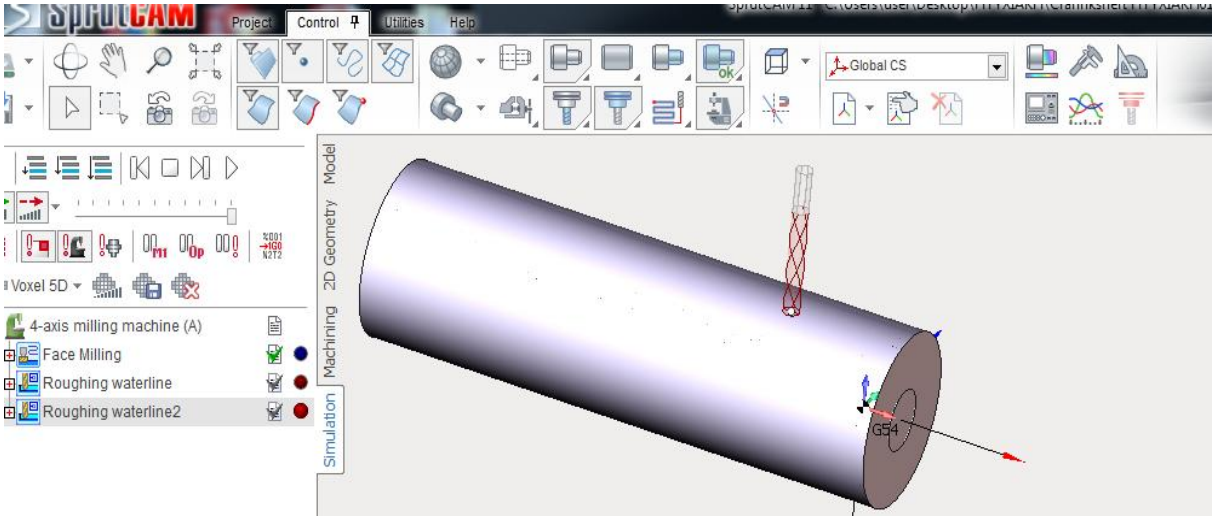
3.3.1. Εισαγωγή γεωμετρικού μοντέλου στο model του προγράμματος Sprut CAM

Από πρόγραμμα Solidworks, επιλέγεται το γεωμετρικό μοντέλο με διάμετρο κυλίνδρου D=35mm. εισαγάγεται στο πρόγραμμα Sprut CAM και με κατάλληλες παρεμβάσεις ετοιμάζεται το γεωμετρικό μοντέλο.

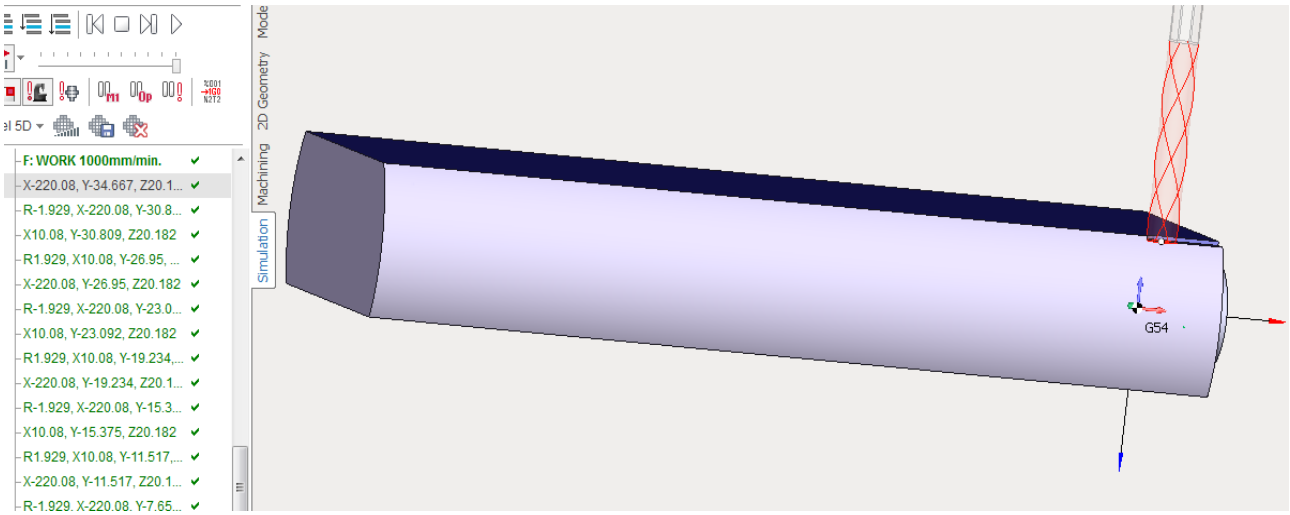


Σχήμα 22. Το γεωμετρικό μοντέλο του στροφαλοφόρου άξονα προς κατασκευή

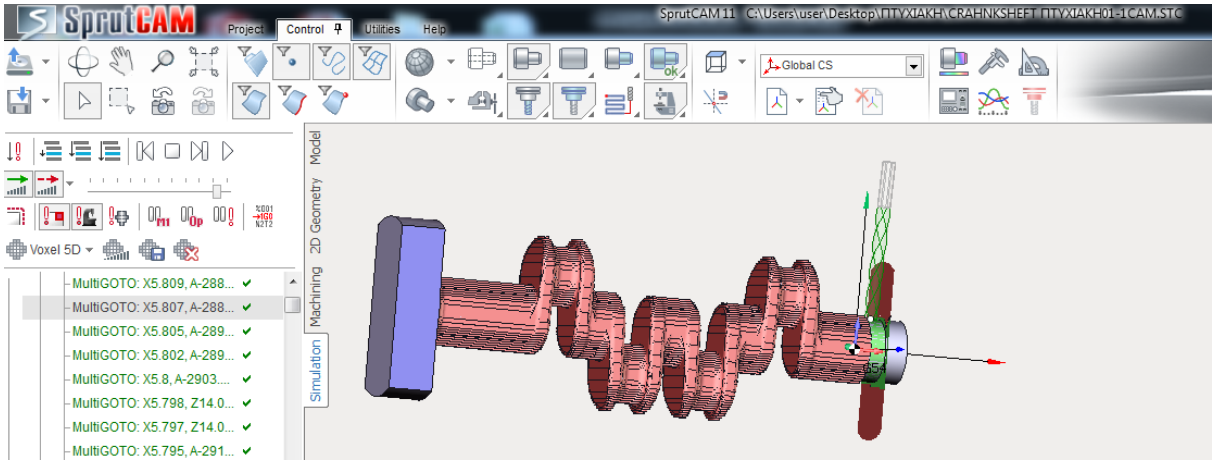
3.3.2. Επιμέρους βήματα που ακολουθούνται για να ολοκληρωθεί το γεωμετρικό μοντέλο



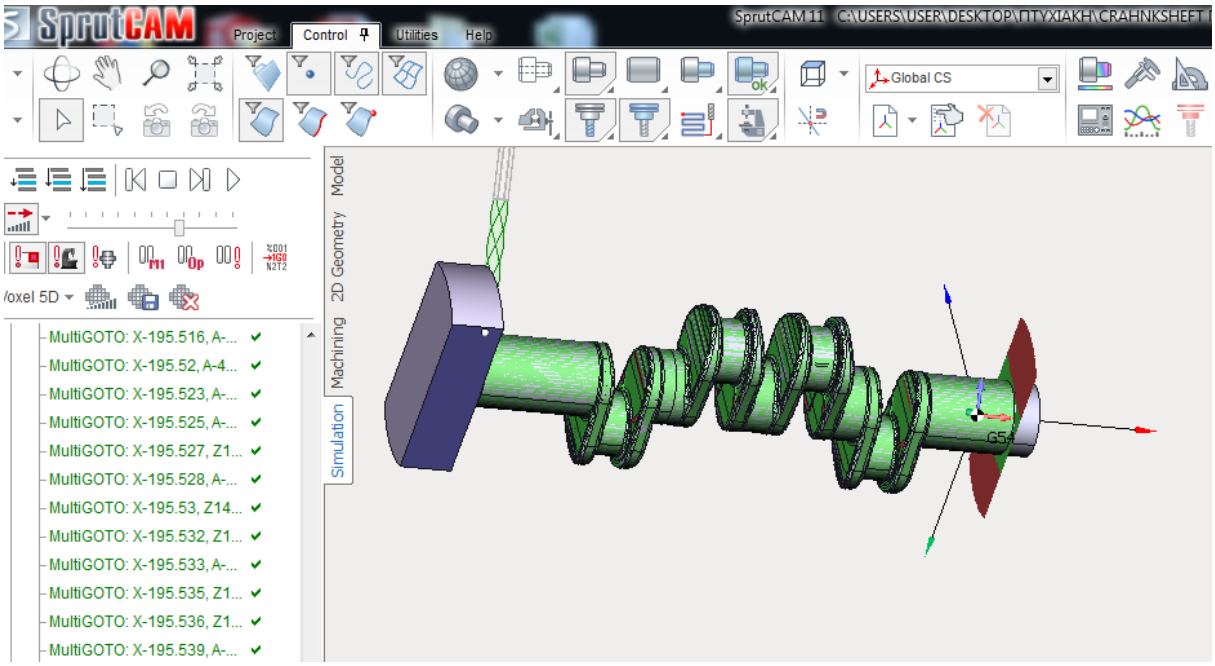
Σχήμα 23.Το αρχικό κυλινδρικό τεμάχιο προς κατεργασία



Σχήμα 24.Κατεργασία Face Millin



Σχήμα 25. Κατεργασία Roughing Waterline



Σχήμα 26. Κατεργασία Rotary machining

3.4. Εξαγωγή Κώδικα

Με την ολοκλήρωση του στροφαλοφόρου άξονα στο πρόγραμμα **Sprut CAM** προέκυψε η εξαγωγή του κώδικα : 0 Face tap 1 Roughing tap

2Roughing tap, 3 Roughing tap, 4Roughing tap,5finish tap.

(αναφέρονται ενδεικτικά: 0 Face tap, 5finish tap)

```
O0Face

( Postprocessor: MACH3 )
( Generated by SprutCAM )
( DATE: 19/6/2018 )
( TIME: 3:37:53 μμ )

(Tool) (2) (Diametr)(8.) (8mm EndMill) (Operation) (Face Milling)

N10 G90 G64 G50 G54 G80 G17 G40 G49
N20 G21 (Metric)
(Face Milling)
N30 M998
N40 T2 G43 H2 M6
(8mm EndMill)
N50 S2500 M3
N60 G0 G94 X14.764 Y-9.196 Z50.
N70 M98 P1
N80 X-224.8 Y32.51 A180.
N90 M98 P1
N100 M5
N110 M998
N120 M30
%

%
O001
N10 G0 X14.764 Y-9.196
N20 Z41.009
N30 G1 Z39.009 F1000
N40 X-220.063
N50 G2 X-220.063 Y-5.599 Z39.009 I0. J1.799
N60 G1 X10.069
```

Κώδικας Face tap

```
%
OFinish

( Postprocessor: MACH3 )
( Generated by SprutCAM )
( DATE: 19/6/2018 )
( TIME: 3:40:38 μμ )

(Tool) (1) (Diametr)(6.) (6mm Endmill) (Operation) (Rotary machining)

N10 G90 G64 G50 G54 G80 G17 G40 G49
N20 G21 (Metric)
(Rotary machining)
N30 M998
N40 T1 G43 H1 M6
(6mm Endmill)
N50 S2500 M3 M8
N60 G0 G94 X6.99 Y0. Z46.75 A-47.858
N70 Z14.994
N80 G1 Z13.994 F1000
N90  X6.989 Z14.01 A-50.625 F1478.45
N100 X6.987 A-56.25 F727.05
N110 X6.984 A-61.875 F727.04
N120 X6.98 A-73.125 F363.52
N130 X6.978 Z14.006 A-77.335 F971.55
N140 A-80.165 F1445.51
N150 X6.974 A-85.768 F730.11
N160 X6.973 Z14.01 A-90. F966.5
N170 X6.971 Z14.006 A-94.232 F966.5
N180 X6.97 A-97.018 F1468.34
N190 X6.968 Z14.01 A-101.25 F966.5
N200 X6.966 Z14.006 A-105.482 F966.5
N210 X6.965 A-108.268 F1468.34
N220 X6.963 Z14.01 A-112.5 F966.5
```

Κώδικας finish tap

3.5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ

Ο κώδικας που πρόκυψε θα εισαχτεί στην 4αξνική φρέζα CNC για να ολοκληρωθεί η κατασκευή του στροφαλοφόρου άξονα.

Σχήμα 27 Διαμόρφωση Face

Σχήμα 28 Διαμόρφωση των πρώτων κομβίων

Σχήμα 29 Διαμόρφωση των κομβίων

Σχήμα 30 Ολοκλήρωση του στροφαλοφόρου

4. ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετήθηκαν και υπολογίστηκαν τα υποεξέταση οχήματα, βρέθηκαν τα μεγέθη του κινηματικού μηχανισμού ο κυβισμό τους, η ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα, ο όγκος εμβολισμού και όλα τα χαρακτηριστικά των οχημάτων.

Υπολογίστηκαν οι διαστάσεις του στροφαλοφόρου , του εμβόλου , του διωστήρα και αφού αναπτύχθηκε η γεωμετρία και ορίστηκαν οι παράμετροι του στροφαλοφόρου άξονα στο πρόγραμμα Solidworks, προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά μοντέλα για διάμετρο κινητήρα 67mm, για διάμετρο κινητήρα 84mm και για διάμετρο κινητήρα 35 mm ο οποίος κατασκευάστηκε.

Η παραμετροποίηση των τιμών των διαμέτρων και των υπόλοιπων γεωμετρικών χαρακτηριστικών των στροφαλοφόρων αξόνων αυτού του τύπου κινητήρων αποτέλεσε τον πυρήνα της πτυχιακής εργασίας.

Επιλέχτηκε ως υλικό κατασκευής ο 36CrN2Mo επιχρωμιωμένος χάλυβας υψηλής αντοχής και υπολογίστηκε η αντοχή του στροφαλοφόρου άξονα σε καμπτική και στρεπτική καταπόνηση και διαπιστώθηκε ότι το υλικό αντέχει στις καταπονήσεις που δέχεται από την μέγιστη καμπτική τάση σ_{max} και από την μέγιστη στρεπτική τάση τ_{max}.

Επιλέχθηκε το γεωμετρικό μοντέλο με D =35mm, αναπτύχθηκε με χρήση της ως άνω παραμετρικής μεθόδου αυτόματα η τρισδιάστατη γεωμετρία, η οποία εισήχθη στο SprutCAM, εξήχθη ο κώδικας και κατασκευάστηκε ο στροφαλοφόρος άξονας στην 4αξονική φρέζα CNC..

Για τους κινητήρες που μελετήθηκαν, για κάποιες παραμέτρους πχ για την ισχύ, διαπιστώθηκε μικρή διαφορά από την αναγραφόμενης ονομαστικής τιμής των πινάκων του κατασκευαστή σε σχέση με την υπολογιστική τιμή που βρέθηκε.

- Κατασκευάστηκε ο στροφαλοφόρος άξονας σε 4αξονική φρέζα CNC, με γεωμετρικό μοντέλο με D =35mm που επιλέγει.
- Ο σκοπός της Διπλωματικής εργασίας επετεύχθη, καθώς και οι τεθέντες στόχοι.
- Δυνατά σημεία:
- Εύληκτο και λειτουργικό το πρόγραμμα sprut CAM.
- Η κατεργασία με τα κοπτικά εργαλεία (καρβιδίου) κρίνεται ικανοποιητική.

- ➢ Αδύνατα σημεία:
- Τα κοπτικά εργαλεία κοβαλτίου που χρησιμοποιήθηκαν κρίθηκαν ανεπαρκή στις συνθήκες κατεργασίας
- Αρκετός χρόνος της κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα.
- Περιορισμός της ταχύτητας του άξονα περιστροφής.
- Κατά την κατασκευή διαπιστώθηκε ότι το Al δεν ήταν καλής ποιότητας υλικό.
- Διαπιστώθηκε ότι ο 4ος άξονας κατά την περιστροφή του, έχανε ελάχιστα το βήμα.
- Η αυτοσχέδια πόντα παρουσίασε ελάχιστη απόκλιση(1°) από το κέντρο του τσόκ
- ✓ Προτείνεται να τοποθετηθεί στον 4ος άξονα μοιρογνωμόνιο, για ακρίβεια στην περιστροφή του.
- ✓ Μόνιμη λύση για την πόντα αντιστήριξης με απόλυτη ευθυγράμμιση.

Δετερερευόντας υπάρχουν μεθοδολογίες που στοχεύουν στην **βελτιστοποίηση** του στροφαλοφόρου άξονα αυξάνοντας την αντοχή τους.

α)Μέθοδος αύξησης της αντοχή του στροφαλοφόρου άξονα αποτελεί η **εναζώτωση.**

β) Μέθοδος επιμετάλλωσης του στροφαλοφόρου άξονα.

- Κοστολόγηση στροφαλοφόρου άξονα:

A	B	C	D	E	F	G	H
	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ						
A/A	Φάσεις κατεργασίας	Χρόνος κατεργασίας	Προσωπικό	Αναλώσιμα	Ηλεκρική Ενέργεια	Απόσβεση Παγίου	
1	Face A0°	3h 42min	Προγραματισμός CAM 380€	Κοπτκά εργαλεία 140€	22 €	Κόστος κτήσης 9000€	
2	Face A180°	3h 42min				Ετήσια απόσβεση	
3	Roughing A90° (1)	5h 8min	Σχεδίαση κ παραμετροποίηση	Υλικό κατεργασίας Al 120€		9000€ *10%=900€	
4	Roughing A90° (4)	1h 37min	γεωμετρικού μοντέλου 180 €	Ψυκτικό υγρό 12€		απόσβεση χρήσης	
5	Roughing -A90° (2)	4h 38min				9000€*1/12=750€	
6	Roughing -A90° (3)	1h 28min	Κατασκευή Στροφαλοφόρου				
7	finishing	18h 58min	240 €		Συνολικό κόστος	Συνολικό κόστος 750€	
		Συνολικός χρόνος Κατεργασίας	Συνολικό κόστος ανθρώπινου δυναμικού 800€	Συνολικό κόστος Αναλωσίμων 272€	Ηλεκρικής Ενέργειας 22 €		
		39h 23min					
		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ					
			D=800€+E= 272€ +F=22€+G=750€ = **1844€**				

Προοπτικές για περαιτέρω μελέτη:

Η περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα ανά μία μοίρα , υπολογίζοντας ένα από τα στοιχεία του κινηματικού μηχανισμού ,τον διωστήρα και πως συμπεριφέρονται οι δυνάμεις του σε κάθε μοίρα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας. Απαιτεί αρκετή χρονική ενδελεχή 'έρευνα που μόνο σε επίπεδο Διδακτορικής διατριβής μπορεί να υπάρξει.

Υπό αυτή την έννοια η παρούσα Διπλωματική εργασία αποτελεί την αφετηρία για το επόμενο βήμα σε αυτό το πεδίο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- ΠΗΓΕΣ

[1] Δρ. Φατσής Αντώνης 'Δυναμική Ανάλυση Εμβολοφόρων Μηχανών'

[2] Radoslav Plamenov Georgiev 'Desing a four-cylinder Intermal Comdustion Engline'

[3] Βαφειάδης Αναστάσιος 'Συστήματα καύσης σε βενζινοκινητήρες. Τμήμα Μηχ/γων Μηχ/κων ΑΤΕΙ Σερρών.

[4] Κατσίλης Γεώργιος 'Εσωτερικός χρονισμός τετράχρονης ΜΕΚ. Τμήμα Μηχ/γων Μηχ/κων ΑΤΕΙ Καβάλας.

[5] Τσιγέρας Δημήτριος 'Μελέτη σύγκρισης μηχανών OTTO-DIESEL'. Τμήμα Μηχ/γων Μηχ/κων ΑΤΕΙ Κρήτης.

[6] Ιωαννίδης Νικόλαος 'Δυναμική των μηχανών και μηχανισμών-Υπολογισμός κινητήρα'. Τμήμα Μηχανολόγων Πολυτεχνείου Πατρών.

[7] Montazersadgh, F. H., & Fatemi, A. (2007). *Dynamic load and stress analysis of a crankshaft* (No. 2007-01-0258). SAE Technical Paper.

[8] Solanki, A., Tamboli, K., & Zinjuwadia, M. J. (2011, May). Crankshaft design and optimization-A Review. In *National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology* (pp. 13-14)

[9] Thomas, James A., and David A. Coan. "Method of making a crankshaft." U.S. Patent No. 4,829,642. 16 May 1989.

[10] Κύρου Ιωάννης 'Περιγραφή στοιχείων ΜΕΚ' Τμήμα Μηχανικών Εμπορικού Ναυτικού.

Πηγές:

[11] Παπαγιάννης Κώστας Περιγραφή στροφαλοφόρου.

[12] Μουρζάκης Γιώργος Περιγραφή εμβόλου.

[13] Μέτης Χαράλαμπος 'Βελτίωση κινητήρων'

Ηλεκτρονικές πηγές:

https://sites.google.com/site/mekengines/home/archeiotheke