



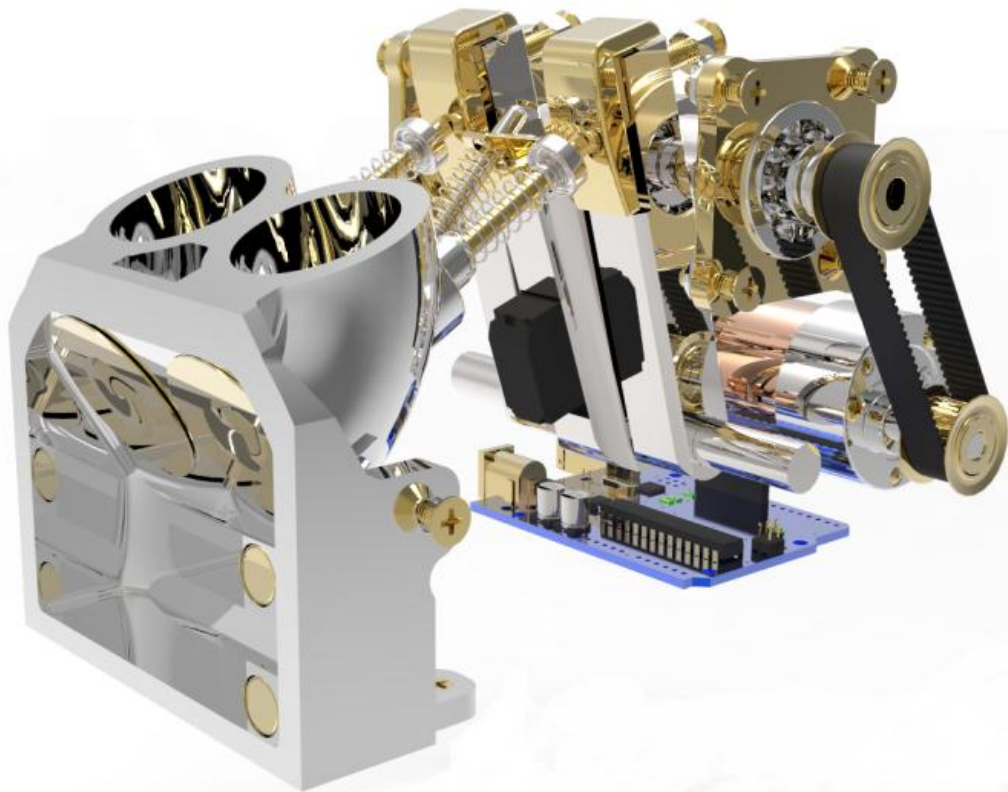
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή εργασία

Κατασκευή μοντέλου συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσης

Καλοειδής Γεώργιος

Επιβλέπουσα Μανιάτη Μισέλ



Ηράκλειο 2012

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Ιστορική αναδρομή Αυτοκινήτου.....	1
1.2 Εξέλιξη κινητήρα ΜΕΚ.....	2
2. Λειτουργία ΜΕΚ.....	6
2.1 Βασικός κινηματικός μηχανισμός μετατροπής παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική.....	6
2.1.1. Σώμα των κυλίνδρων (Μπλοκ).....	7
2.1.2. Τα έμβολα με τα εξαρτήματά τους.....	8
2.1.3 Διωστήρας (μπιέλα).....	10
2.1.4 Στροφαλοφόρος άξονας.....	11
2.1.5. Σφόνδυλος ή βολάν.....	11
2.2. Κυλινδροκεφαλή και κινηματικός μηχανισμός λειτουργίας βαλβίδων.....	12
2.2.1 Κυλινδροκεφαλή.....	13
2.2.2 Βασικό κινηματικό μηχανισμό λειτουργίας βαλβίδων.....	14
2.2.3 Εκκεντροφόρος άξονας.....	14
2.2.4 Βαλβίδες.....	16
2.2.5. Μετάδοση κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα.....	20
2.2.6 Θέσεις βαλβίδων.....	22
2.2.7 Μηχανισμός κίνησης βαλβίδων.....	24
3. Συστήματα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων.....	32
3.1 Βασικοί τύποι συστημάτων μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων.....	33
3.1.1 Ρυθμιζόμενος τεντωτήρας αλυσίδας (Vario cam).....	33
3.1.2 Σύστημα μεταβολής της κίνησης των βαλβίδων (Honda).....	34
3.1.3 Σύστημα μεταβολή προπορείας εκκεντροφόρου Vanos της BMW.....	35
3.1.4 Το σύστημα VVT-i της Toyota.....	36
3.1.5 VVTL-i: Η εξέλιξη του VVT-i.....	38
3.1.6 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού valvelift της Audi.....	39
3.1.7 Σύστημα Valvetronic της BMW.....	40
3.1.8 Ηλεκτρομαγνητική κίνηση των βαλβίδων.....	41
4 Κατασκευή.....	42
4.1 Λογισμικό Δημιουργίας Μοντέλων 3D CAD.....	42
4.2 Τρισδιάστατος εκτυπωτής.....	44
4.3 Λογισμικό τρισδιάστατου εκτυπωτή Catalyst® EX.....	46

4.4 Σχεδιασμός και κατασκευή εκκεντροφόρου άξονα.....	47
4.5 Σχεδιασμός και κατασκευή ζυγώθρου (κοκοράκι).....	52
4.6 Σχεδιασμός και κατασκευή κεντρικού ζυγώθρου (κοκοράκι)	54
4.7 Σχεδιασμός και κατασκευή βάσης εδράνων κύλισης εκκεντροφόρου άξονα.....	55
4.8 Σχεδιασμός και κατασκευή μηχανισμού εμπλοκής ζυγώθρων	57
4.9 Σχεδιασμός και κατασκευή μηχανισμού ρύθμισης διάκενου βαλβίδων	63
4.10 Σχεδιασμός και κατασκευή βάσης στήριξης.....	66
4.11 Σχεδιασμός και κατασκευή συστήματος μετάδοσης κίνησης	70
4.12 Σχεδιασμός και κατασκευή μοντέλου κυλινδροκεφαλής.....	75
4.13 Σχεδιασμός και κατασκευή βαλβίδων	79
4.14 Σχεδιασμός και κατασκευή ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου	84
4.15 Τελική συναρμολόγηση της κατασκευής.....	87
Συμπεράσματα	88
Βιβλιογραφία	88
Παράρτημα Α.....	89
Παράρτημα Β	91

1. Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρείται μια πρώτη προσέγγιση προς το σχεδιασμό συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων για κινητήρες εσωτερικής καύσης. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, αρχικά στο κεφ. 1 γίνεται ιστορική αναδρομή στην κατασκευή του αυτοκινήτου και στις τεχνολογίες που συνέβαλαν στην εξέλιξη του.

Στο κεφ.2 γίνεται μια λεπτομερή περιγραφή των μερών που απαρτίζουν έναν κινητήρα εσωτερική καύσης. Η ανάλυση των βασικών συστημάτων που ακολουθούνται από τη βιομηχανία συνοδεύεται από παραδείγματα για καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους.

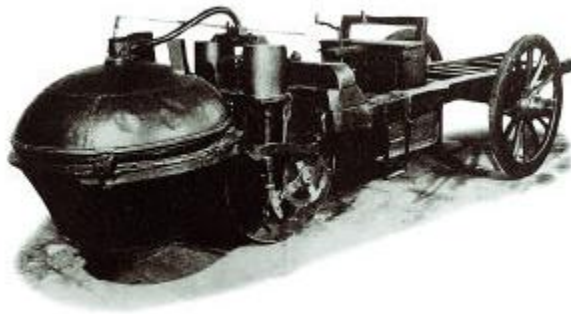
Στο κεφ.3 γίνεται αναφορά σε κάποια από τα γνωστότερα συστήματα μεταβλητού χρονισμού ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος που αυτά λειτουργούν και του διαφορετικού σε κάθε περίπτωση τρόπου ελέγχου τους.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται η μέθοδος σχεδιασμού για το κάθε εξάρτημα και η επιλογή των υλικών κατασκευής για την κάθε περίπτωση. Επίσης γίνεται σχεδίαση και κατασκευή του συστήματος του ηλεκτρονικού ελέγχου για να έχουμε την επιθυμητή στιγμή τον έλεγχο της εμπλοκή του συστήματος.

1.1 Ιστορική αναδρομή Αυτοκινήτου

Πριν από 5.500 χρόνια περίπου, έγινε σημαντική πρόοδος στην εξέλιξη του ανθρώπου με την ανακάλυψη του τροχού, και την χρήση του στις καθημερινές ασχολίες του. Ωστόσο, μετά την ανάπτυξη της γεωργίας, περίπου 12.000 χρόνια πριν, τη μέγιστη συμβολή στη διαμόρφωση του σημερινού τρόπου ζωής επηρέασαν δύο ανακαλύψεις το ηλεκτρικό φως και το αυτοκίνητο. Το ηλεκτρικό φως εξαφάνισε το όριο μεταξύ ημέρας και νύχτας, ενώ το αυτοκίνητο μεγάλωσε τα γεωγραφικά όρια και επέτρεψε τις, χωρίς περιορισμό, μετακινήσεις του ανθρώπου.

Μέχρι την εφεύρεση της ατμομηχανής, το 1712, το όνειρο για ένα μηχανοκίνητο μεταφορικό μέσο άνηκε στο χώρο της φαντασίας και μόνο. Από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα λέγεται, ότι η ατμομηχανή είχε χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός τέτοιου οχήματος, αλλά τα οχήματα αυτά ήταν ογκώδη, δύσχρηστα και βραδυκίνητα. Το 1769 ο Γάλος Νικολά Κινιό (Nicholas cugnot, αξιωματικός του μηχανικού) κατασκεύασε το πρώτο ατμοκίνητο όχημα που κινήθηκε με δική του ισχύ (εικόνα 1)



Εικόνα 1. Το αυτοκίνητο όχημα του Κινιό (1769)

Το όχημα αυτό ήταν ένα τρίκυκλο με ένα τεράστιο καζάνι εμπρός από τον εμπρόσθιο τροχό του. Εξαιτίας του βάρους του, η οδήγηση ήταν πολύ δύσκολη, ενώ η ταχύτητα του έφτανε τα 3 χλμ. ανά ώρα. Επιπλέον, ακόμη και στις πιο εξελιγμένες μορφές τους, που παρουσιάστηκαν πολύ αργότερα, χρειαζόταν πολύς χρόνος ώσπου να θερμανθεί και να βράσει το νερό, ώστε να μπορέσει να κινηθεί ένα τέτοιο όχημα. Συνέπεια όλων αυτών ήταν να μην υπάρξει καμία ουσιαστική εξέλιξη στο είδος αυτών των οχημάτων.

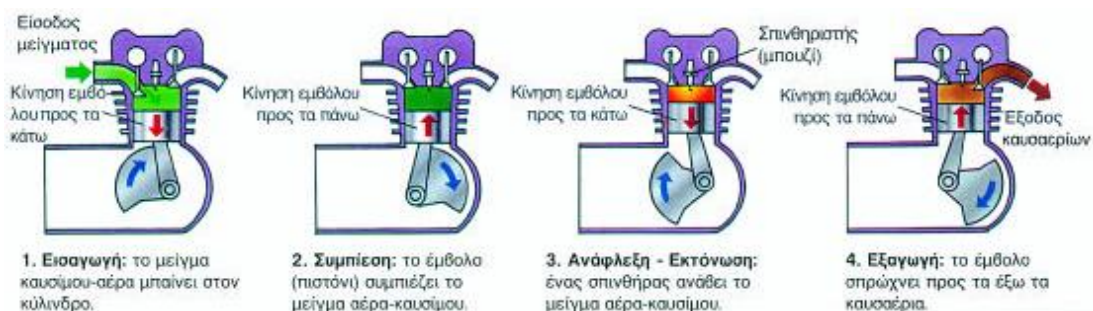
1.2 Εξέλιξη κινητήρα ΜΕΚ

Επί ενάμιση αιώνα, οι ατμομηχανές παρήγαγαν τον ατμό έξω από το σύστημα, στο οποίο έδιναν κίνηση. Ο ατμός που σχηματιζόταν από τη θέρμανση του νερού εισερχόταν σε έναν κύλινδρο και κινούσε ένα έμβολο. Μήπως, όμως, θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί ένα μίγμα εύφλεκτων ατμών και αέρα, το οποίο να πυροδοτηθεί και να καεί πολύ γρήγορα μέσα στον κύλινδρο, οπότε τότε, η ισχύς αυτής της εσωτερικής καύσης θα κινούσε απευθείας και άρα καλύτερα το έμβολο. Εάν μάλιστα η καύσιμη ύλη ήταν αέριο ή ένα υγρό που να εξατμίζεται εύκολα τα αποτελέσματα θα ήταν εντυπωσιακά. Αν, λοιπόν κατασκευαζόταν μια τέτοια **μηχανή εσωτερικής καύσης**, θα ήταν πολύ μικρότερη από μία ατμομηχανή και, επομένως, θα ήταν πολύ πιο εύκολο να κινηθεί. Ένα μίγμα αέρα και εύφλεκτων ατμών μπορεί να εκραγεί με μία σπίθα, ενώ στην περίπτωση της ατμομηχανής εξωτερικής καύσης ο βρασμός του νερού με φωτιά είναι μια αργή διεργασία.

Η εμφάνιση των μηχανών εσωτερικής καύσης, και ιδιαίτερα του τετράχρονου κινητήρα, προσέφερε πολύ περισσότερες ελπίδες. Εκείνο που χρειαζόταν τώρα, ήταν μία κατάλληλη καύσιμη ύλη, που δεν ήταν άλλη από την βενζίνη, ένα δηλαδή προϊόν της κλασματικής απόσταξης του πετρελαίου που είχε μικρά μόρια, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται και να αναφλέγεται εύκολα.

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης που λειτουργούσε ικανοποιητικά κατασκευάστηκε από τον Ζαν-Ζοζέφ-Ετιέν Λενουάρ (Jean-Joseph-Etienne Lenoir, 1822-1900), έναν Γάλλο εφευρέτη γεννημένο στο Βέλγιο. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιούσε ως καύσιμο ένα μίγμα από κάρβουνο, φωταέριο και αέρα. Το 1860, ο Λενουάρ τοποθέτησε μια τέτοια μηχανή σε ένα μικρό όχημα και έτσι δημιούργησε μια "άμαξα χωρίς άλογα". Υπήρχαν ήδη τέτοιες άμαξες που κινούνταν με ατμό, αλλά το όχημα του Λενουάρ ήταν πιο μικρό και είχε καλύτερη οδική συμπεριφορά.

Εν τούτοις, η μηχανή εσωτερικής καύσης του Λενουάρ είχε πολύ χαμηλή απόδοση. Ο Αυστριακός Ζίγκφριντ Μάρκουσ (Siegfried Marcus) έκανε πειράματα με μηχανές που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο τη βενζίνη. Ο Μάρκουσ τοποθέτησε μια τέτοια μηχανή πάνω σε μια χειράμαξα το 1864 και η κατασκευή αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί ως το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο. Η πρώτη, όμως, μηχανή με βενζίνη που ήταν αρκετά αποδοτική ώστε να διαδοθεί ευρέως, θα κατασκευαζόταν την επόμενη δεκαετία. Ο Γερμανός μηχανικός Νικολάους Ά- ουγκουστ Όττο (Nikolaus August Otto, 1832-1891) κατασκεύασε μια τροποποιημένη μορφή του κινητήρα, στην οποία το έμβολο πραγματοποιούσε τέσσερις κινήσεις σε μία πλήρη περιστροφή.



Εικόνα 2. Κύκλος λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Έτσι, καθώς το έμβολο κινούνταν προς τα κάτω (πρώτος χρόνος), αναρροφούσε μέσα στον κύλινδρο ένα μίγμα αέρα και εύφλεκτων ατμών. Κατόπιν, το έμβολο κινούνταν προς τα επάνω συμπιέζοντας το μίγμα αυτό (δεύτερος χρόνος). Όταν η συμπίεση έφθανε στη μέγιστη τιμή της, ένας σπινθήρας προκαλούσε την ανάφλεξη του μίγματος, ενώ η πίεση των αερίων που δημιουργούνταν από την ανάφλεξη ωθούσε το έμβολο προς τα κάτω (τρίτος χρόνος), με αποτέλεσμα την παραγωγή έργου και την μετατροπή του σε κίνηση. Όταν το έμβολο κινούνταν ξανά προς τα επάνω (τέταρτος χρόνος), ωθούσε τα αέρια προϊόντα της καύσης (καυσαέρια) έξω από τον κύλινδρο. Στη συνέχεια ο κύκλος επαναλαμβανόταν από την αρχή.

Ο Όττο κατασκεύασε μια τέτοια τετράχρονη μηχανή το 1876: με βελτιωμένη αλλά όχι ικανοποιητική απόδοση. Ο κινητήρας Όττο, όπως ονομάστηκε, αποτελούσε μια τεράστια βελτίωση σε σχέση με τη μηχανή του Λενουάρ και γρήγορα διαδόθηκε η χρήση του. Η σχεδίαση και η φιλοσοφία του κινητήρα αυτού αποτέλεσαν τη βάση των σημερινών εξελιγμένων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Λίγα χρόνια αργότερα, στις αρχές του 1885, ο Γερμανός μηχανολόγος-μηχανικός Καρλ Φρίντριχ Μπεντς (Carl Friedrich Benz, 1844-1929) κατασκεύασε, τον πρώτο πραγματικά αποδοτικό βενζινοκινητήρα εσωτερικής καύσης, τον οποίο τοποθέτησε σε ένα όχημα δικής του κατασκευής.

Το όχημα αυτό του Μπεντς, (Σχήμα 1.2), ήταν το πρώτο εύχρηστο αυτοκίνητο με βενζινοκίνητη μηχανή εσωτερικής καύσης και είχε τρεις τροχούς, όμοιους με εκείνους του ποδηλάτου (δύο μεγάλους πίσω και έναν μικρότερο εμπρός), ενώ ανέπτυξε ανώτατη ταχύτητα 15 χιλιομέτρων την ώρα και αποτέλεσε τον προάγγελο των μετέπειτα εξελίξεων.



Εικόνα 3. Το τρίτροχο αυτοκίνητο του Μπεντς

Το όχημα αυτό ήταν επίσης εφοδιασμένο με έναν οριζόντιο υδρόψυκτο μονοκύλινδρο κινητήρα, τοποθετημένο επάνω από τον οπίσθιο άξονα. Ο κυλινδρισμός του κινητήρα ήταν 984 cm^3 , και απέδιδε 0,9 hp ή 0,7 kW στις 400 στροφές ανά λεπτό και το συνολικό βάρος του οχήματος αυτού ήταν 313 κιλά.

Ας σημειωθεί, πάντως, ότι η εκκίνηση του κινητήρα των αυτοκινήτων γινόταν ακόμη και μέχρι το 1911, με έναν χειροστρόφαλο (μανιβέλα) που εισαγόταν στο πρόσθιο μέρος του αυτοκινήτου και περιστρέφει τον ρότορα. Η περιστροφή αυτή, βέβαια χρειαζόταν μεγάλη προσπάθεια. Επί πλέον, όταν άρχιζε να λειτουργεί ο κινητήρας, ο χειροστρόφαλος περιστρεφόταν με μεγάλη ταχύτητα και υπήρχε κίνδυνος να προκαλέσει κατάγματα στα χέρια του ανθρώπου που τον χειριζόταν. Το 1911, ο Αμερικανός εφευρέτης Τσαρλς Φράνκλιν Κέττερινγκ (Charles Franklin Kettering, 1876-1958) επινόησε έναν ηλεκτρικό εκκινητήρα (μίζα) που έθετε σε κίνηση τη μηχανή με το γύρισμα ενός κλειδιού και την ταυτόχρονη παροχή ρεύματος. Τον εκκινητήρα αυτόν πρωτοχρησιμοποίησε η αυτοκινητοβιομηχανία Κάντιλακ, (Cadillac) το 1912, και γρήγορα τον υιοθέτησαν και άλλοι κατασκευαστές. Εφόσον λύθηκε το πρόβλημα του χειροστροφάου, ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι μπορούσαν να θέσουν σε κίνηση και να οδηγήσουν ένα αυτοκίνητο, με αποτέλεσμα να εξαπλωθεί ραγδαία η χρήση του.

Γενικά, τα πρώτα αυτοκίνητα είχαν κινητήρες με μικρές ιπποδυνάμεις και χαμηλές στροφές, ενώ η κατασκευή και οι ανέσεις τους έδειχναν την άμεση καταγωγή τους από τις ιππήλατες άμαξες. Βέβαια, την ίδια εποχή τα αυτοκίνητα αγώνων είχαν σημαντικά καλύτερες επιδόσεις κάτι που συμβαίνει, εξάλλου, και σήμερα ενώ, επίσης, καλύτερες επιδόσεις είχαν και ορισμένα ακριβά αυτοκίνητα, στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται ένα τέτοιο αγωνιστικό αυτοκίνητο, και ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα επιδόσεων της εποχής.



Εικόνα 4. Bugatti Type 35

Το Type 35 της Bugatti κατασκευάστηκε το 1926 για αγωνιστική χρήση, Ο κινητήρας του ήταν 2262 cm^3 και η ιπποδύναμη του έφτανε στο εξωπραγματικό για την εποχή νούμερο των 130 hp ή 96 kW που αποδιδόταν στις 5000 στροφές ανά λεπτό. Όπως είναι αναμενόμενο για το είδος της κατασκευής το βάρος του ήταν 802 kg.



Εικόνα 5. Ford Model T

Το Model T κατασκευάστηκε από την Ford motor company στο Ντιτρόιτ το 1909. Ο κυλινδρισμός του ήταν 2896 cm^3 με ιπποδύναμη 20 hp ή 15 kW που αποδιδόταν στις 1600 στροφές ανά λεπτό και το βάρος του ανερχόταν στα 660 kg. Η εταιρεία Ford έφερε την επαναστατική καινοτομία στον τρόπο παραγωγής με το μοντέλο Model T το οποίο καθιέρωσε για πρώτη φορά στην ιστορία της παγκόσμιας αυτοκίνησης την μαζική παραγωγή.

2. Λειτουργία ΜΕΚ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέρη που αποτελούν μια μηχανή εσωτερική καύσης. Το κάθε εξάρτημα αναλύεται ξεχωριστά αλλά και σε ομάδες που αυτά λειτουργούν σε διάφορες διατάξεις. Επίσης γίνεται αναφορά στην θεωρητική λειτουργία τους.

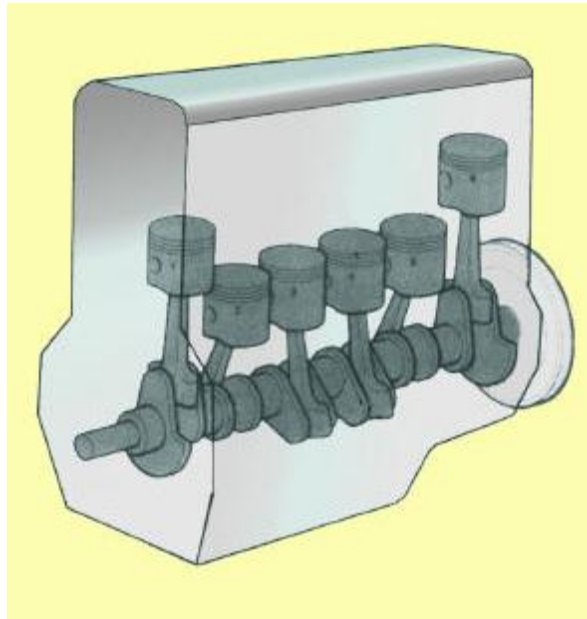
2.1 Βασικός κινηματικός μηχανισμός μετατροπής παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική

Ο βασικός κινηματικός μηχανισμός εμβόλου - διωστήρα - στροφάλου αναφέρεται και ως σύστημα παραγωγής ευθύγραμμης- παλινδρομικής κίνησης στους εμβολοφόρους κινητήρες. Το σύστημα αυτό αποτελείται από το βασικό κινηματικό μηχανισμό του εμβόλου που με τον διωστήρα και τον στροφαλοφόρο άξονα παράγουν την κίνηση και την μετατρέπουν, όπως αναφέρθηκε, από ευθύγραμμη παλινδρομική σε περιστροφική.

Τα κυρία μέρη ενός τέτοιου συστήματος, είναι τα ακόλουθα:

- Το σώμα των κυλίνδρων (Μπλοκ ή κορμός).
- Τα έμβολα με τα εξαρτήματα τους.
- Οι διωστήρες (Μπιέλες).
- Ο στροφαλοφόρος άξονας.
- Ο σφόνδυλος (Βολάν)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μία σχηματική διάταξη των πέντε αυτών βασικών τμημάτων, καθώς και ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους, ώστε κατά τη λειτουργία τους να παράγεται κίνηση και να μετατρέπεται από ευθύγραμμη παλινδρομική σε περιστροφική, όπως πιο πάνω αναφέρθηκε.



Εικόνα 6. Σχηματική διάταξη βασικού κινηματικού μηχανισμού εμβόλου – διωστήρα – στροφαλοφόρου άξονα

2.1.1. Σώμα των κυλίνδρων (Μπλοκ)

Σώμα των κυλίνδρων, ή κορμός, ή μπλοκ κινητήρα, ονομάζεται γενικά, ο σκελετός του κινητήρα, όπου διαμορφώνονται οι κύλινδροι και στερεώνονται όλοι οι άλλοι μηχανισμοί του.



Εικόνα 7. Κορμός τετρακύλινδρου εν σειρά κινητήρα. Επίσης, διακρίνονται τα υδροχιτόνια των κυλίνδρων που αποτελούν ανεξάρτητο κομμάτι σε κινητήρες με αλουμινένιο κορμό

Το επί μέρους αυτό σύστημα είναι μία πολύπλοκη, σχετικά, κατασκευή, που περιλαμβάνει εκτός από τους κυλίνδρους, και τους θαλάμους κυκλοφορίας του νερού (υδροχιτώνια), τις βάσεις για τη στήριξη του στροφαλοφόρου άξονα και του εκκεντροφόρου (αν αυτός είναι στα πλάγια), ένα τμήμα των αγωγών κυκλοφορίας του λαδιού, το χώρο για τα γρανάζια χρονισμού, τις βάσεις για τη στήριξη του καπακιού της ελαιολεκάνης και της αντλίας λαδιού, κλπ.

Το σχήμα του σώματος των κυλίνδρων εξαρτάται από τη διάταξη των κυλίνδρων και το σύστημα ψύξης.

Αν είναι αερόψυκτος ο κινητήρας, τότε εξωτερικά οι κύλινδροι έχουν πολλές σειρές από πτερύγια που αυξάνουν την επιφάνειά τους προσδίδοντάς τους αεροδυναμικό χαρακτήρα, για καλύτερη ψύξη.

Αν ο κινητήρας είναι υδρόψυκτος, σχηματίζονται στο εσωτερικό του, οι θάλαμοι κυκλοφορίας του νερού.

2.1.2. Τα έμβολα με τα εξαρτήματά τους

Το έμβολο είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του κινητήρα. Εκτίθεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται από την καύση του καυσίμου, και αυτό γιατί τα αέρια καύσης εξασκούν μεγάλες πιέσεις στην επιφάνεια του εμβόλου και έτσι μετατρέπεται μέρος της θερμικής ενέργειας σε μηχανική, η οποία μεταφέρεται από το διωστήρα (μπιέλα) στο στροφαλοφόρο άξονα.

Επίσης, το έμβολο είναι αυτό που δημιουργεί την απαραίτητη υποπίεση για την εισαγωγή του μίγματος στο θάλαμο καύσης και απωθεί τα καυσαέρια για να καθαρίσει ο κύλινδρος.

Έτσι, το έμβολο εργάζεται κάτω από πολύ δύσκολες συνθήκες. Συγκεκριμένα, η κεφαλή του είναι εκτεθειμένη σε θερμοκρασίες που φτάνουν συνήθως από 2.000 °C έως 2.500 °C και δέχεται μεγάλες καταπονήσεις. Γι αυτό, πρέπει η κατασκευή του αλλά και το υλικό της κατασκευής τους να έχουν ανάλογη αντοχή και αξιοπιστία.

Μέρη εμβόλου

A. Τα βασικά μέρη του εμβόλου, όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα, είναι:

α) Η κεφαλή. Το σχήμα της μπορεί να είναι επίπεδο αλλά και άλλης μορφής, όπως σφαιρικό, ημισφαιρικό, με διαμορφωμένο πάνω σ' αυτήν το θάλαμο καύσης κλπ.

β) Η ζώνη των ελατηρίων. Στην ζώνη των ελατηρίων υπάρχουν οι αυλακώσεις - οδηγοί για την τοποθέτηση των ελατηρίων συμπίεσης και λαδιού.

γ) Τα έδρανα του πείρου. Στα σημεία αυτά στερεώνεται ο πείρος που συνδέει το έμβολο με τη μπιέλα.

δ) Η ποδιά του εμβόλου.



Εικόνα 8. Έμβολο με τα ελατήρια συμπίεσης και λαδιού

B. Τα επί μέρους τμήματα του εμβόλου είναι:

α) Ελατήρια εμβόλου

Τα έμβολα πρέπει να εφαρμόζουν στεγανά στο εσωτερικό του κυλίνδρου, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να διαφύγουν τα αέρια της καύσης προς τον στροφαλοθάλαμο ή αντίστροφα το λάδι λίπανσης να περάσει στο θάλαμο καύσης. Για το σκοπό αυτό, στις αυλακώσεις - οδηγούς του εμβόλου εφαρμόζονται ειδικά ελατήρια που εξασφαλίζουν πλήρη στεγανότητα στο χώρο του κυλίνδρου.

β) Πείρος εμβόλου

Ο πείρος του εμβόλου έχει προορισμό να συνδέει το έμβολο με την μπιέλα. Είναι ένα σωληνωτό εξάρτημα με κυλινδρικό σχήμα, για να έχει τη μεγαλύτερη αντοχή με το μικρότερο δυνατό βάρος. Ο πείρος καταπονείται πολύ, γιατί μεταφέρει όλες τις δυνάμεις από το έμβολο στη μπιέλα, ιδιαίτερα στη φάση της εκτόνωσης και της συμπίεσης.

2.1.3 Διωστήρας (μπιέλα)

Ο προορισμός της μπιέλας είναι να μεταφέρει την κινητική ενέργεια του εμβόλου στο στροφαλοφόρο άξονα, αλλά και αντίστροφα. να μεταφέρει δηλ. τη δύναμη που χρειάζεται το έμβολο από τον στροφαλοφόρο, ιδιαίτερα στη φάση της συμπίεσης και λιγότερο κατά τη φάση της εξαγωγής και της εισαγωγής.



Εικόνα 9. Διωστήρας (Μπιέλα)

Στις παραπάνω τρεις φάσεις - εκτόνωση, συμπίεση, εξαγωγή - η μπιέλα καταπονείται σε θλίψη και λυγισμό, ενώ στην φάση της εισαγωγής σε εφελκυσμό.

2.1.4 Στροφαλοφόρος άξονας

Ο προορισμός του στροφαλοφόρου άξονα είναι να μετατρέπει, με τη βοήθεια του στροφάλου, την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική.



Εικόνα 10. Στροφαλοφόρος άξονας. Διακρίνεται επίσης στο αριστερό μέρος το γρανάζι που μεταδίδει κίνηση στον εκκεντροφόρο άξονα

Ο στροφαλοφόρος άξονας στους περισσότερους κινητήρες είναι ενιαίος και κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα για μεγαλύτερη αντοχή.

Τα κυριότερα μέρη ενός στροφαλοφόρου άξονα είναι τα εξής

- Τα κομβία βάσης
- Τα κομβία μπιελών
- Οι βραχίονες ή κιθάρες
- Οι αγωγοί λαδιού
- Τα αντίβαρα

2.1.5. Σφόνδυλος ή βολάν

Ο σφόνδυλος ή το βολάν είναι ένας αρκετά βαρύς μεταλλικός δίσκος, που αποθηκεύει ενέργεια από τον ωφέλιμο χρόνο της εκτόνωσης και στη συνέχεια την αποδεσμεύει για να πραγματοποιηθούν οι υπόλοιποι τρεις παθητικοί χρόνοι, (η εισαγωγή, η συμπίεση και η εξαγωγή).

Το βολάν, εξαιτίας της σχετικά μεγάλης μάζας του, όταν αρχίζει να περιστρέφεται, απορροφά ένα μέρος από την ενέργεια που παράγει ο χρόνος της εκτόνωσης και «παρασύρει» με την περιστροφή του το έμβολο, για να εκτελέσει και τους υπόλοιπους τρεις χρόνους.



Εικόνα 11 Σφόνδυλος (Βολάν) κατασκευασμένος από αλουμίνιο. Στην περιφέρεια του βρίσκεται η οδοντωτή στεφάνη στην οποία εμπλέκεται η μίζα

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι όσους περισσότερους κυλίνδρους έχει ένας κινητήρας, τόσο μικρότερο βάρος έχει το βολάν. Κι αυτό, γιατί οι νεκροί χρόνοι του ενός κυλίνδρου καλύπτονται από την εκτόνωση που τυχαίνει να κάνει κάποιος άλλος κύλινδρος.

Πάνω στο βολάν και συγκεκριμένα στην περιφέρειά του, βρίσκεται η οδοντωτή στεφάνη στην οποία εμπλέκεται το γρανάτζι της μίζας. Η εξωτερική επιφάνεια του σφονδύλου είναι λεία, γιατί σ' αυτή στηρίζεται ο συμπλέκτης (δίσκος-πλατό) και μεταφέρεται η κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων.

2.2. Κυλινδροκεφαλή και κινηματικός μηχανισμός λειτουργίας βαλβίδων

Παρακάτω αναλύεται ο κινηματικός μηχανισμός λειτουργίας των βαλβίδων και επεξήγηση της λειτουργίας τους σε διάφορες διάταξης και θέσης που τοποθετούνται σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης.

2.2.1 Κυλινδροκεφαλή

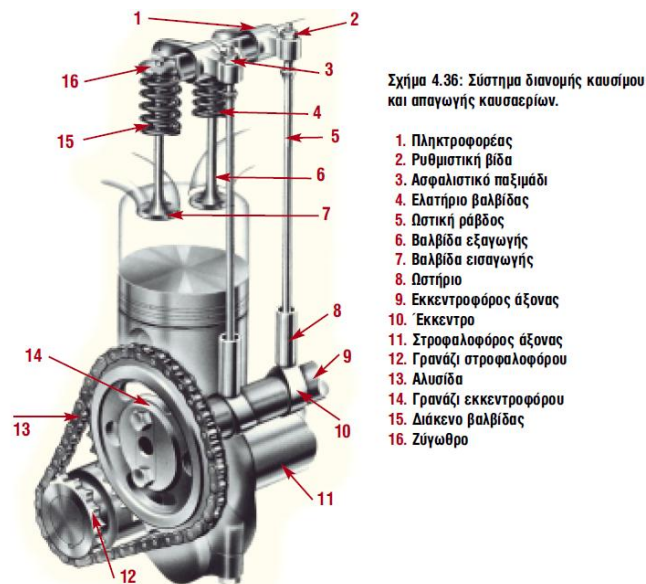
Κατασκευασμένη συνήθως από αλουμίνιο ουσιαστικά σφραγίζει τους κυλίνδρους και περιλαμβάνει τα εξής εξαρτήματα: τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του κυλίνδρου, οι οποίες επιτρέπουν την είσοδο του μείγματος αέρα καυσίμου και εξαγωγή των καυσαερίων αντίστοιχα, καθώς και το σύστημα στήριξης τους. Τον εκκεντροφόρο άξονα (ή τους εκκεντροφόρους άξονες) ο οποίος ρυθμίζει την κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, έτσι ώστε να πραγματοποιείται την κατάλληλη στιγμή. Η κίνηση του εκκεντροφόρου άξονα εξαρτάται από το στροφαλοφόρο με τον οποίο συνδέεται μέσω αλυσίδας (καδένας) η ιμάντα. Ο κάθε εκκεντροφόρος έχει ανάγλυφα επάνω του τόσα έκκεντρα όσα και οι βαλβίδες που πρέπει να κινήσει. κατά την περιστροφή του, τα έκκεντρα κινούν τα ζύγωθρα και αυτά πιέζουν με τη σειρά τους τις βαλβίδες προς τα κάτω για να ανοίξουν. Στους σύγχρονους κινητήρες δεν υπάρχουν ζύγωθρα αλλά το έκκεντρο επενεργεί άμεσα στη βαλβίδα μέσω ενός υδραυλικού ωστήριου, οπότε μιλάμε πλέον για αυτορυθμιζόμενες βαλβίδες. Η γεωμετρία του έκκεντρου καθορίζει το χρονικό διάστημα που θα μείνει ανοιχτή μία βαλβίδα καθώς και το βύθισμα της. Συνήθως υπάρχουν δύο εκκεντροφόροι, ένας για τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα. ο αριθμός των βαλβίδων ποικίλλει, αν και σήμερα ο πιο συχνός αριθμός είναι δύο για την εισαγωγή και δύο για την εξαγωγή. Ο καθορισμός της στιγμής που θα ανοίξουν οι βαλβίδες εξαρτάται από τη θέση του εμβόλου και το χρόνο που αυτό βρίσκεται. Από τη στιγμή που ο στροφαλοφόρος και ο εκκεντροφόρος συνδέονται η σωστή λειτουργία των βαλβίδων εξαρτάται από τη σχετική θέση των δύο αξόνων και η ρύθμιση αυτή ονομάζεται χρονισμός κινητήρα. Οι εκκεντροφόροι παλαιότερα ήταν κατασκευασμένη από μαντέμι και ήταν συμπαγείς, αντίθετα σήμερα είναι κοίλοι για μείωση του βάρους. Η επιφάνεια της κεφαλής που βρίσκεται πάνω από τους κυλίνδρους είναι καμπύλη, ώστε όταν το έμβολο βρεθεί στο ΑΝΣ να δημιουργείται ένα μικρός χώρος, ο θάλαμος καύσης. Εδώ συμπιέζεται το καύσιμο μείγμα, ενώ στην κορυφή του υπάρχει ο σπινθηριστής (μπουζί) ο οποίος δημιουργεί το σπινθήρα ανάφλεξης.



Εικόνα 12. Κυλινδροκεφαλή αλουμινίου με τέσσερις βαλβίδες ανά κύλινδρο

2.2.2 Βασικό κινηματικός μηχανισμός λειτουργίας βαλβίδων

Ο εκκεντροφόρος άξονας και οι βαλβίδες αποτελούν τα κύρια μέρη του συστήματος διανομής του καυσίμου και απαγωγής των καυσαερίων προς και από τον κάθε κύλινδρο. Ανάλογα με τον τρόπο σχεδίασης του κινητήρα, υπάρχουν και τα δευτερεύοντα τμήματα του συστήματος διανομής του καυσίμου, που είναι οι μηχανισμοί κίνησης των εξαρτημάτων αυτών.

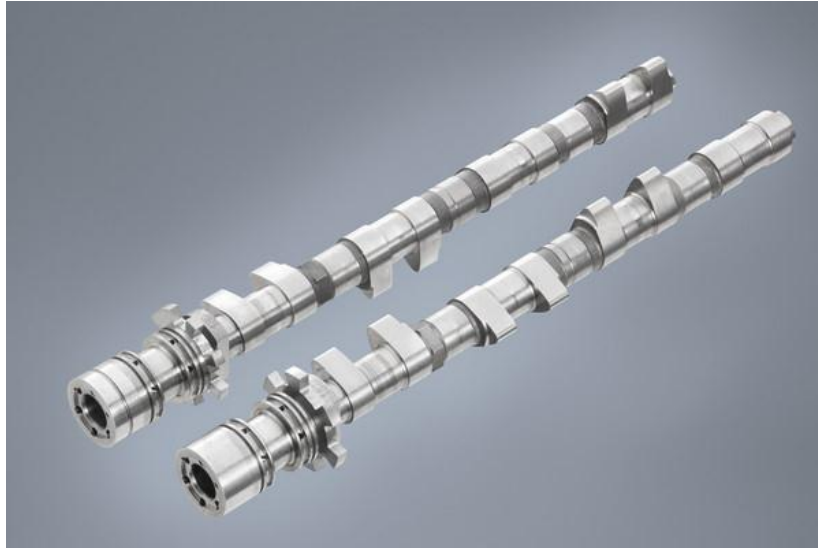


Εικόνα 13. Στην εικόνα διακρίνονται τα μέρη που απαρτίζουν τον κινηματικό μηχανισμό του εμβόλου και τον βαλβίδων

Τα κύρια μέρη του συστήματος αναλύονται παρακάτω.

2.2.3 Εκκεντροφόρος άξονας

Είναι ένας άξονας που φέρει ένα σύνολο έκκεντρων. Όταν ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται τα έκκεντρα σπρώχνουν τα ωστήρια των βαλβίδων ενώ ανάλογα με την διάταξη του κινητήρα μπορεί να υπάρξει ένας ή και περισσότεροι εκκεντροφόροι. Οι περισσότεροι σύγχρονοι κινητήρες εξοπλίζονται με δύο εκκεντροφόρους που βρίσκονται στο επάνω μέρος της κυλινδροκεφαλής και λαμβάνουν κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω ιμάντα, οδοντωτών τροχών ή αλυσίδας (καδένα). Ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται με τις μισές στροφές από ότι ο στροφαλοφόρος.



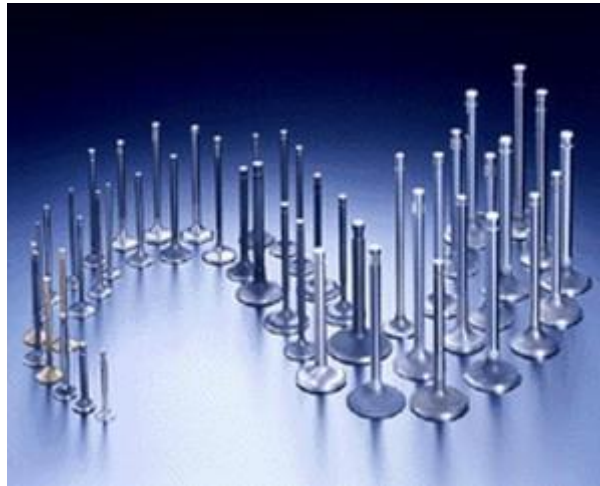
Εικόνα 14. Εκκεντροφόροι δεκαεξαβάλβιδου κινητήρα που τοποθετούνται στην κυλινδροκεφαλή (DOHC)

Στους παλιότερης τεχνολογίας κινητήρες ο εκκεντροφόρος βρίσκονταν στα πλάγια του κινητήρα και κινούσε τις βαλβίδες μέσω ωστικών ωστηρίων . Οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούν «επικεφαλής εκκεντροφόρους» όπου θα πρέπει να πούμε πως έχουν σχέση με την σχεδίαση των βαλβίδων έτσι ώστε ο εκκεντροφόρος να βρίσκεται ενσωματωμένος στην κυλινδροκεφαλή και ακριβώς πάνω από αυτές. Ολόκληρος ο μηχανισμός γίνεται πιο συμπαγής σε διαστάσεις και βρίσκεται κοντύτερα στις βαλβίδες και έτσι τα μέρη του όλου μηχανισμού ανοίγματος και κλεισίματός τους μπορούν να είναι και πιο ελαφριά. Οι βαλβίδες μπορούν να ανοιγοκλείνουν πιο γρήγορα και συνεπώς ο κινητήρας να είναι πιο εύστροφος και πιο ελαστικός στην λειτουργία του.

Στα συστήματα με έναν επικεφαλής εκκεντροφόρο (SOHC) ο ίδιος εκκεντροφόρος κινεί όλες τις βαλβίδες ενώ στους κινητήρες με δύο επικεφαλής εκκεντροφόρους (DOHC) ο ένας κινεί τις βαλβίδες εισαγωγής και ο άλλος τις βαλβίδες εξαγωγής.

2.2.4 Βαλβίδες

Προορισμός των βαλβίδων είναι να ανοίγουν και να κλείνουν την κατάλληλη στιγμή του κύκλου λειτουργίας του κινητήρα, ώστε να εξασφαλίζεται η διαδοχική σειρά των χρόνων εισαγωγής, συμπίεσης, εκτόνωσης και εξαγωγής.



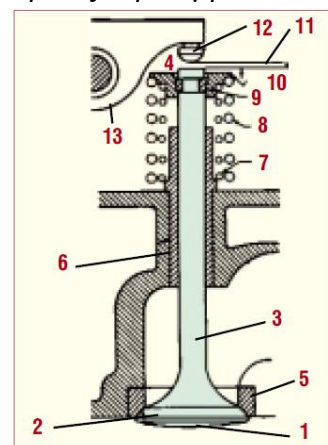
Εικόνα 15. Στην εικόνα υπάρχουν βαλβίδες διαφόρων μεγεθών

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται η βαλβίδα είναι τα εξής :

1. Η κεφαλή
2. Η έδρα
3. Το στέλεχος και
4. Η ουρά

Ενώ το σύστημα στήριξης, κίνησης και λειτουργίας της βαλβίδας περιλαμβάνει :

5. Την υποδοχή της έδρας
6. Τον οδηγό
7. Το εσωτερικό ελατήριο
8. Το εξωτερικό ελατήριο
9. Την ασφάλεια
10. Τη ροδέλα
11. Το διάκενο
12. Τη βίδα ρύθμισης του διάκενου και
13. Το ζύγωθρο



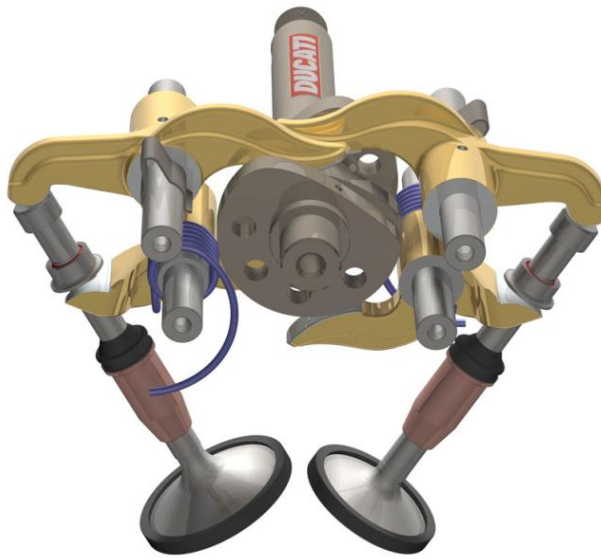
Η έδρα και ο οδηγός είναι μέρη της κυλινδροκεφαλής. Έχουν, όμως άμεση σχέση τόσο με την βαλβίδα όσο και μεταξύ τους, αφού από τη σωστή σχέση λειτουργίας τους, εξαρτάται η καλή λειτουργία όλου του συστήματος της βαλβίδας.

Οι βαλβίδες κατασκευάζονται από διάφορα κράματα χάλυβα. Για τις βαλβίδες εισαγωγής χρησιμοποιούνται νικελιούχα, χρωμιονικελιούχα ή χρωμομολυβδαινιούχα κράματα χάλυβα. Για τις βαλβίδες εξαγωγής χρησιμοποιούνται χάλυβες υψηλής αντοχής, όπως πυριτιοχρωμιούχοι ή κοβαλτιοχρωμιούχοι χάλυβες ή ωστενιτικοί χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα νικελίου, χρωμίου, κ.λπ. Για αύξηση της αντοχής των βαλβίδων από διάβρωση, οι κεφαλές τους επικάλυπτονται, επιπρόσθετα, με ειδικό κράμα μετάλλων (νικέλιο 80% και χρώμιο 20%) ή με κράμα αλουμινίου.

Τύποι βαλβίδων

Οι κατασκευαστές στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τα συστήματα μετάδοσης κίνησης προς της βαλβίδες έχουν χρησιμοποιήσει διάφορους τύπους μηχανισμών ή βαλβίδων, οι κυριότεροι είναι :

1. Οι απλές βαλβίδες
2. Οι βαλβίδες με επικάλυψη
3. Οι βαλβίδες που ψύχονται με νάτριο. Στις βαλβίδες αυτές το στέλεχος και η κεφαλή είναι κοίλα, ενώ ένα μέρος της κοιλότητας τους περιέχει νάτριο ή διάφορα άλατα για την καλύτερη ψύξη τους.
4. Οι δεσμοδρομικές βαλβίδες. Σε αυτές της βαλβίδες δεν υπάρχουν ελατήρια για την επαναφορά τους σε κλειστή θέση, αλλά κλείνουν και ανοίγουν με την βοήθεια μίας διάταξης από δύο έκκεντρα και ζύγωθρα τοποθετημένα έτσι ώστε το ένα ζεύγος να ωθεί την βαλβίδα και το δεύτερο να την επαναφέρει στην θέση της.



Εικόνα 16. Σύστημα δεσμοδρομικών βαλβίδων που χρησιμοποιεί η Ducati στις μοτοσυκλέτες που κατασκευάζει

Οι βαλβίδες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται, συνήθως στους πολύστροφους κινητήρες, με εμφανή αύξηση της ροπής, και μύωσης της κατανάλωσης σχεδόν 10% καταργώντας τα ελατήρια των βαλβίδων τα οποία, συμπεριλαμβανομένων, καταναλώνουν ενέργεια. Με μειονέκτημα φυσικά τα πολλά μηχανικά μέρη.

5. Περιστροφικές βαλβίδες. Οι βαλβίδες αυτές έχουν σφαιρικό σχήμα με κοίλο εσωτερικό αγωγό και είναι τοποθετημένες επάνω σε έναν άξονα. Ο άξονας αυτός παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα, οπότε με την περιστροφή τους ο εσωτερικός αγωγός κατευθύνει το καύσιμο μίγμα προς το εσωτερικό του θαλάμου καύσης.



Εικόνα 17. Διάταξη με δύο επικεφαλής περιστροφικές βαλβίδες ανά κύλινδρο

Με της περιστροφικές βαλβίδες μειώνονται τα προβλήματα σε σχέση με της συμβατικές βαλβίδες, όπως το πώς θα παραμείνουν «δομικά σταθερές» σε ολόένα αυξημένους ρυθμούς περιστροφής και υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης στους σύγχρονους κινητήρες.

6. Οι αυτορυθμιζόμενες βαλβίδες με αυτορυθμιζόμενα υδραυλικά ωστήρια. Στις βαλβίδες αυτές υπάρχει πλήρης επαφή στις αρθρώσεις. Με τον τρόπο αυτό, δεν υπάρχει καθόλου διάκενο μεταξύ ωστήριου και βαλβίδας και οι διαστολές του συστήματος εξουδετερώνονται από το υδραυλικά ρυθμιζόμενο ωστήριο.



Εικόνα 18. Υδραυλικά ωστήρια διαφόρων μεγεθών

Συνήθως το ωστήριο διαμορφώνεται σε κύλινδρο, ενώ στο εσωτερικό του κινείται ένα έμβολο.

2.2.5. Μετάδοση κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα

Η κίνηση στον εκκεντροφόρο άξονα μεταδίδεται από το στροφαλοφόρο άξονα. Τρεις είναι οι πλέον διαδεδομένοι τρόποι μετάδοσης της κίνησης.

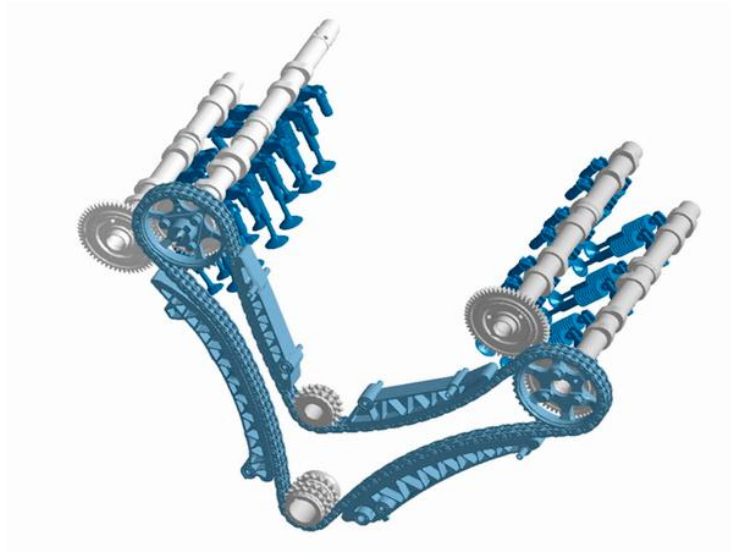


Εικόνα 19.

Μετάδοση κίνησης του εκκεντροφόρου άξονα σε περιπτώσεις που είναι τοποθετημένος στα πλάγια του κινητήρα. Επίσης, διακρίνεται η διαφορά στο μέγεθος των γραναζιών για να επιτευχθεί μετάδοση 2 προς 1 μεταξύ στροφαλοφόρου και εκκεντροφόρου άξονα

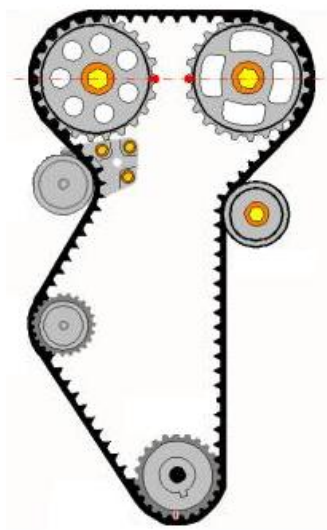
Μετάδοση με γρανάζια. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται όταν ο εκκεντροφόρος άξονας είναι στα πλάγια του κινητήρα. Έχει υψηλό κόστος κατασκευής, χρειάζεται λίπανση, παρέχει όμως μεγάλη αξιοπιστία στην μεταφορά της κίνησης και προσφέρει αθόρυβη λειτουργία.

Μετάδοση με αλυσίδα. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται όταν ο εκκεντροφόρος είναι τοποθετημένος είτε στα πλάγια είτε είναι επικεφαλής. Έχει και αυτός υψηλό σχετικά κόστος κατασκευής, χρειάζεται λίπανση, παρέχει μεγάλη αξιοπιστία στην μεταφορά της κίνησης, παρουσιάζει όμως, σχετικά θορυβώδη λειτουργία, που γίνεται περισσότερο έντονη μετά από πολλές ώρες λειτουργίας.



Εικόνα 20. Διάταξη συστήματος μετάδοσης κίνησης με αλυσίδα στους εκκεντροφόρους V8 κινητήρα

Μετάδοση με οδοντωτό ιμάντα. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται όταν ο εκκεντροφόρος είναι είτε στα πλάγια είτε είναι επικεφαλής. Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης και δεν χρειάζεται λίπανση. Για ασφάλεια, πάντως στη μεταφορά της κίνησης και για αθόρυβη λειτουργία, πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι προδιαγραφές του κατασκευαστή.

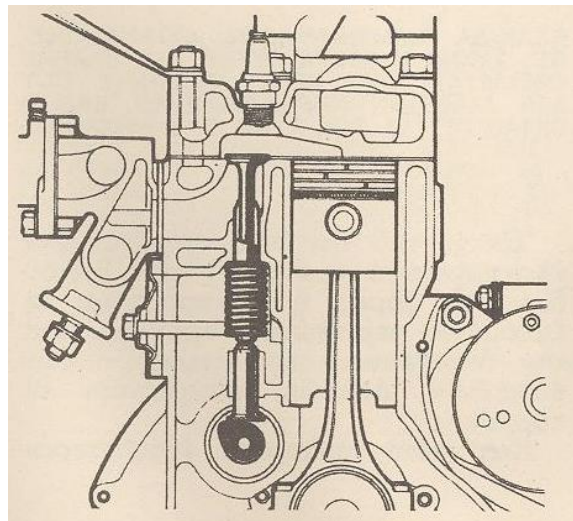


Εικόνα 21. Στην εικόνα διακρίνεται η τροχιά που ακολουθεί ο οδοντωτός ιμάντας ώστε να μπορεί να περιστρέφει την αντλία νερού στο αριστερό μέρος

Η σχέση μετάδοσης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα για τους 4χρονους κινητήρες, είναι 2:1. Δηλαδή, στις δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται κατά μία στροφή.

2.2.6 Θέσεις βαλβίδων

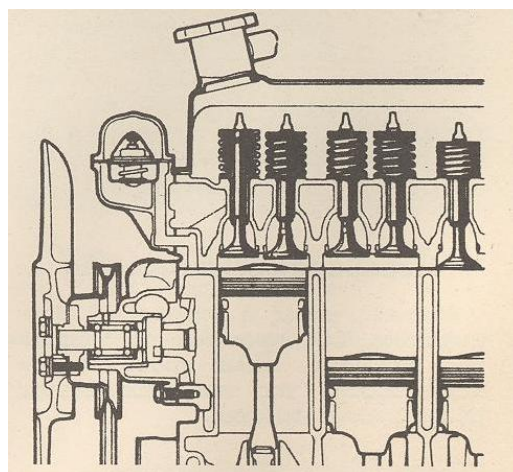
1. Πλευρικές



Εικόνα 22. Στην εικόνα διακρίνεται η βαλβίδα που είναι τοποθετημένη στα πλάγια του κορμού

Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι τοποθετημένες στο πλευρό του κυλίνδρου. δηλαδή, κατά μήκος του τοιχώματος. Αυτή η λύση δεν χρησιμοποιείται πια λόγω του μεγάλου κόστους κατασκευής και της μεγάλης δυσκολίας στην επίβλεψη και συντήρηση του μηχανισμού.

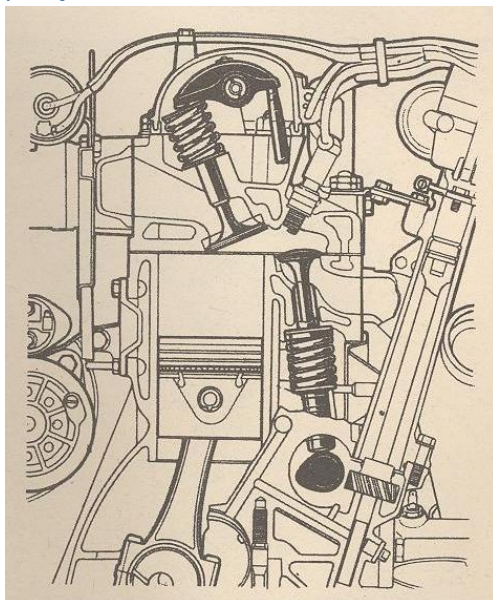
2. Επί κεφαλής εν σειρά



Εικόνα 23. Βαλβίδες επικεφαλής τοποθετημένες εν σειρά

Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι επί κεφαλής του κυλίνδρου, εν σειρά. Σε αυτού του είδους της διατάξεις οι βαλβίδες ανά κύλινδρο σπάνια ξεπερνούν τις δύο λόγω του μεγάλου μήκους της διάταξης.

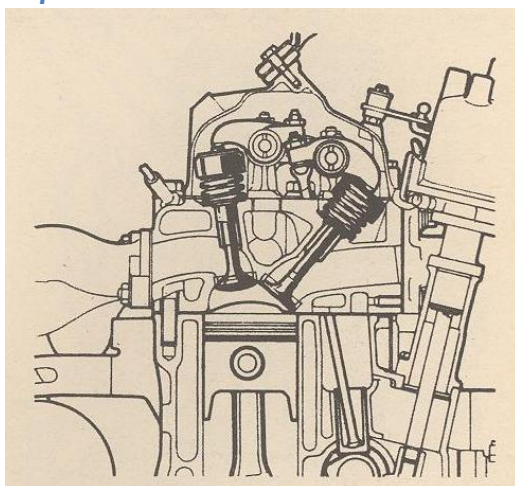
3. Πλευρικές και επί κεφαλής



Εικόνα 24. Συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων τοποθέτησης των βαλβίδων

Αυτή η λύση εφαρμόζεται σήμερα από μερικούς κατασκευαστές κινητήρων Άγγλους και Αμερικανούς. Η βαλβίδα εισαγωγής ευρίσκεται επί κεφαλής ενώ της εξαγωγής είναι πλευρική.

4. Επί κεφαλής υπό κλίση

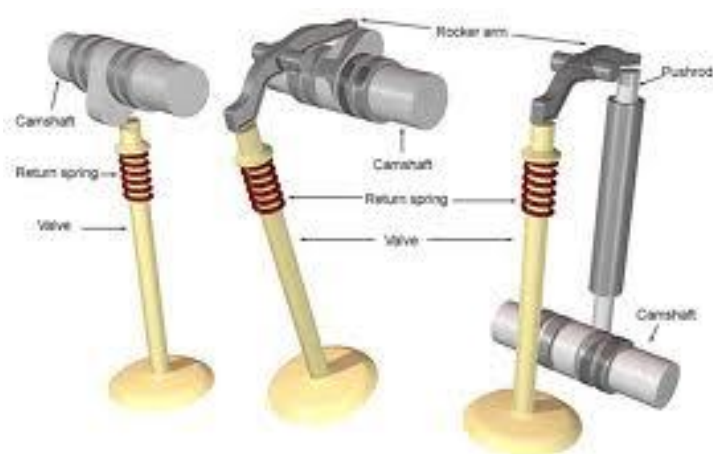


Εικόνα 25. Στην εικόνα διακρίνεται ο θάλαμος καύσης που δημιουργείται στην περιεχόμενη γωνιά μεταξύ των δύο βαλβίδων

Οι βαλβίδες είναι επί κεφαλής με κλίση μιας ορισμένης γωνιάς. Συνήθως η λύση αυτή εφαρμόζεται σε πολυβάλβιδους κινητήρες ώστε να εκμεταλλευόμαστε την περιεχόμενη γωνία μεταξύ τους σαν χώρο καύσης. Σήμερα είναι ο πιο συχνός τρόπος τοποθέτησης.

2.2.7 Μηχανισμός κίνησης βαλβίδων

Ο μηχανισμός κίνησης περιλαμβάνει όλα εκείνα τα εξαρτήματα που χρειάζονται για να φθάσει η κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα μέχρι τις βαλβίδες.



Εικόνα 26. Διάφορες διατάξεις τοποθέτησης των βαλβίδων

Ανάλογα με τη θέση του εκκεντροφόρου ως προς τις βαλβίδες, ποικίλουν και τα εξαρτήματα που περιλαμβάνονται σε αυτόν για την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας. Όταν μάλιστα ο εκκεντροφόρος βρίσκεται στα πλάγια και οι βαλβίδες επικεφαλής, υπάρχει ένας πλήρης κινηματικός μηχανισμός.

Ωστήριο (ποτηράκι)

Είναι ένας κύλινδρος κλειστός από τη μία πλευρά και ανοιχτός από την άλλη (Σχήμα 4.57). Έχει σχήμα μικρού κυλινδρικού ποτηριού με διάμετρο περίπου 1,5 μέχρι 2,5 cm και ύψος 4 με 6 cm. Η βάση του έρχεται σε άμεση επαφή με τον εκκεντροφόρο άξονα, ενώ στο εσωτερικό του έρχεται και τοποθετείται η ωστική ράβδος.



Εικόνα 27. Διάφορα μεγέθη ωστηρίων (ποτηράκια)

Ωστική ράβδος (καλάμι)

Είναι μία κυλινδρική ράβδος με πεπλατυσμένες τις άκρες συνήθως, η άκρη που βρίσκεται μέσα στο ωστήριο είναι σφαιρική, ενώ η άλλη άκρη που έρχεται σε επαφή με το ζύγωθρο είναι κοίλη. Ο ρόλος της ράβδου αυτής είναι να μεταφέρει την κίνηση από το ωστήριο στο ζύγωθρο.



Εικόνα 28.

Ωστικές ράβδοι (καλάμια). Τα άκρα τους είναι διαμορφωμένα ώστε να συγκρατούνται στην θέση τους

Ζύγωθρο (κοκοράκι)

Το ζύγωθρο είναι ένας μικρός μεταλλικός μοχλός (πλήκτρο). Βρίσκεται στερεωμένο επάνω σε έναν άξονα, τον πλήκτρο φορέα, και μπορεί να περιστρέφεται γύρω από αυτόν. Δέχεται στη μια πλευρά του την κίνηση από την ωστική ράβδο και από την άλλη πλευρά πιέζει τη βαλβίδα να ανοίξει.



Εικόνα 29. Τα ζύγωθρα (κοκοράκια) παίρνουν το σχήμα τους αναλόγως την εφαρμογή και το μέγεθος του κινητήρα που τοποθετούνται

Πληκτροφορέας

Είναι ένας άξονας στον οποίο στερεώνονται τα ζύγωθρα των βαλβίδων. Ο άξονας αυτός έχει και τους αντίστοιχους αγωγούς για τη λίπανση των βαλβίδων, ενώ επάνω του βρίσκονται, επίσης, και τα ελατήρια «αποστάτες», που κρατούν στη σωστή θέση μεταξύ τους τα ζύγωθρα.



Εικόνα 30. Στην εικόνα διακρίνεται ο πληκτροφορέας με τα ζύγωθρα τοποθετημένα σε αυτόν

2.3 Θεωρητική λειτουργία τετράχρονου βενζινοκινητήρα OTTO

Για να μελετήσουμε τη λειτουργία των κινητήρων ΜΕΚ χρησιμοποιούμε τα διαγράμματα λειτουργίας. Οι μηχανές λειτουργούν με έναν από τους ακόλουθους θεωρητικούς θερμοδυναμικούς κύκλους, που το όνομα τους οφείλεται στους αντίστοιχους εφευρέτες τους.

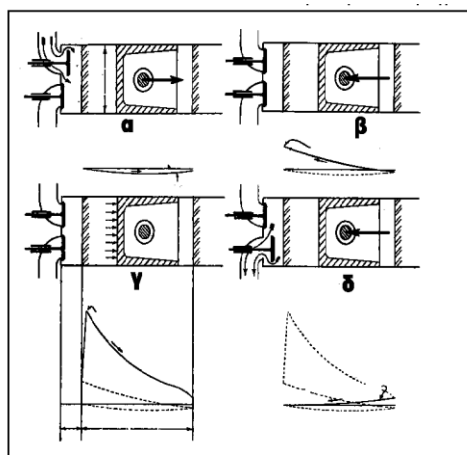
2.3.1 Κύκλος βενζινοκινητήρα ή κύκλος OTTO

Σε έναν κινητήρα, χρόνος ονομάζεται η διαδρομή που εκτελεί το έμβολο μεταξύ του Άνω Νεκρού Σημείου (ΑΝΣ) και του Κάτω νεκρού Σημείου (ΚΝΣ) ή αντίστροφα. Για τους τετράχρονους κινητήρες χρειάζονται δύο παλινδρομήσεις του εμβόλου για να έχουμε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας (4 χρόνους) ή δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, ενώ για τους δίχρονους χρειάζεται μονό μία παλινδρόμηση του εμβόλου (2 χρόνους) ή μία περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

2.3.2 Θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας 4χρονου βενζινοκινητήρα

Οι σχέσεις μεταξύ ειδικού όγκου και πίεσης απεικονίζονται σε διαγράμματα. Για τον τετράχρονο βενζινοκινητήρα δημιουργείται το διάγραμμα Πίεσης- Ειδικού όγκου λειτουργίας, σε ένα σύστημα συντεταγμένων P-v καταγράφουμε τις πίεσης που επικρατούν στον κύλινδρο και τις αντίστοιχες θέσεις του εμβόλου σε σχέση με αυτόν.

Το παρακάτω θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας σχηματίζεται σύμφωνα με τους νόμους των τέλειων αερίων.



Εικόνα 31. Διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα με άξονες αναφοράς πίεσης και όγκου (p-v)

Κατά την μεταβολή από 0 σε 1 το μείγμα αέρα – βενζίνης αναρροφάται στην κάθοδο του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η μεταβολή θεωρούμε ότι γίνεται υπό σταθερή πίεση, δηλαδή ότι είναι **ισοβαρής**.

Στη συνέχεια εκτελείται η μεταβολή.

1 , 3. Μόλις το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ κλεινή η βαλβίδα εισαγωγής. Το έμβολο κατά την άνοδο του προς το ΑΝΣ συμπιέζει αδιαβατικά το καύσιμο μείγμα και έτσι προκαλείται αύξηση της πίεσης της πίεσης. Η συμπίεση γίνεται πολύ γρήγορα και θεωρούμε ότι δεν «προλαβαίνει» να πραγματοποιηθεί ανταλλαγή θερμότητας προς το περιβάλλον και έτσι η συμπίεση είναι **αδιαβατική**.

Στη μεταβολή από 3 σε 4, και ενώ το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ δίνεται ο σπινθήρας με αποτέλεσμα την καύση του μείγματος, την παραγωγή θερμότητας και την αύξηση της πίεσης. Θεωρούμε ότι η καύση γίνεται ακαριαία, τη στιγμή που το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και κατά συνέπεια η αύξηση της πίεσης πραγματοποιείται υπό σταθερό όγκο, δηλαδή **ισόχωρα**.

Στη μεταβολή από 4 σε 5 τα καυσαέρια έχουν υψηλή πίεση και εκτονώνονται (διαστέλλονται) κινώντας το έμβολο προς τα κάτω. Έτσι, έχουμε τη παραγωγή έργου έως ότου φτάσει το έμβολο στο ΚΝΣ. Αυτή η μεταβολή θεωρείται **αδιαβατική**.

Στη μεταβολή από 5 σε 1, ενώ το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και θεωρητικά έχουμε ακαριαία απαγωγή θερμότητας από το σύστημα προς το περιβάλλον υπό σταθερό όγκο. Το σύστημα αποκτά την αρχική του πίεση. Η μεταβολή αυτή θεωρείται **ισόχωρη**.

Στη μεταβολή από 1 σε 0, καθώς το έμβολο μετακινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, ωθεί τα καυσαέρια που εξέρχονται προς το περιβάλλον, υπό σταθερή (θεωρητικά) πίεση. Η μεταβολή αυτή θεωρείται **ισοβαρής**.

2.3.3 Πραγματική λειτουργία 4χρονης βενζινομηχανής

Η πραγματική λειτουργία διαφέρει από τη θεωρητική στα ακόλουθα σημεία:

Κατά την εισαγωγή: Όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, στον κύλινδρο δημιουργείται υποπίεση (πίεση μικρότερη αυτής του περιβάλλοντος) λόγω αύξησης του όγκου του, η οποία είναι μικρότερη κατά 0,1 έως 0.2 bar από την εξωτερική πίεση. Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης αναρροφάται αέρας από το περιβάλλον προς τον κύλινδρο, ο οποίος εισέρχεται στον κύλινδρο μέσα από τη βαλβίδα εισαγωγής.

Το καύσιμο μείγμα δεν προλαβαίνει να καταλάβει όλον τον όγκο του κυλίνδρου λόγω της μεγάλης ταχύτητας του εμβόλου και των τριβών που αναπτύσσονται κατά την εισαγωγή του. Το αποτέλεσμα είναι η πραγματική πίεση να είναι μικρότερη από τη θεωρητική και όχι σταθερή, με αποτέλεσμα να παριστάνεται με καμπύλη γραμμή στο διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας και όχι με ευθεία όπως στο διάγραμμα θεωρητικής λειτουργίας.

Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει αφού το έμβολο έχει μετακινηθεί αρκετά μετά το ΚΝΣ για να γίνει η απαραίτητη τροφοδοσία μείγματος στον κύλινδρο της μηχανής.

Για καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου κατά την αναρρόφηση με καύσιμο μείγμα, που συνεπάγεται βελτίωση της ισχύος, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής 10 έως 20 μοίρες πριν από το ΑΝΣ και αρχίζει να κλείνει 30 έως 45 μοίρες μετά το ΚΝΣ.

Κατά τη συμπίεση: Κατά την κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ το μείγμα συμπιέζεται ενώ οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι και οι δύο κλειστές.

Κατά την καύση - εκτόνωση: Σε μία δεδομένη στιγμή και πριν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ, δίνεται ο σπινθήρας από το μπουζί, ώστε να υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος για να ολοκληρωθεί η καύση. Η πίεση ακολουθεί την καμπύλη του σχήματος και από εκεί και μετά αρχίζει η εκτόνωση των αερίων.

Ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα το σημείο ανάφλεξης βρίσκεται 0 έως περίπου 40 μοίρες πριν από το ΑΝΣ. Στις υψηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, η ταχύτητα του εμβόλου είναι μεγάλη και πρέπει ο σπινθήρας να δοθεί αρκετές μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ώστε τα καυσαέρια να έχουν αποκτήσει την μεγαλύτερη πίεση όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.

Τα καυσαέρια εκτονώνονται απότομα και πιάζουν το έμβολο προς το ΚΝΣ. Αυτός είναι ο ενεργητικός χρόνος της μηχανής, δηλαδή ο χρόνος κατά τον οποίο παράγεται μηχανικό έργο.

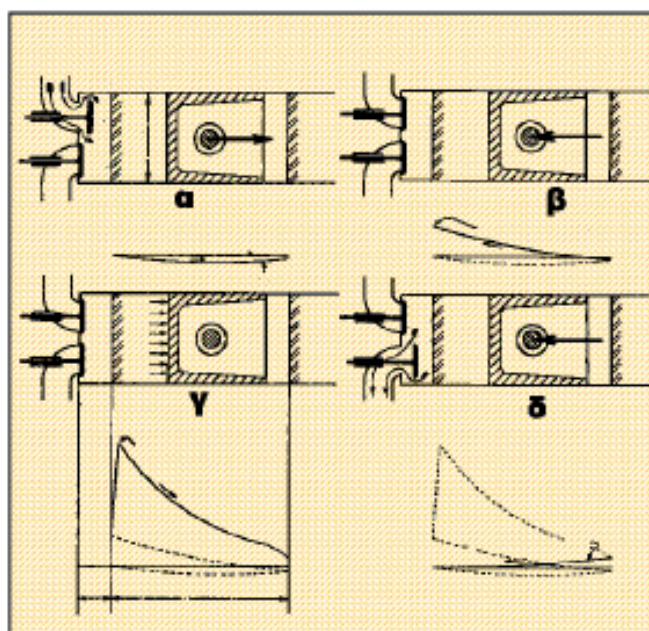
Κατά την εξαγωγή: Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει 30 έως 50 ή και 60 μοίρες, πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, για να υπάρχει χρόνος αρκετός ώστε να εξισωθεί η πίεση των καυσαερίων με την ατμοσφαιρική και να μειωθεί η αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου.

Για να διευκολυνθεί η εξαγωγή των καυσαερίων, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει 0 έως και 15ή ακόμη και 20 μοίρες μετά το ΑΝΣ σε ορισμένους κινητήρες, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής αρχίζει να ανοίγει πριν η βαλβίδα εξαγωγής κλείσει.

Η φάση κατά την οποία και η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής είναι ανοικτές ονομάζεται **επικάλυψη** και διευκολύνει την εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο, τη μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μέσα στο θάλαμο καύσης, καθώς και τη διαδικασία πλήρωσης του κυλίνδρου με καινούργιο καύσιμο μείγμα.

Η ροή της εξαγωγής των καυσαερίων από τον κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υποπίεσης στην περιοχή της βαλβίδας εισαγωγής. Εξαιτίας αυτής της διαφοράς πίεσης, το καύσιμο μείγμα ωθείται προς την εισαγωγή πριν αρχίσει η κίνηση του εμβόλου προς το ΚΝΣ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πραγματική λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, έχοντας ως άξονες αναφοράς την πίεση και τον ειδικό όγκο. (P-v)



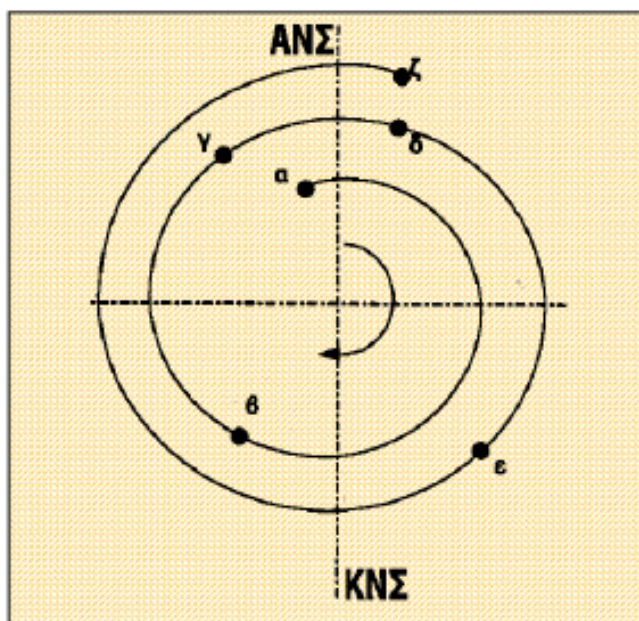
Εικόνα 32. Διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Το παραπάνω διάγραμμα ονομάζεται και ενδεικτικό διάγραμμα. Δείχνει τη μεταβολή της πίεσης του ρευστού στον κύλινδρο στη διάρκεια του κύκλου.

Όσο αυξάνει η συμπίεση του κινητήρα τόσο μεγαλώνει και η επιφάνεια στο διάγραμμα, άρα και το έργο που αποδίδει ο κινητήρας.

Το έργο που παράγεται σε ένα κύκλο πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των εκτονώσεων που γίνονται σε κάθε λεπτό, μας δίνει την ενδεικτική ισχύ του κινητήρα.

Η πραγματική λειτουργία του κινητήρα απεικονίζεται και στο σπειροειδές διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται σπειροειδές γιατί μοιάζει με σπείρα. Παριστάνει γραφικά τη λειτουργία και το χρονισμό του κινητήρα. Στο σπειροειδές διάγραμμα απεικονίζεται η διάρκεια των φάσεων της πραγματικής λειτουργίας σε μίρες γωνίας στροφάλου.

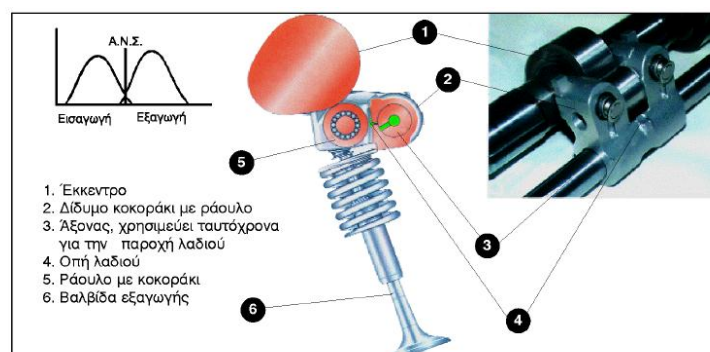


Εικόνα 33. Σπειροειδές διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας τετράχρονου κινητήρα

Στο επάνω μέρος του διαγράμματος υπάρχει το ΑΝΣ και στο κάτω το ΚΝΣ της κίνησης του εμβόλου. Ξεκινώντας από τις 0 μίρες με δεξιόστροφη φορά, σημειώνονται οι τιμές των γωνιών κάθε φάσης. Στο σπειροειδές διάγραμμα φαίνεται η διάρκεια κάθε φάσης καθώς και οι μίρες πριν ή μετά το ΑΝΣ ή από το ΚΝΣ με τις οποίες ανοίγουν και κλείνουν οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

3. Συστήματα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων

Σε έναν κινητήρα που λειτουργεί με υψηλές στροφές, η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να ανοίγει αρκετά πριν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ και κλείνει αφού περάσει το ΑΝΣ. Αντίστοιχα, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει ενώ το έμβολο κινείται ακόμα προς το ΑΝΣ και κλείνει αρκετά μετά το ΚΝΣ, δηλαδή αφού το έμβολο αρχίσει να ανεβαίνει προς το ΑΝΣ. Με τον τρόπο αυτό, εκμεταλλευόμαστε τη δυναμική της κίνησης των αερίων από και προς τους κυλίνδρους και εξασφαλίζουμε μια βελτιωμένη πλήρωση των κυλίνδρων και μια καλύτερη εξαγωγή των καυσαερίων. Όπως φαίνεται και από τις καμπύλες χρονισμού των βαλβίδων (εικόνα 34) με το πρόωρο άνοιγμα και το καθυστερημένο κλείσιμο των βαλβίδων δημιουργούνται επικαλύψεις που δεν ενοχλούν όμως την ομαλή λειτουργία του κινητήρα, όσο οι στροφές του είναι υψηλές. Αντίθετα, σε χαμηλές στροφές και στο ρελαντί η δυναμική της κίνησης των αερίων είναι μειωμένη και υπάρχει αρκετός χρόνος ώστε να διαφύγουν καυσαέρια προς την πολλαπλή εισαγωγής και μείγμα προς τη βαλβίδα εξαγωγής. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας μη επιθυμητής διακίνησης των αερίων, που προέρχεται από την επικάλυψη του ανοίγματος των βαλβίδων στις χαμηλές στροφές, είναι ένα ασταθές ρελαντί και η κακή ανταπόκριση του κινητήρα στις επιταχύνσεις κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο στροφών.



Εικόνα 34. Στην εικόνα διακρίνονται οι καμπύλες χρονισμού των βαλβίδων με το σημείο της μεταξύ τους επικάλυψης

Για το λόγο αυτό, οριακές επικαλύψεις στο άνοιγμα των βαλβίδων χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα αγώνων, όπου η συνεχής λειτουργία του κινητήρα τους σε υψηλά επίπεδα στροφών είναι δεδομένη.

Στις χαμηλές στροφές επομένως πρέπει να υπάρχει μικρή επικάλυψη, για μέγιστη απόδοση του κινητήρα και στις υψηλές μεγάλη για να έχουμε πάντοτε την καλύτερη δυνατή ροπή. Ο μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων επιτρέπει τη διαφοροποίηση των επικαλύψεων ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα. Χρησιμοποιείται σε σύγχρονους κινητήρες για να επιτύχουμε μεγαλύτερη ισχύ διατηρώντας σε ολόκληρο το φάσμα στροφών του κινητήρα τη ροπή στρέψης σε υψηλά επίπεδα. Παράλληλα μας δίνεται η δυνατότητα να μειώσουμε την κατανάλωση καυσίμου και τους εκπεμπόμενους

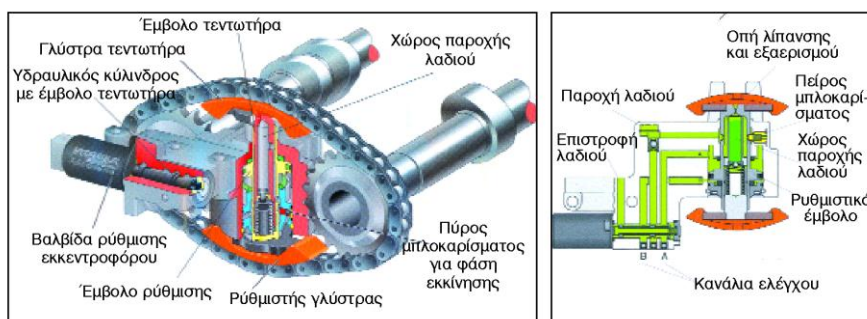
ρύπους. Με το μεταβλητό χρονισμό επιτυγχάνεται η μετατόπιση της στιγμής που ανοίγουν και κλείνουν οι βαλβίδες, η μείωση της επικάλυψης των βαλβίδων στις χαμηλές στροφές ή η αύξηση της επικάλυψης στις υψηλές, αλλά και το βύθισμα σε ορισμένες κατασκευές. Η γωνιακή μετατόπιση της αντιστοιχίας του εκκεντροφόρου εισαγωγής σε σχέση με τον εκκεντροφόρο εξαγωγής (ή το γρανάζι του εκκεντροφόρου) που στις περιπτώσεις αυτές συνήθως βρίσκονται στην κυλινδροκεφαλή, γίνεται με τους παρακάτω τρόπους, με ορισμένους από τους οποίους μεταβάλλεται και το βύθισμα των βαλβίδων.

3.1 Βασικοί τύποι συστημάτων μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων

Στα τέλη της δεκαετίας του '60 ο Giovanni Torazza επινοεί για την Fiat ένα υδραυλικό σύστημα που μεταβάλλει τον χρονισμό και την βύθιση των βαλβίδων. Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με μηχανικό σύστημα μεταβλητού χρονισμού ήταν η Alfa Romeo Spider του 1980. Από τότε παρουσιάστηκαν αρκετά παρόμοια συστήματα για τις βαλβίδες εισαγωγής, στις χαμηλές στροφές, με στόχο την μείωση των εκπομπών ρύπων, και αρκετά συστήματα για μεταβολή του χρονισμού στις υψηλές στροφές ώστε να επιτύχουν αύξηση ισχύος. Μερικοί από αυτούς τους πιο χαρακτηριστικούς τύπους παρουσιάζονται παρακάτω.

3.1.1 Ρυθμιζόμενος τεντωτήρας αλυσίδας (Vario cam)

Στο σύστημα αυτό (Εικόνα) οι δύο εκκεντροφόροι συνδέονται μεταξύ τους με μία αλυσίδα (καδένα) με την οποία ο εκκεντροφόρος εξαγωγής κινεί τον εκκεντροφόρο εισαγωγής. Η γωνιακή μετατόπιση του ενός εκκεντροφόρου ως προς τον άλλο επιτυγχάνεται με την υδραυλική μετατόπιση του τεντωτήρα της αλυσίδας από την επάνω θέση, όπου βρίσκεται στις χαμηλές στροφές, προς την κάτω. Με τον τρόπο αυτόν το μήκος της αλυσίδας στο επάνω μέρος από μεγαλύτερο γίνεται μικρότερο από αυτό της κάτω πλευράς, ώστε να αλλάζει γωνιακά η θέση των δύο εκκεντροφόρων μεταξύ τους.



Εικόνα 35. Στην εικόνα διακρίνεται το έμβολο που μετατοπίζεται και μεταβάλλει την γωνία του εκκεντροφόρου

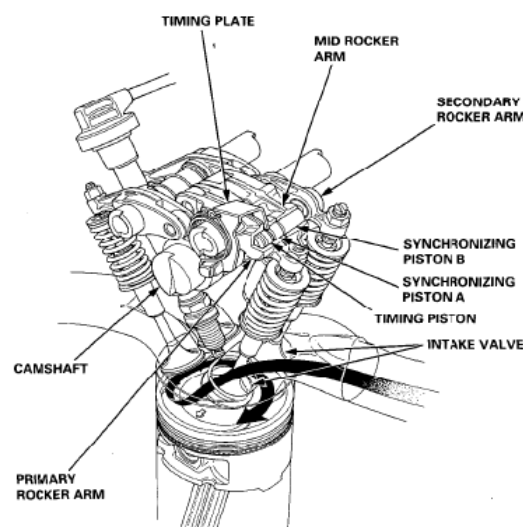
Όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε υψηλές στροφές, η μαγνητική βαλβίδα κλείνει τον έναν αγωγό του λαδιού. Το λάδι πιέζει το πίσω και τον κινεί αντίθετα προς τη δύναμη του ελατηρίου. Ο πέταλος ελευθερώνει το ρυθμιστικό έμβολο το οποίο κινείται προς τα κάτω. Ο χώρος παροχής λαδιού έχει μία οπή εξαέρωσης στο πάνω του άκρο, από την οποία λαδώνεται συγχρόνως η αλυσίδα.

Στη θέση βραδυπορίας ο τεντωτήρας βρίσκεται στην πάνω θέση και ο εκκεντροφόρος εισαγωγής στη θέση αργά. Όταν ο τεντωτήρας ωθείται από το λάδι προς τα κάτω, τότε το κάτω μέρος της αλυσίδας επιμηκύνεται, ενώ το επάνω κονταίνει με αποτέλεσμα την περιστροφή των δύο εκκεντροφόρων μεταξύ τους. Στη θέση αυτή ο εκκεντροφόρος βρίσκεται στη θέση νωρίς.

3.1.2 Σύστημα μεταβολής της κίνησης των βαλβίδων (Honda)

Με το σύστημα αυτό η χρονική στιγμή του ανοίγματος καθώς και το βύθισμα του ανοίγματος της βαλβίδας προσαρμόζονται ανάλογα με τη φάση λειτουργίας του κινητήρα.

Στο συγκεκριμένο κινητήρα με 4 βαλβίδες ανά κύλινδρο, ο μηχανισμός αποτελείται από τρία κοκοράκια που παίρνουν κίνηση από ίσο αριθμό έκκεντρων του εκκεντροφόρου. Ο κάθε εκκεντροφόρος έχει δυο ειδών έκκεντρα. Ένα για χαμηλές και ένα για υψηλές στροφές.



Εικόνα 36. Σύστημα μεταβλητού χρονισμού V-Tec της HONDA

Τα ζύγωθρα μπορούν να κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο ή να παρακολουθούν την κίνηση του μεσαίου. Η κίνησή τους συντονίζεται από ένα άξονα εμπλοκής, που κινείται με υδραυλική πίεση έτσι ώστε ανάλογα με τη θέση του να συμπλέκει ή να αποσυμπλέκει το μεσαίο με τα ακραία ζύγωθρα. Το έκκεντρο που κινεί το μεσαίο ζύγωθρο έχει διαφορετικό ύψος και άλλη γωνία λειτουργίας σε σχέση με τα έκκεντρα που κινούν τα δύο ακραία. Στις χαμηλές στροφές οι βαλβίδες κινούνται από το πρωτεύον και το δευτερεύον ζύγωθρο. Το μεσαίο ταλαντώνεται ελεύθερα ενώ υπάρχει και ελατήριο που αποσβένει τη ταλάντωση. Στις υψηλές στροφές ενεργοποιείται η μαγνητική βαλβίδα και η πίεση του λαδιού του κινητήρα επενεργεί στο έμβολο A, μετακινώντας τα έμβολα A και B προς τα δεξιά και αντίθετα προς το ελατήριο επαναφοράς τους και εμπλέκει τα τρία ζύγωθρα μεταξύ τους. Οι βαλβίδες τώρα ανοίγουν από το μεσαίο έκκεντρο, που δίνει μεγαλύτερη διάρκεια ανοίγματος και εξασφαλίζει το μέγιστο βύθισμα των βαλβίδων. Η θέση του άξονα, που συμπλέκει και αποσυμπλέκει τα ζύγωθρα, ρυθμίζεται υδραυλικά μέσω μίας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Η λειτουργία της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, που με αυτό το σύστημα αλλάζει το βύθισμα των βαλβίδων του κινητήρα, εξαρτάται από τον αριθμό στροφών, το φορτίο και τη θερμοκρασία του κινητήρα.

3.1.3 Σύστημα μεταβολή προπορείας εκκεντροφόρου Vanos της BMW

Το σύστημα μεταβάλλει τη γωνία προπορείας του εκκεντροφόρου άξονα που κινεί τις βαλβίδες εισαγωγής. Η μεταβολή της γωνίας επιτυγχάνεται μέσω της παρεμβολής ενός μηχανισμού με γρανάζια μεταξύ του κυρίως γραναζιού, που μεταδίδει τη κίνηση στους εκκεντροφόρους, και του εκκεντροφόρου εισαγωγής. Τα γρανάζια συμπλέκονται ή αποσυμπλέκονται υδραυλικά μέσω δύο βαλβίδων που ελέγχονται ηλεκτρονικά.



Εικόνα 37. Σύστημα μεταβολής προπορείας του εκκεντροφόρου Vanos της BMW

Το Vanos χρησιμοποιεί μια μαγνητική βαλβίδα, η οποία ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα παίρνει τέτοια θέση, ώστε να μεταβάλλεται η πίεση του λαδιού και να μετατοπίζει ένα υδραυλικό έμβολο.

Η αξονική κίνηση του εμβόλου μετατοπίζει μέσω της οδόντωσης του εκκεντροφόρου προς τη θέση νωρίς ή αργά σε σχέση με το γρανάζι της καδένας (αλυστροχός). Στο διπλό Vanos στρέφονται και οι δύο εκκεντροφόροι ως προς τον αλυστροχό. Ως αποτέλεσμα έχουμε τη βελτιωμένη αύξηση της ροπής, τόσο στις χαμηλές όσο και στις μεσαίες στροφές. Ένα ανάλογο σύστημα απεικονίζεται παραπάνω.

Το πρώτο διπλό VANOS εμφανίστηκε το 1995 στην BMW M3. Η μεταβολή του χρονισμού επιτυγχάνεται με την μετατόπιση μίας συναρμογής γραναζιών που βρίσκεται από την μεριά που παίρνουν κίνηση οι εκκεντροφόροι διπλό Vanos εξελίσσεται μέχρι και σήμερα στα νεότερα μοντέλα της BMW.

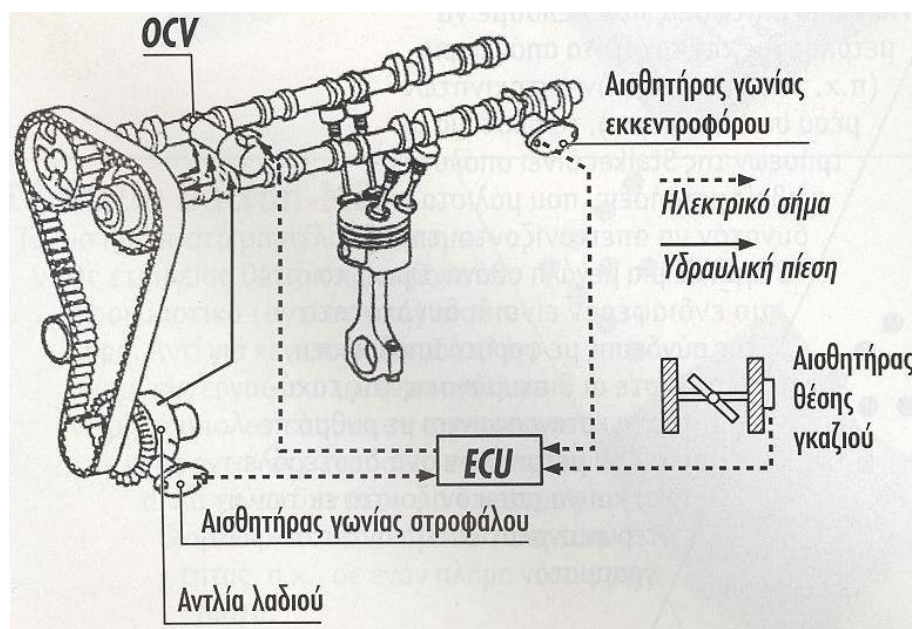
3.1.4 Το σύστημα VVT-i της Toyota

Ο «έξυπνος» μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων της Toyota ή κοινώς VVT-i χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα μοντέλα της εταιρείας. Η λέξη «έξυπνος» δίνει έμφαση στο εξελιγμένο πρόγραμμα διαχείρισης, που μεταβάλλει το χρονισμό των βαλβίδων ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα, συνυπολογίζοντας και άλλες παραμέτρους, όπως την επιτάχυνση ή την κλίση του οδοστρώματος.

Οι αισθητήρες καταγράφουν τις στροφές του κινητήρα και τη θέση του γκαζιού. Τα δεδομένα έρχονται στην κεντρική μονάδα ελέγχου (ECU) η οποία, με βάση την απαιτούμενη στιγμιαία απόδοση, καθορίζει το βέλτιστο χρονισμό των βαλβίδων και περιστρέφει υδραυλικά τον εκκεντροφόρο εισαγωγής για προπορεία ή καθυστέρηση του ανοίγματος των βαλβίδων. Η υδραυλική πίεση που χρησιμοποιείται καθορίζεται από τη βαλβίδα ελέγχου λαδιού (OCV) που ελέγχεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα. Σε πολύ χαμηλές στροφές (όταν, για παράδειγμα, ο κινητήρας δουλεύει στο ρελαντί) η πεταλούδα του γκαζιού είναι κλειστή λειτουργώντας σαν περιοριστής και δημιουργώντας υποπίεση στους αυλούς εισαγωγής.

Σε αυτήν την κλίμακα στροφών (κάτω από τις 1.000 Σ.Α.Λ.), το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων δεν είναι επιθυμητό γιατί, λόγω της υποπίεσης, μέρος των καυσαερίων βγαίνει από τις βαλβίδες εισαγωγής και αναμιγνύεται με το μίγμα καυσίμου-αέρα. Αυτό επηρεάζει την καύση και έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια του αριθμού στροφών στις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας στο ρελαντί. Σε αυτές τις στροφές, λοιπόν, το VVT-i καθυστερεί το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής. Στη μεσαία κλίμακα στροφών, το φορτίο του κινητήρα δεν είναι μεγάλο και οι απαιτήσεις εστιάζονται, κυρίως, στην οικονομία καυσίμου και τα καθαρά καυσαέρια. Σε αυτήν την περίπτωση, το VVT-i δίνει μια προπορεία στο χρονισμό των βαλβίδων, προκαλώντας ανακύκλωση των καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation), που αποτελεί μια συχνά εφαρμοζόμενη τεχνική για καλύτερη καύση στον κινητήρα και καθαρότερα καυσαέρια. Το όφελος προκύπτει από το γεγονός πως μέρος του άκαυστου καυσίμου που περιέχουν τα καυσαέρια ανακυκλώνεται, μειώνοντας το ποσοστό υδρογονανθράκων που φτάνει εντέλει στο περιβάλλον. Επιπλέον, η μίξη

ανενεργών αερίων στο μείγμα καυσίμου-αέρα έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης και, επομένως, τη μείωση των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια. Όταν το φορτίο του κινητήρα είναι μεγάλο, όπως κατά τη διάρκεια πλήρους επιτάχυνσης ή ανάβασης σε δρόμο με μεγάλη κλίση, το ζητούμενο από τον κινητήρα είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος και ροπής.

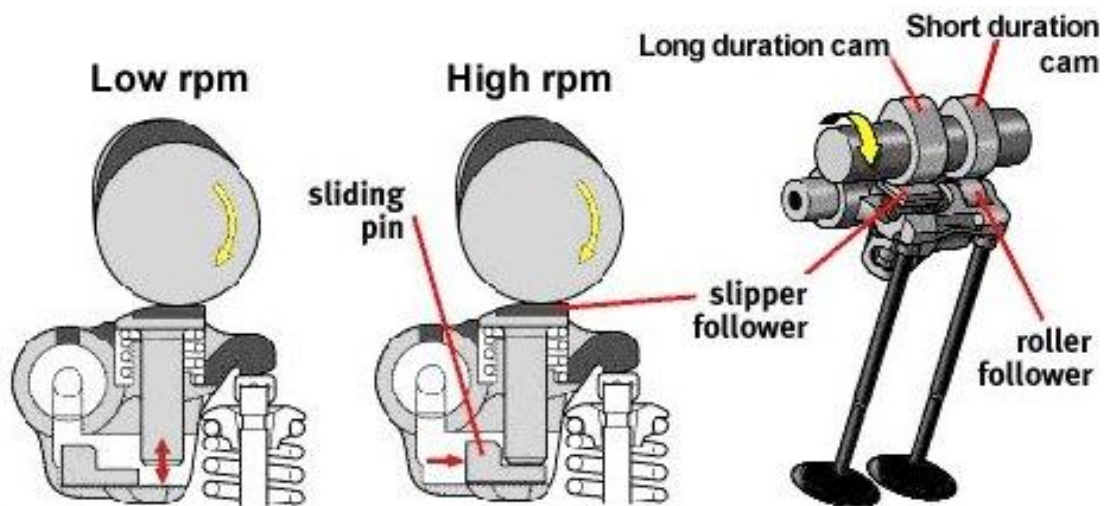


Εικόνα 38. Το σύστημα VVT-I της Toyota

Επομένως, είναι αναγκαίο να αποφευχθούν οι απώλειες στην ποσότητα μίγματος καυσίμου-αέρα που θα εισαχθεί στον κύλινδρο. Έτσι, το VVT-i κανονίζει το πρόωρο άνοιγμα, και, επομένως, το πρόωρο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής, πριν το έμβολο αρχίσει την άνοδο κατά τη φάση της συμπίεσης. Επιπλέον, σε αυτές τις συνθήκες λειτουργίας, η υποπίεση στους αλούς εισαγωγής είναι πολύ μικρή και δεν υπάρχει μίξη του καυσίμου με τα καυσαέρια, επομένως, ο κύλινδρος γεμίζει με καθαρό μίγμα καυσίμου-αέρα που είναι απαραίτητο για τέλεια καύση. Ωστόσο, το VVT-i, όντας ένα απλό στην κατασκευή και λειτουργία του σύστημα, λογικά παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η υπερκάλυψη του χρονισμού των βαλβίδων στις μεσαίες στροφές έχει θετικές επιδράσεις στην κατανάλωση και την έκλυση καθαρότερων καυσαερίων. Όμως, το φτωχότερο μείγμα με το οποίο λειτουργεί ο κινητήρας προκαλεί απώλειες ισχύος. Για το λόγο αυτόν, όλοι οι κινητήρες που είναι εφοδιασμένοι με το VVT-i έχουν αλούς εισαγωγής μεταβλητού μήκους, οι οποίοι, δημιουργώντας φαινόμενο αναρρόφησης, διευκολύνουν την έξοδο των καυσαερίων και αποτρέπουν την ανάμιξή τους με το καύσιμο.

3.1.5 VVTL-i: Η εξέλιξη του VVT-i

Το VVTL-i θεωρείται ένα από τα πιο εξελιγμένα συστήματα μεταβλητού χρονισμού που υπάρχουν σήμερα. Η λειτουργία του περιλαμβάνει συνεχόμενο μεταβλητό χρονισμό, μεταβλητή βύθιση σε δύο στάδια, μαζί με μεταβλητή διάρκεια βύθισης των βαλβίδων, ενώ επιπλέον είναι τοποθετημένο στους εκκεντροφόρους εισαγωγής και εξαγωγής. Θα μπορούσε να θεωρηθεί συνδυασμός του υπάρχοντος VVT-i και του VTEC της Honda, παρότι ο μηχανισμός για τη βύθιση των βαλβίδων διαφέρει από αυτόν της Honda. Όπως και στο VVT-i, ο χρονισμός επιτυγχάνεται αλλάζοντας τη γωνία του εκκεντροφόρου μέσω υδραυλικού μηχανισμού. Το σημαντικότερο είναι όμως το ευρύ φάσμα μεταβολής της φάσης του εκκεντροφόρου, που φτάνει τις 60° και το καθιστά ένα από τα πιο αποτελεσματικά συστήματα. Αυτό που κάνει τη διαφορά μεταξύ του VVTL-i και του VVT-i είναι το γράμμα L (Lift) για τη μεταβλητή βύθιση των βαλβίδων. Όπως και το VTEC της Honda, το σύστημα της Toyota χρησιμοποιεί ένα μονό ζύγωθρο, για την κίνηση και των δύο βαλβίδων εισαγωγής (ή εξαγωγής). Επίσης, ο εκκεντροφόρος σε κάθε θέση έχει δύο έγκεντρα με διαφορετική διατομή: ένα με μεγάλη διατομή για μεγαλύτερη διάρκεια και βύθιση βαλβίδων, που ενεργεί στις υψηλές στροφές και ένα με μικρή διατομή για τις χαμηλές στροφές.



Εικόνα 39. Η μετάβαση λειτουργίας από χαμηλό σε υψηλό ρυθμό περιστροφής στο σύστημα VVTL-i

Στις χαμηλές στροφές, το «αργό» έγκεντρο θέτει σε κίνηση το ζύγωθρο, ενώ το μεγάλο έγκεντρο δεν έχει καμία επίδραση, καθώς υπάρχει κενό κάτω από το έμβολο στο οποίο ενεργεί. Όταν, όμως, οι στροφές του κινητήρα ξεπεράσουν ένα συγκεκριμένο όριο, ένας πείρος μετακινείται με υδραυλική πίεση και καλύπτει το κενό, ενεργοποιώντας το «γρήγορο» έγκεντρο που αυξάνει τη βύθιση, ενώ η μεγαλύτερη επιφάνεια του εμβόλου που ενεργεί αυξάνει τη διάρκεια.

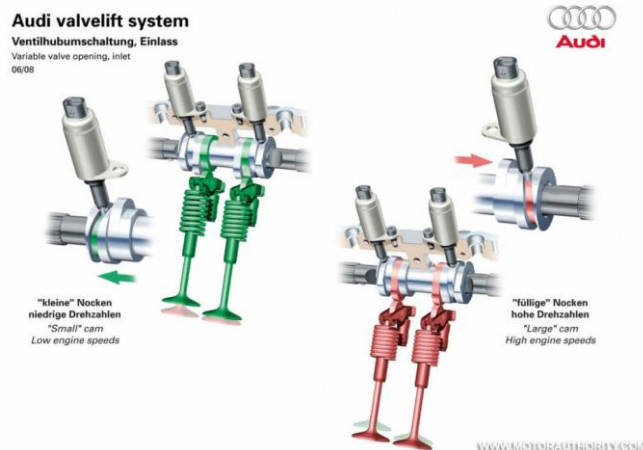
3.1.6 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού valvelift της Audi

Παρακολουθώντας της εξελίξεις στον τομέα του μεταβλητού χρονισμού στους ΜΕΚ οι μηχανικοί της Audi πρόσφατα, σχεδίασαν ένα σύστημα με γνώμονα την χαμηλή κατανάλωση και την αύξηση της ισχύος που θα αποδίδεται από τους κινητήρες της. Το σύστημα αυτό είναι το Valvelift. Κατασκευαστικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι πιο απλό κατασκευαστικά από αντίστοιχα συστήματα όπως είναι το VTEC της Honda ή το Mivec της Mitsubishi κλπ. γιατί δεν χρησιμοποιεί επιπλέον ζύγωθρα για την λειτουργία του.



Εικόνα 40. Σύστημα μεταβλητού χρονισμού valvelift της Audi. Στο αριστερό μέρος φαίνεται ο ηλεκτρομαγνητικός πείρος σε λειτουργία

Όπως φαίνεται στο σχήμα παραπάνω, Ο εκκεντροφόρος δεν αποτελείται από ένα μονοκόμματο κομμάτι μετάλλου, αλλά από πέντε κομμάτια (για 4κύλινδρο σύνολο). Αποτελείται από έναν άξονα που επάνω του ολισθαίνουν τέσσερα κυλινδρικά τμήματα που φέρουν τέσσερα έκκεντρα το καθένα (Ένα για κάθε ζεύγος βαλβίδων) όπου κινούνται αξονικά επάνω του σε έναν οδηγό, και κλειδώνουν σε συγκεκριμένη θέση με την βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών πείρων. Κάθε κυλινδρικό τμήμα φέρει δύο έκκεντρα με χαμηλό βύθισμα και δύο με διαφορετικό βύθισμα και διάρκεια, και δύο ελικοειδείς οδηγούς για τους πείρους όπου καθώς βυθίζονται μετατοπίζουν τα έκκεντρα αξονικά για να έχουμε ομαλή μετάβαση, από το ένα έκκεντρο στο άλλο. Επιτυγχάνοντας έτσι χαμηλή κατανάλωση στις χαμηλές στροφές περιστροφής και αύξηση της ισχύος στις μεσαίες και υψηλές στροφές.



Εικόνα 41. Στην εικόνα διακρίνονται και οι δύο φάσεις λειτουργίας του συστήματος Με πράσινο χρώμα για της χαμηλές στροφές και κόκκινο για υψηλό ρυθμό περιστροφής

3.1.7 Σύστημα Valvetronic της BMW

Το σύστημα Valvetronic της BMW είναι ένα από τα συστήματα που κατάφερε να ξεπεράσει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στους συμβατικούς βενζινοκινητήρες, το οποίο είναι η πεταλούδα του γκαζιού. Μέχρι σήμερα γνωρίζαμε, ότι η ισχύς και οι στροφές του κινητήρα ελέγχονται από μια πεταλούδα η οποία ανοιγοκλείνει συνεχώς, με αποτέλεσμα όταν η πεταλούδα είναι κλειστή η αναρρόφηση που δημιουργείται από το κάθε έμβολο καθώς αυτό προσπαθεί να αναρροφήσει το καύσιμο μίγμα, αναγκάζει τον κινητήρα να λειτουργεί κάτω από συνθήκες υποπίεσης δυσκολεύοντας έτσι το έργο του.



Εικόνα 42. Τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το σύστημα Valvetronic της BMW

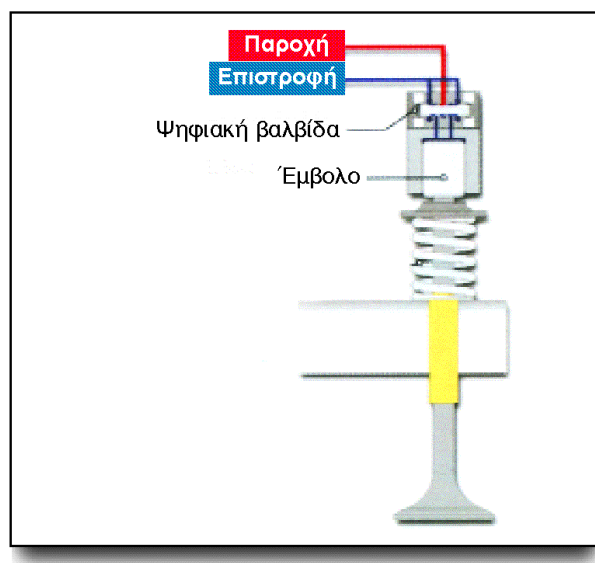
Στο σύστημα αυτό ο εκκεντροφόρος δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τα ζύγωθρα των βαλβίδων αφού ανάμεσα τους παρεμβάλλεται ένα σύστημα μόχλευσης, με έναν άξονα και έναν μοχλό. Στη μία άκρη του μοχλού επεμβαίνει ο εκκεντρος άξονας που τον μετατοπίζει έτσι ώστε να μεταβάλει την απόσταση του μοχλού και του

εκκεντροφόρου με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα. Όταν ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται ο μοχλός κινείται σαν εκκρεμές μεταδίδοντας την κίνηση στο ζύγωθρο της βαλβίδας. Όταν ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει τον άξονα ουσιαστικά μεταβάλλει την γωνία μόχλευσης μεταξύ εκκεντροφόρου και βαλβίδας με αποτέλεσμα τη συνεχόμενη μεταβολή βυθίσματος – Διάρκειας ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα.

Το σύστημα Valvetronic σε συνδυασμό με το σύστημα Double Vanos καταφέρνει να μειώσει την κατανάλωση περίπου 10% σε σχέση με τους συμβατικούς βενζινοκινητήρες.

3.1.8 Ηλεκτρομαγνητική κίνηση των βαλβίδων

Μια νέα τεχνολογία που υπόσχεται σημαντική βελτίωση στην κίνηση των βαλβίδων χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία που ανοίγουν τις βαλβίδες ενάντια σε ένα ελατήριο και με ρύθμιση του χρονισμού τους από τον κεντρικό ηλεκτρονικό εγκέφαλο (ECU).



Εικόνα 43. Στην εικόνα διακρίνονται τα μέρη του συστήματος ηλεκτρομαγνητικής λειτουργίας βαλβίδων

Τα πλεονεκτήματα αυτής της κατασκευής είναι η ακρίβεια στην επικάλυψη του ανοίγματος των βαλβίδων ανάλογα με τις εκάστοτε στροφές του κινητήρα και σε ένα μεγάλο φάσμα ρυθμιστικών δυνατοτήτων και η πολύ μικρή απαίτηση σε ισχύ για την κίνηση των βαλβίδων, αφού δεν απαιτούνται πλέον εκκεντροφόροι, γρανάζια κλπ.

4 Κατασκευή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο σχεδιασμός εκπαιδευτικού μοντέλου συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων μηχανής εσωτερικής καύσης και η επιλογή των υλικών κατασκευής του κάθε εξαρτήματος. Καθώς επίσης παρουσιάζεται η κατασκευή του συστήματος ηλεκτρονικού ελέγχου λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα και του μηχανισμού εμπλοκής

4.1 Λογισμικό Δημιουργίας Μοντέλων 3D CAD

Το λογισμικό με το οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία σχεδιασμού είναι το SolidWorks 2010, ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό πακέτο το οποίο βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην σύγχρονη Βιομηχανία. Συγκεκριμένα το SolidWorks αποτελεί ένα πακέτο 3D CAD μοντελοποίησης, το οποίο υποστηρίζεται από το λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows και έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Dassault Systèmes SolidWorks Corp, θυγατρική της Dassault Systèmes, S. A. Το SolidWorks χρησιμοποιείται σήμερα από περισσότερους από 1,3 εκ. μηχανικούς και σχεδιαστές και περισσότερες από 130.000 εταιρίες ανά τον κόσμο. Ιστορικά το SolidWorks εμφανίστηκε στη διεθνή αγορά το Δεκέμβριο του 1993 από τον Jon Hirschtick, οποίος με έδρα το Concord, Μασαχουσέτη, ΗΠΑ προσέλαβε μια ομάδα μηχανικών για την δημιουργία μιας εταιρείας, η οποία θα ανέπτυξε ένα 3D CAD λογισμικό το οποίο ήταν εύκολο στη χρήση, προσιτό και ικανό να λειτουργήσει σε έναν συμβατικό προσωπικό υπολογιστή. Το 1997 η Dassault Systèmes, εταιρία γνωστή στο χώρο των λογισμικών μοντελοποίησης για το CATIA CAD λογισμικό της, απέκτησε την εταιρεία και σήμερα κατέχει το 100% των μετοχών της.

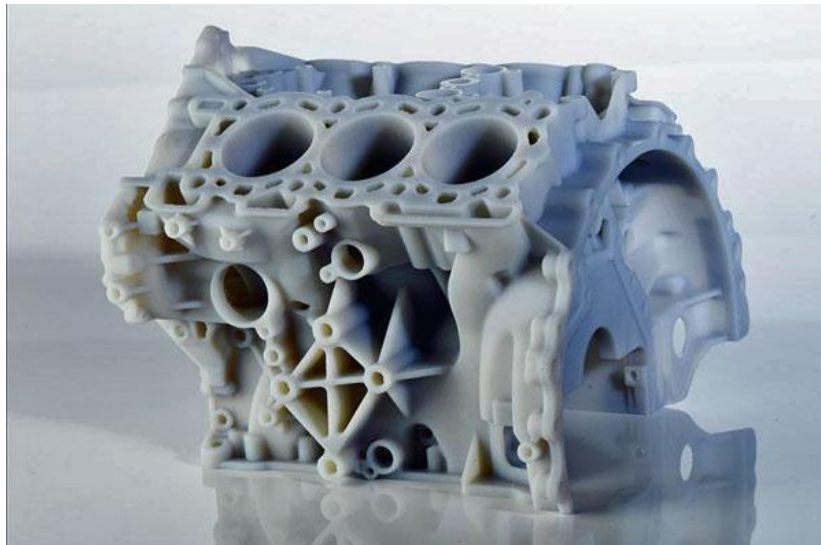


Πλατφόρμες που ενσωματώνει το πακέτο του SolidWorks είναι:

- Το ***SolidWorks Simulation***, το οποίο αποτελεί ένα εργαλείο για την επικύρωση του μηχανολογικού σχεδιασμού. Το εργαλείο αυτό αναδεικνύει στους μηχανικούς τη συμπεριφορά του σχεδιασμένου αντικειμένου στο φυσικό περιβάλλον για το οποίο προορίζεται. Συνεπώς με την πλατφόρμα του SolidWorks Simulation μπορεί να μελετηθεί η συμπεριφορά του σχεδιασμένου αντικείμενο υπό την επίδραση δυναμικών και θερμικών φορτίων, να ευρεθεί η ιδιοσυχνότητά του κ.α.
- Το ***SolidWorks Motion***, που αποτελεί ένα εικονικό εργαλείο προτυποποίησης, το οποίο παρέχει δυνατότητες προσομοίωσης της κίνησης ενός μηχανισμού, ελέγχοντας με τον τρόπο αυτόν την ομαλή και επιδιωκόμενη λειτουργία του.
- Το ***SolidWorks Flow Simulation***, το οποίο αποτελεί ένα πλήρες εικονικό εργαλείο προσομοίωσης της ροής ρευστού και της μεταφοράς θερμότητας, προσφέροντας τη δυνατότητα στους μηχανικούς να διεξάγουν δοκιμές σε εικονικά πρωτότυπα.

4.2 Τρισδιάστατος εκτυπωτής

Η **τρειςδιάστατη εκτύπωση** (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στη τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, όπως κεραμικά και πολυμερή. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση από άλλες μεθόδους μοντελοποίησης.



Εικόνα 44. Κατασκευή μοντέλου από ABS ενός κινητήρα V6. Διακρίνεται η πολυπλοκότητα της κατασκευής που θα ήταν αρκετά περίπλοκο και χρονοβόρο να κατασκευαστεί με άλλη μέθοδο

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής.



Εικόνα 45. Μόσχευμα κατασκευασμένο από σκόνη τιτανίου σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Το μόσχευμα τοποθετήθηκε σε μία 80χρονη με θετικά αποτελέσματα για το μέλλον της διαδικασίας

Στο εργαστήριο ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ του ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ έχουμε την δυνατότητα χρήσης δύο μηχανών τρισδιάστατης εκτύπωσης της DIMENSION elite και της DIENSION bst 768.



Εικόνα 46. τρισδιάστατος εκτυπωτής DIENSION bst768

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής DIENSION bst768 κατασκευάζει τεμάχια με δυνατότητα επιλογή πάχους στρώσης 0.254mm και 0,3302mm και το υλικό που χρησιμοποιεί για να τα κατασκευάσει είναι το ABS (Acrylonitrile butadiene styrene).



Εικόνα 47. Τρισδιάστατος εκτυπωτής DIENSION elite

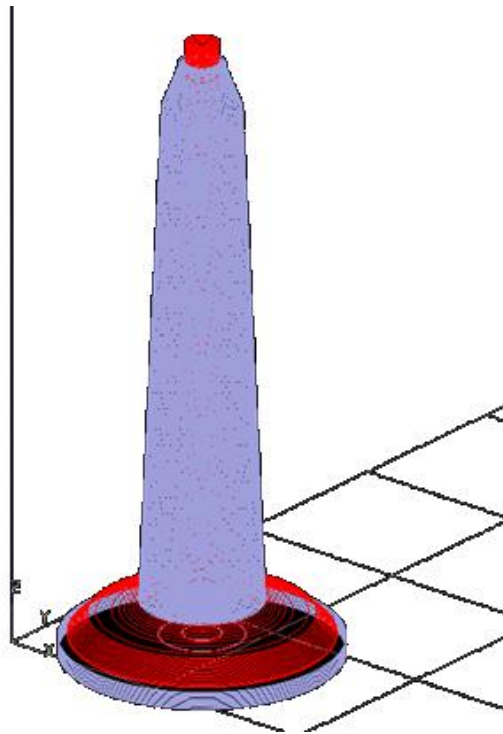
Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής DIENSION elite χαρακτηρίζεται από ποιοτική και λεπτομερή κατασκευή των τεμαχίων μιας και έχει να επιλέξει ανάμεσα σε 0.254mm και 0.1778mm για το πάχος της κάθε στρώσης επιτυγχάνοντας έτσι κατασκευή μοντέλων με πολύπλοκη γεωμετρία. Επίσης, το υλικό βάσης (support) που στηρίζει το μοντέλο (main) μπορεί να αφαιρεθεί σε ειδικό βραστήρα απομάκρυνσης υλικού χωρίς να επέμβουμε στην διαδικασία, αποφεύγοντας έτσι ατυχήματα κατά την αφαίρεση του σε πολύπλοκες γεωμετρίες .

4.3 Λογισμικό τρισδιάστατου εκτυπωτή Catalyst® EX

Μετά την ολοκλήρωση των σχεδίων σε τρισδιάστατο περιβάλλον (π.χ. SolidWorks, Pro/Engineer, 3ds max) γίνεται εξαγωγή τους σε μορφή στερεάς μοντελοποίησης και το σχέδιο αποκτά κατάληξη .STL (stereolithography), αυτό τροφοδοτείται στο λογισμικό του τρισδιάστατου εκτυπωτή (Catalyst EX) που χρησιμοποιεί το mesh του STL για μετάφραση του αρχείου στην γλώσσα λειτουργίας του τρισδιάστατου εκτυπωτή.



Το λογισμικό του τρισδιάστατου εκτυπωτή (Catalyst EX) διαχειρίζεται τη στοίβα των ψηφιακών διατομών για να παράγει το κάθε επίπεδο υλικού, το ένα πάνω στο άλλο.



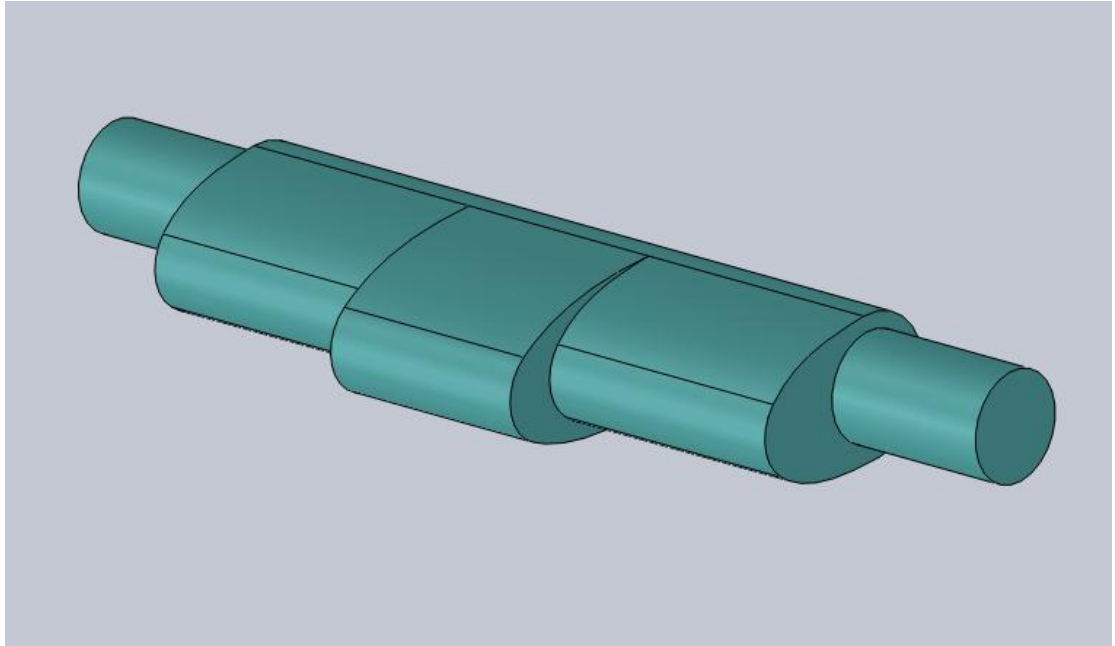
Εικόνα 48.

Στην εικόνα διακρίνεται το υλικό στήριξης (μπλε χρώμα) για τη στήριξη του μοντέλου (κόκκινο) , το οποίο επιτρέπει στον τρισδιάστατο εκτυπωτή την ολοκλήρωση της κατασκευής αποφεύγοντας μεταβολές στην γεωμετρία του μοντέλου

Επίσης, επιλέγει με βάση τη γεωμετρία του σχεδίου σε ποία σημεία θα τοποθετηθεί υλικό στήριξης στο μοντέλου, ώστε να αποφευχθούν τυχόν μεταβολές στον αρχικό σχεδιασμό λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών λειτουργίας του τρισδιάστατου εκτυπωτή.

4.4 Σχεδιασμός και κατασκευή εκκεντροφόρου άξονα

Ο εκκεντροφόρος άξονας είναι το βασικότερο μέρος ενός συστήματος μεταβλητού χρονισμού αυτού του είδους. Οπότε κρίθηκε απαραίτητο ο σχεδιασμός να ξεκινήσει από αυτόν ώστε να υπάρχει μία βάση για την περαιτέρω εξέλιξη του μοντέλου, ως προς τις διαστάσεις και τον όγκο του.

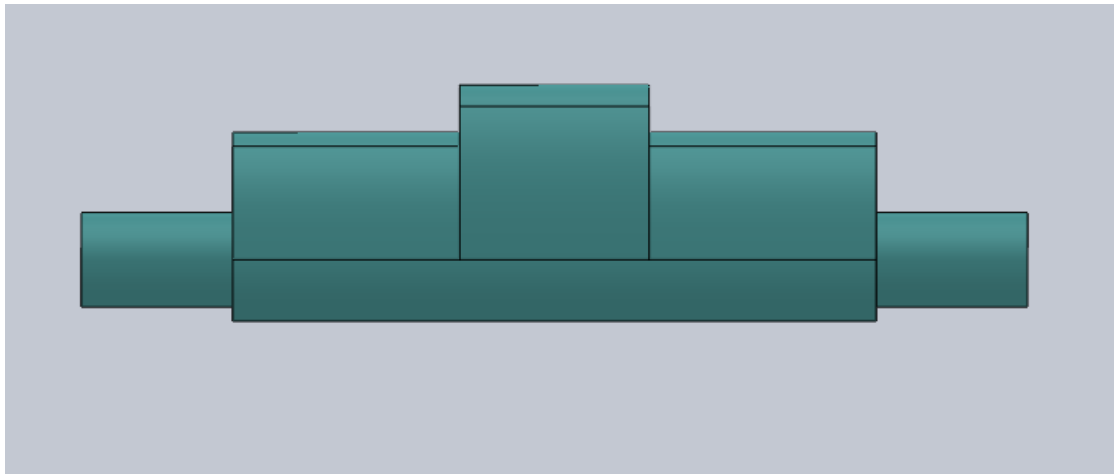


Εικόνα 49.

Ο εκκεντροφόρος έχει τρία έκκεντρα, ένα για κάθε ζύγωθρο του μοντέλου μας

Ο εκκεντροφόρος έχει τρία έκκεντρα. Ένα για κάθε ζύγωθρο (κοκοράκι) ώστε να υπάρχει η μετάβαση από το ομαλό έκκεντρο, στο έκκεντρο με το μεγάλο βύθισμα.

Τα ομαλά έκκεντρα έχουν βύθισμα 5mm, και το έκκεντρο με το μεγαλύτερο βύθισμα έχει 10mm. Με αποτέλεσμα κατά την εμπλοκή να έχουμε αύξηση κατά 5mm του βυθίσματος των βαλβίδων.



Εικόνα 50.

Στην εικόνα του εκκεντροφόρου διακρίνεται η διαφορά στο ύψος των έκκεντρων, που ορίζεται στα 5mm

Το υλικό που είχε επιλεγθεί για την κατασκευής του εκκεντροφόρου αρχικά ήταν το ABS (Acrylonitrile butadiene styrene). Το οποίο θα κατασκευαζόταν σε 3d printer στο εργαστήριο Ρομποτικής.



Εικόνα 51.

Ο άξονας με τοποθετημένα τα έκκεντρα. Στο πλάι του διακρίνεται ο σφηνόδρομος για να επιτύχουμε την μεταξύ τους εμπλοκή

Στην συνέχεια κατασκευάστηκε από ράβδους αλουμινίου στρογγυλής διατομής μιας και ήταν κοντά στην επιθυμητή γεωμετρία.



Εικόνα 52.

Στην εικόνα διακρίνονται οι δοκοί αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου μας

Η κατασκευή του εκκεντροφόρου έγινε σε φρέζα σε δύο τμήματα.

- Κατασκευή έκκεντρων.
- Δημιουργία σφηνόδρομου στον άξονα πού θα τα στηρίζει.



Εικόνα 53.

Τα έκκετρα πριν τοποθετηθούν στον άξονα τους

Μετά την εξωτερική μορφοποίηση των έκκεντρων και το τρύμα που θα τοποθετηθεί ο άξονας, έπρεπε να δημιουργήσουμε σφηνόδρομο στο εσωτερικό τους. Το σφηνόδρομο είναι όμοιο με αυτό του άξονα για να συνεργαστούν μεταξύ τους.



Εικόνα 54. Στην εικόνα φαίνεται ο σφηνόδρομος που δημιουργήθηκε κατά μήκος του άξονα για την στήριξη των έκκεντρων

Ο άξονας του εκκεντροφόρου κατασκευάστηκε από δοκό αλουμινίου Φ10mm. Επιφανειακά δημιουργήθηκε σφηνόδρομο, ώστε με την χρήση κατάλληλα διαμορφωμένης σφήνας να επιτυγχάνεται η σωστή συναρμογή με τα έκκεντρα.



Εικόνα 55. Ο άξονας με τα έκκεντρα πριν συναρμολογηθούν

Επίσης, το ένα του άκρο έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εφαρμόζει στον οδοντωτό τροχό που θα του μεταδίδει την κίνηση.

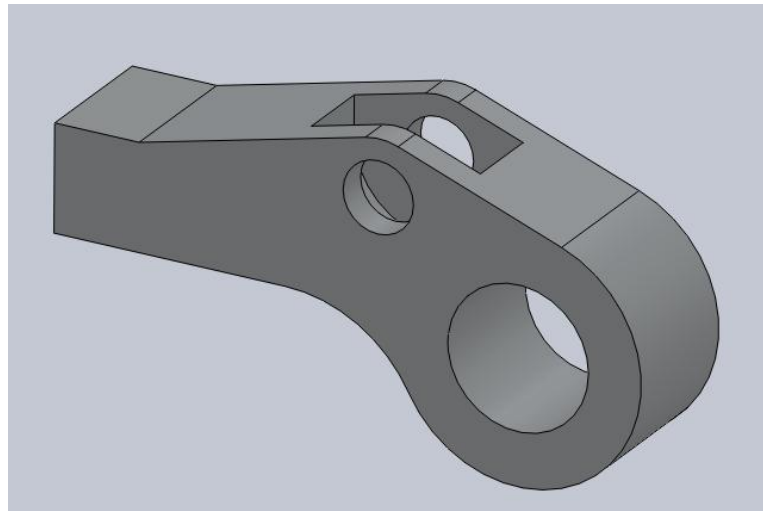


Εικόνα 56. Ο εκκεντροφόρος άξονας ολοκληρωμένος και έτοιμος για χρήση

Μετά λειάνθηκε για να έχουμε ομαλές επιφάνειες και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

4.5 Σχεδιασμός και κατασκευή ζυγώθρου (κοκοράκι)

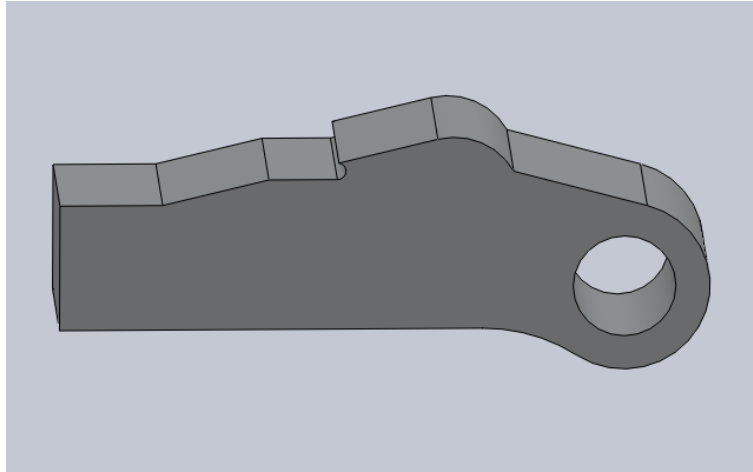
Για τα ζυγώθρα αρχικά επιλέχτηκε σαν υλικό κατασκευής το ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) και ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην αντοχή του υλικού, καθώς και στην αντοχή στις αναπτυσσόμενες τριβές κατά την κύλιση των ζυγώθρων με τον εκκεντροφόρο άξονα.



Εικόνα 57.

Στο αρχικό σχέδιο για το ζυγώθρο, φαίνεται η θέση του εδράνου ολίσθησης (ρουλεμάν) για την έδραση του και η θέση του εδράνου ολίσθησης (ρουλεμάν) για το σημείο επαφής του με τον εκκεντροφόρο

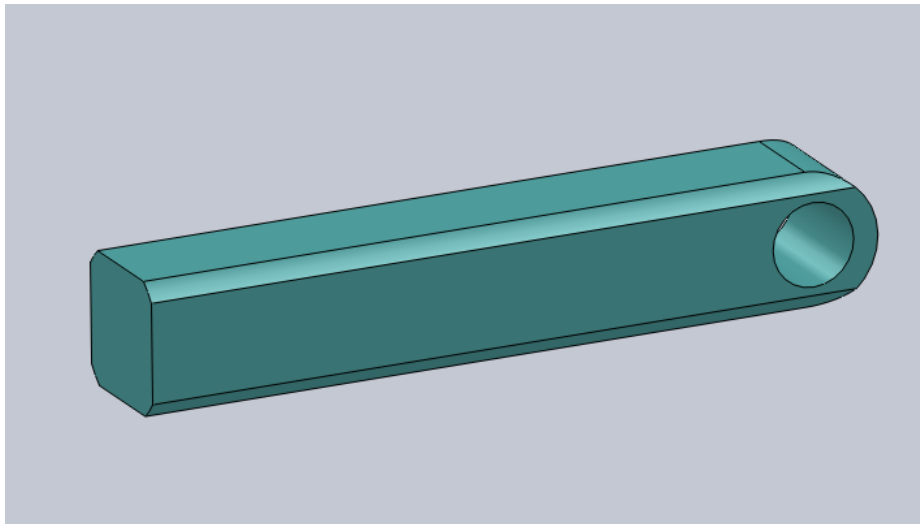
Στη συνέχεια, ενώ είχε κριθεί αναγκαία η τοποθέτηση εδράνων κύλισης (ρουλεμάν) για την έδραση του ζυγώθρου λόγω της τριβής με τον εκκεντροφόρο άξονα παρατηρήθηκε ότι αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους του με αρνητικές συνέπειες στους χρόνους επαναφοράς στην αρχική του θέση.



Εικόνα 58.

Το ζύγωθρο μετά την αφαίρεση των εδράνων ολίσθησης (ρουλεμάν). Στο επάνω μέρος φαίνεται το σημείο όπου θα τοποθετηθεί το έλασμα για την προστασία του υλικού από τριβές

Βάσει των παραπάνω, αφού αφαιρέθηκαν τα έδρανα κύλισης, το σχέδιο τροποποιήθηκε έτσι ώστε να τοποθετηθεί έλασμα στο σημείο τριβής του ζύγωθρου με τον εκκεντροφόρο άξονα. Επίσης αφαιρέθηκε και το ρουλεμάν έδρασης στη βάση ώστε να μειωθεί ο συνολικός του όγκος, αλλά αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη φθορά του υλικού λόγω τριβής με τον άξονα στήριξης. Έτσι επιλέχτηκε ως υλικό κατασκευής το αλουμίνιο και για αυτό το στοιχείο.



Εικόνα 59.

Η τελική μορφή του σχεδίου, μετά την επιλογή του αλουμινίου σαν υλικό κατασκευής. Το σχέδιο προσαρμόστηκε με τη γεωμετρία των δοκών αλουμινίου της αγοράς

Κατά συνέπεια, το σχέδιο τροποποιήθηκε με βάση τις δοκούς αλουμινίου οι οποίες είναι διαθέσιμες στην αγορά, ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή.

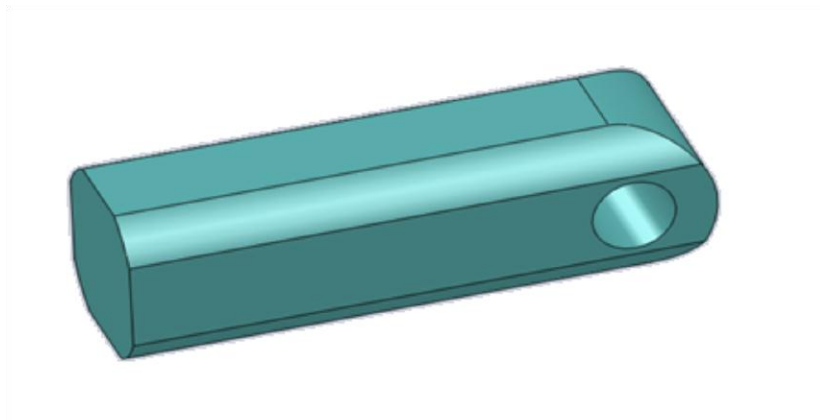


Εικόνα 60. Το ζυγόθρο έχει πάρει την τελική του μορφή μετά από κατεργασία σε φρέζα

Η κατασκευή του ζυγόθρου έγινε σε φρέζα και μετά την τελική μορφοποίηση έγινε λείανση ώστε να έχουμε λείες επιφάνειες.

4.6 Σχεδιασμός και κατασκευή κεντρικού ζυγόθρου (κοκοράκι)

Το υλικό κατασκευής του ζυγόθρου θα είναι επίσης το αλουμίνιο, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη χρήση του ABS που είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.



Εικόνα 61.

Η τελική μορφή του κεντρικού ζυγόθρου, είναι βασισμένη στο σχέδιο των άλλων δυο ζυγόθρων

Ο σχεδιασμός του κεντρικού ζυγώθρου θα βασιστεί στην εξέταση της συνεργασίας του με τα άλλα δύο ζυγώθρα της κατασκευής, και τη μεγαλύτερη διατομή του αφού στο εσωτερικό του πρόκειται να φιλοξενήσει ένα Micro Servo και τον μηχανισμό εμπλοκής του συστήματος μεταξύ των τριών ζυγώθρων.

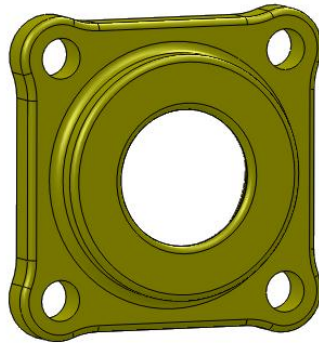


Εικόνα 62. Κεντρικό ζυγώθρο μετά την κατεργασία σε φρέζα

Η κατασκευή του ζυγώθρου πραγματοποιήθηκε σε φρέζα. Κατόπιν λειάνθηκε για να μειωθούν οι τριβές στο σημείο επαφής με τον εκκεντροφόρο.

4.7 Σχεδιασμός και κατασκευή βάσης εδράνων κύλισης εκκεντροφόρου άξονα

Στην προσπάθεια μείωσης των τριβών σε όλα τα κινητά και περιστρεφόμενα μέρη της κατασκευής κρίθηκε απαραίτητη η τοποθέτηση εδράνων κύλισης (ρουλεμάν) για τη στήριξη του εκκεντροφόρου άξονα.



Εικόνα 63.

Στην βάση στήριξης του εδράνου ολίσθησης (ρουλεμάν) διακρίνονται οι τέσσερις οπές για την τοποθέτηση των κοχλιών που θα το στηρίζουν

Μετά την επιλογή των ρουλεμάν βάσει της εσωτερικής τους διαμέτρου $d=10\text{ mm}$ και εφόσον πρόκειται να συνεργαστούν με τον άξονα $\Phi 10\text{mm}$ του εκκεντροφόρου σχεδιάστηκε η βάση στήριξής τους.



Εικόνα 64. Στην εικόνα διακρίνονται τα έδρανα ολίσθησης (ρουλεμάν) που θα τοποθετηθούν για την στήριξη του εκκεντροφόρου άξονα

Για την επιλογή του υλικού, κρίθηκε επαρκής η αντοχή του ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) μετά από ανάλυση στο υπολογιστικό πρόγραμμα SolidWorks.



Εικόνα 65. Το έδρανο στήριξης τοποθετημένο στην βάση που το συγκρατεί

Μετά την σχεδίαση πραγματοποιήθηκε η κατασκευή της βάσης στήριξης στον τρισδιάστατο εκτυπωτή στο εργαστήριο Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης.

4.8 Σχεδιασμός και κατασκευή μηχανισμού εμπλοκής ζυγώθρων

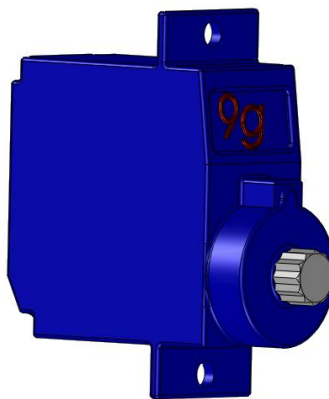
Κατόπιν της κατασκευής των τριών ζυγώθρων έπρεπε να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένας μηχανισμός που να μπορεί να εμπλέκει και να απεμπλέκει τα δύο ακριανά ζύγωθρα με το κεντρικό που θα φέρει τον μηχανισμό.



Εικόνα 66.

Το πτερύγιο που δημιουργεί την εμπλοκή τοποθετημένο στο MICRO SERVO που θα το κινεί

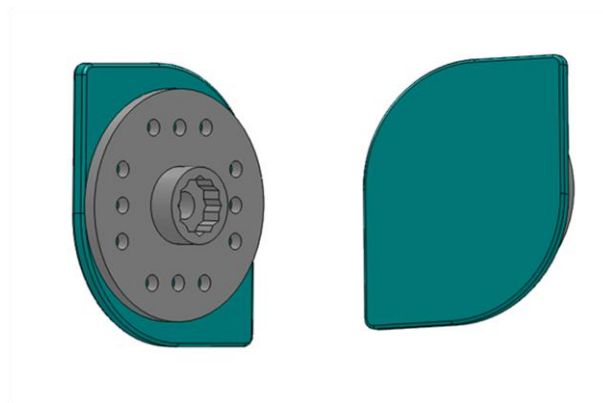
Αφού έγινε η επιλογή του MICRO SERVO βάσει των χαρακτηριστικών του για τα μεγέθη της ισχύος και της ταχύτητας περιστροφής, που θα χρησιμοποιήσουμε σαν επενεργητή, πραγματοποιήθηκε η πιστή απεικόνιση του σε τρισδιάστατη μορφή στο σχεδιαστικό περιβάλλον του SolidWorks ώστε να μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες κινηματικές αναλύσεις και τροποποιήσεις στο εσωτερικό του κεντρικού ζυγώθρου.



Εικόνα 67.

Τρισδιάστατη απεικόνιση του MICRO SERVO που θα τοποθετηθεί στο κάτω μέρος του κεντρικού ζυγώθρου

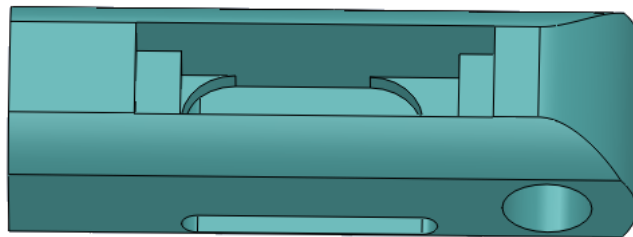
Κατόπιν, έγινε η τρισδιάστατη απεικόνιση της τροχαλίας επέκτασης του MICRO SERVO, και η σχεδίαση του πτερυγίου που θα χρησιμοποιηθεί για την μεταξύ τους εμπλοκή.



Εικόνα 68.

Τρισδιάστατη απεικόνιση της τροχαλίας επέκτασης του MICRO SERVO, συναρμολογημένη με το πτερύγιο εμπλοκής των ζυγώθρων

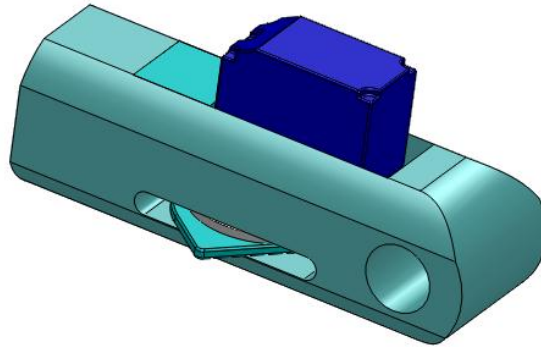
Αφού τα εξαρτήματα που θα απαρτίζουν το μηχανισμό μας είχαν σχεδιαστεί, τροποποιήθηκε το κεντρικό ζυγώθρο ώστε να επιτρέπει τη στήριξη των υπολοίπων εξαρτημάτων για να είναι δυνατή η μεταξύ τους συνεργασία.



Εικόνα 69.

Στην εικόνα αυτή διακρίνεται το σημείο που θα γίνει κατεργασία για αφαίρεση υλικού, ώστε να δεχτεί στο εσωτερικό του το MICRO SERVO και την τροχαλία με το πτερύγιο

Κατόπιν μελέτης εντοπίστηκε ο γεωμετρικός τόπος της απομάκρυνσης υλικού για την τοποθέτηση του MICRO SERVO, στο κάτω μέρος του ζυγώθρου. Επίσης, σχεδιάστηκε ο οδηγός στα πλάγια του, για την οδήγηση του πτερύγιου ώστε να πραγματοποιείται η εμπλοκή του με τα δύο πλαϊνά ζυγώθρα.



Εικόνα 70.

Τελική μορφή του κεντρικού ζύγωθρου μετά την συναρμολόγηση



Εικόνα 71. Η τροχαλία επέκτασης του MICRO SERVO τοποθετημένη στο πτερύγιο εμπλοκής

Το υλικό που επιλέχτηκε για την κατασκευή του πτερυγίου εμπλοκής είναι το αλουμίνιο έναντι του ABS, λόγω των μεγάλων δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της εμπλοκής, και της μεγάλης πιθανότητας αστοχίας που θα παρουσίαζε εάν το υλικό κατασκευής ήταν το ABS (Acrylonitrile butadiene styrene).



Εικόνα 72. Στην εικόνα διακρίνεται η κατεργασία στο εσωτερικό του κεντρικού ζυγώθρου για την αφαίρεση υλικού

Όπως και όλες οι προηγούμενες κατεργασίες έτσι και εδώ η αφαίρεση του υλικού από το κεντρικό ζύγωθρο έγινε σε φρέζα.



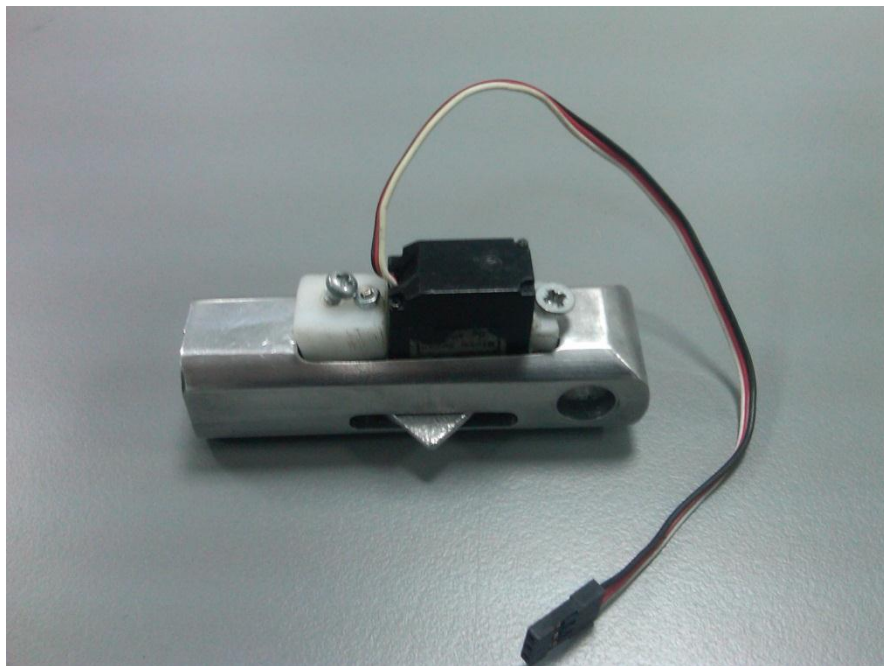
Εικόνα 73. Στο προφίλ του κεντρικού ζυγώθρου διακρίνεται ο οδηγός του πτερυγίου εμπλοκής μετά την κατασκευή του σε φρέζα

Μετά την αφαίρεση του υλικού από το εσωτερικό του ζύγωθρου, σειρά είχε η δημιουργία οδηγού στα πλάγια για την οδήγηση του πτερύγιου που θα δημιουργεί την εμπλοκή με τα άλλα ζύγωθρα.



Εικόνα 74. Το κεντρικό ζυγόθρο με το πτερόγιο εμπλοκής τοποθετημένο σε ανοιχτή θέση

Αφού όλα τα μέρη του μηχανισμού κατασκευάστηκαν, σειρά είχε η μεταξύ τους συναρμολόγηση για να εξασφαλίσουμε ότι όλα θα λειτουργήσουν όπως προβλέπει ο σχεδιασμός.



Εικόνα 75. Στο κάτω μέρος του κεντρικού ζυγόθρου διακρίνεται το MICRO SERCO.

Επίσης, κρίθηκε απαραίτητο για μείωση των τριβών και για αισθητικούς λόγους η λείανση των επιφανειών.

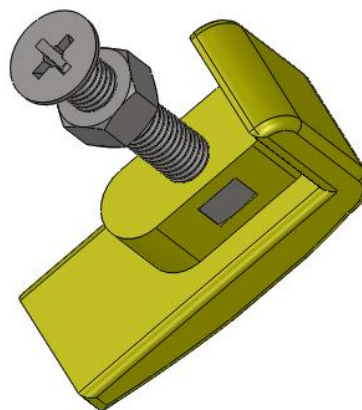
4.9 Σχεδιασμός και κατασκευή μηχανισμού ρύθμισης διάκενου βαλβίδων

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του μηχανισμού εμπλοκής, εν συνεχεία υλοποιήθηκε ο μηχανισμός ρύθμισης του διακένου των βαλβίδων.



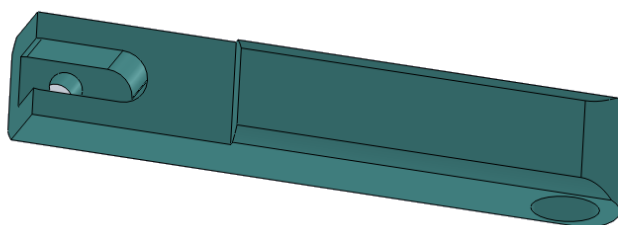
Εικόνα 76. Το ζυγόθρο συναρμολογημένο με το σύστημα ρύθμισης του διάκενου

Ο μηχανισμός που σχεδιάστηκε πρέπει να συνεργάζεται με τα ήδη ολοκληρωμένα μέρη του ζυγόθρου.



Εικόνα 77. Στην εικόνα αυτή διακρίνεται το εσωτερικό περικόχλιο που τοποθετείται μέσα στο στέλεχος για να επιτρέπει τη ρύθμιση του, μαζί με τον κοχλία

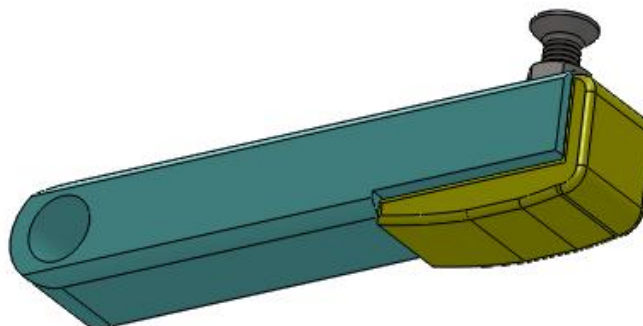
Το βασικό στέλεχος φέρει κοχλία για την ρύθμιση του διάκενου. Επίσης, η μετωπική επιφάνεια του στελέχους είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να έχει συνεχή επαφή με την βαλβίδα, καθώς αλλάζει η μεταξύ τους γωνία.



Εικόνα 78.

Στο άκρο του ζύγωθρου διακρίνεται ο οδηγός που θα τοποθετηθεί το στέλεχος με τον κοχλία, και η οπή του κοχλία στήριξης

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του συστήματος και των τροποποιήσεων των δύο ζυγώθρων, ώστε να συνεργαστούν, δημιουργήθηκε ένας οδηγός στο άκρο τους. Ο ρόλος του είναι να δεχτεί το κινούμενο στέλεχος που θα φέρει στο εσωτερικό του ένα περικόχλιο και με την βοήθεια ενός ρυθμιστικού κοχλία θα μπορεί να μετατοπιστεί, έτσι ώστε να ρυθμίζει το διάκενο όπως προέβλεπε ο αρχικός σχεδιασμός.



Εικόνα 79. Η τελική μορφή του ζύγωθρου πριν την κατασκευή του μηχανισμού ρύθμισης του διάκενου

Λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής του στελέχους, (ύπαρξη κενού στο εσωτερικό του για την εφαρμογή του περικόχλιου), κατασκευάστηκε από ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) σε 3D PRINTER στο εργαστήριο ΠΟΜΠΙΟΤΙΚΗΣ του ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ.



Εικόνα 80. Το κινούμενο στέλεχος κατασκευασμένο από ABS συναρμολογημένο με τον κοχλία που θα ρυθμίζει την θέση του

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του κινούμενου στελέχους σειρά είχε η τροποποίηση του ζύγωθρου ώστε να συναρμωστεί επάνω του.



Εικόνα 81. Το ζύγωθρο μετά την κατεργασία σε φρέζα για την δημιουργία του οδηγού

Αφού η κατεργασία στο άκρο του ζύγωθρου ολοκληρώθηκε, σειρά είχε η μεταξύ τους συναρμολόγηση για να εξασφαλίσουμε ότι όλα θα λειτουργήσουν όπως σχεδιάστηκαν.

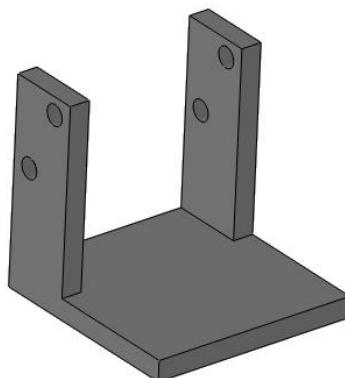


Εικόνα 82. Το ζυγόθρο συναρμολογημένο με το μηχανισμό ρύθμισης διάκενου. Στο πλάι του διακρίνεται ο οδηγός που θα εισέρχεται το πτερύγιο και θα δημιουργεί την εμπλοκή

Οι κατεργασίες στα δύο ζυγόθρα έγιναν σε φρέζα, και εφόσον ήταν ολοκληρωμένα λειάνθηκαν επιφανειακά για μείωση των τριβών στο σημείο επαφής με τον εκκεντροφόρο αλλά και για αισθητικούς λόγους.

4.10 Σχεδιασμός και κατασκευή βάσης στήριξης

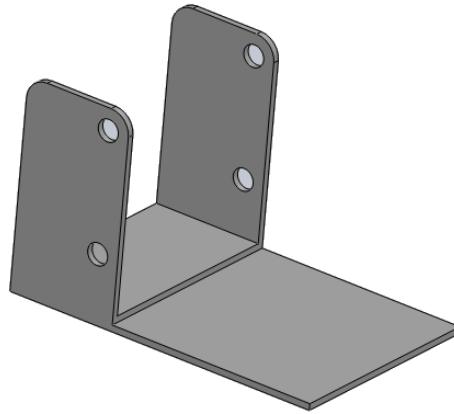
Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του εκκεντροφόρου και των ζυγόθρων, σειρά είχε η βάση στήριξης.



Εικόνα 83.

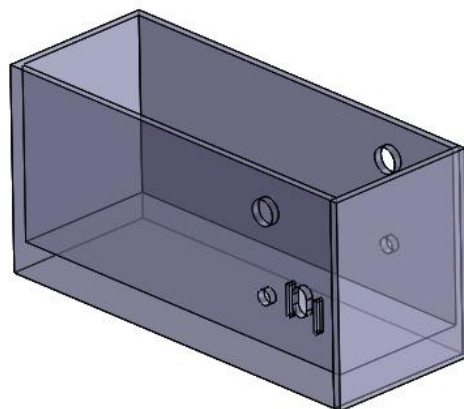
Το αρχικό σχέδιο της βάσης στήριξης που είχε σαν υλικό κατασκευής τα φύλλα πλαστικού Ertalon

Η βάση στήριξης θα πρέπει να στηρίζει τον άξονα που εδράζονται τα ζύγωθρα και τις βάσεις που θα φέρουν τα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν) για την έδραση του εκκεντροφόρου άξονα. Οι δύο άξονες θα τοποθετηθούν σε απόσταση τόση ώστε να τηρείται ο αρχικός σχεδιασμός.



Εικόνα 84. Το δεύτερο σχέδιο της βάσης με υλικό κατασκευής το ανοξείδωτο ατσάλι

Τα σχέδια της βάσης στήριξης άλλαξαν αρκετές φορές, τόσο στην γεωμετρία όσο και στο υλικό κατασκευής. Τελικά επιλέχθηκαν τα διάφανα φύλλα πλαστικού (fiberglass).



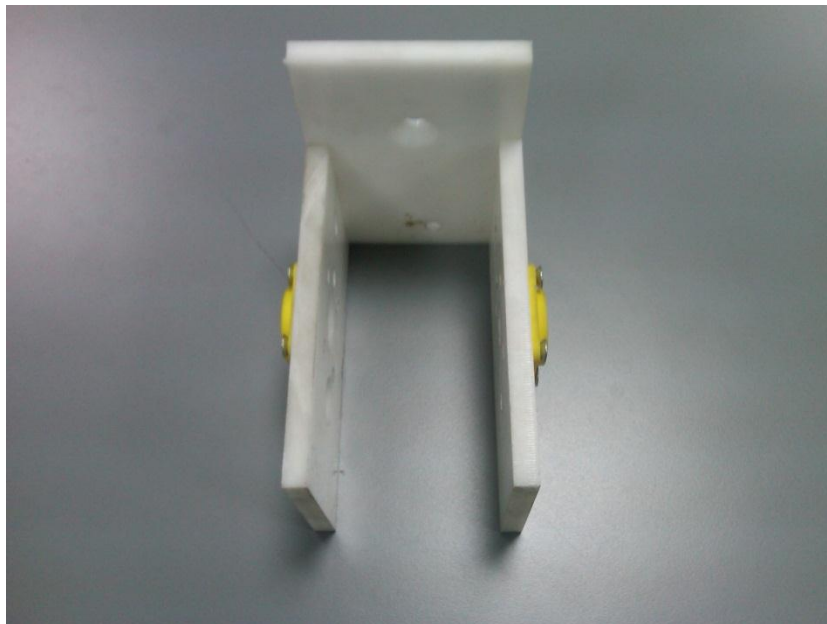
Εικόνα 85. Το σχέδιο της βάσης στήριξης από διάφανα φύλλα πλαστικού (fiberglass)

Στα σχέδια για τη βάση στήριξης, έχει προβλεφθεί και η θέση για την στήριξη του ηλεκτροκινητήρα που θα δίνει κίνηση στο μοντέλο μας.



Εικόνα 86. Η αρχική κατασκευή της βάσης στήριξης που είχε σαν υλικό κατασκευής φύλλα πλαστικού Ertalon

Βάσει των παραπάνω σχεδίων έγιναν και αρκετές τροποποιήσεις στην κατασκευή μας έως ότου προκύψει η βέλτιστη για την εφαρμογή μας.



Εικόνα 87. Λόγω του μεγέθους και του πάχους τους το Ertalon απορρίφτηκε σαν υλικό κατασκευής

Αρχικά, κατασκευάστηκε από φύλλα πλαστικού Ertalon αφού ήταν εύκολο να κατεργαστεί. Όμως για να είναι στιβαρή η κατασκευή το μέγεθος τους έπρεπε να είναι μεγάλο με αποτέλεσμα να μην έχουμε καλή οπτική επαφή με τα κινούμενα μέρη του μοντέλου.



Εικόνα 88. Με υλικό κατασκευής το ανοξείδωτο ατσάλι επιτεύχθηκε η στιβαρότητας της κατασκευής

Στην δεύτερη κατασκευή σαν υλικό επιλέχθηκε το ανοξείδωτο ατσάλι. Έτσι μετά από την κοπή της βέργας και τη μορφοποίηση της σε ειδικό κουρμαδόρο ήταν δυνατή η συναρμογή των υπολοίπων εξαρτημάτων με αυτήν.



Εικόνα 89.

Στην εικόνα αυτή διακρίνονται τα διάφανα φύλλα πλαστικού που επιλέχθηκαν για την κατασκευή της βάσης ώστε να διακρίνονται όλα τα μέρη της κατασκευής

Όμως για αισθητικούς αυτή τη φορά λόγους επιλέχθηκε η κατασκευή του από διάφανα φύλλα πλαστικού (fiberglass).

4.11 Σχεδιασμός και κατασκευή συστήματος μετάδοσης κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι της κατασκευής μιας και από αυτό εξαρτάται η λειτουργία του συστήματος.



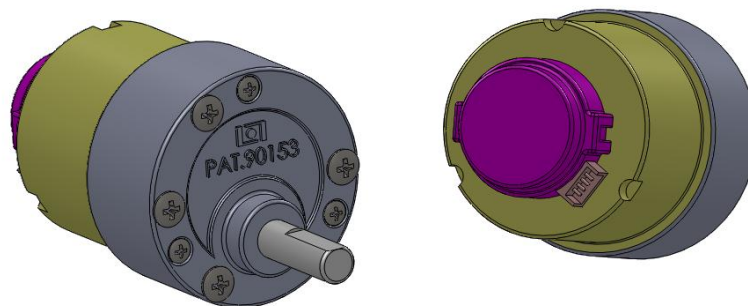
Εικόνα 90. Ο ηλεκτροκινητήρας συναρμολογημένος με τον οδοντωτό τροχό

Αφού έγινε η επιλογή του ηλεκτροκινητήρα βάσει των χαρακτηριστικών του, για τα μεγέθη της ισχύος και της ταχύτητας περιστροφής του, πρέπει να γίνει μελέτη της τοποθέτησής του με επιλογή του σημείου στήριξής του και του τρόπου μετάδοσης της κίνησης στον εκκεντροφόρο άξονα.



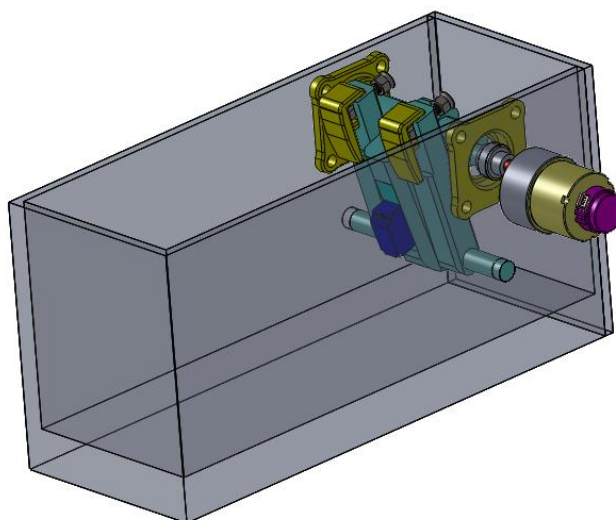
Εικόνα 91. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης συναρμολογημένο

Επομένως για να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω έγινε τρισδιάστατη απεικόνιση του ηλεκτροκινητήρα, ώστε να μπορούν να γίνουν κινηματικές αναλύσεις του μοντέλου μας αλλά και να τροποποιούνται οι θέσεις του μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη.



Εικόνα 92. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ηλεκτροκινητήρα που έχει επιλεγεί να κινεί τον εκκεντροφόρο άξονα

Αφού έγιναν προσπάθειες να τοποθετηθεί ο ηλεκτροκινητήρας δίπλα από τον εκκεντροφόρο, (δηλ σε απευθείας μετάδοση) η λύση αυτή απορρίφθηκε λόγω του όγκου του μοντέλου μας που μεγάλωνε αρκετά και παρουσιάστηκαν προβλήματα στην σταθερότητα της κατασκευής.



Εικόνα 93. Τοποθέτηση του ηλεκτροκινητήρα στα πλάγια του εκκεντροφόρου για έλεγχο της λειτουργικότητας

Μετά από διάφορες προσπάθειες επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ο ηλεκτροκινητήρας πλάγια και πίσω από τον εκκεντροφόρο. Με αυτή την διάταξη έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο σύστημα μετάδοσης κίνησης όπως μάντα, αλυσίδα, γρανάζια κλπ.



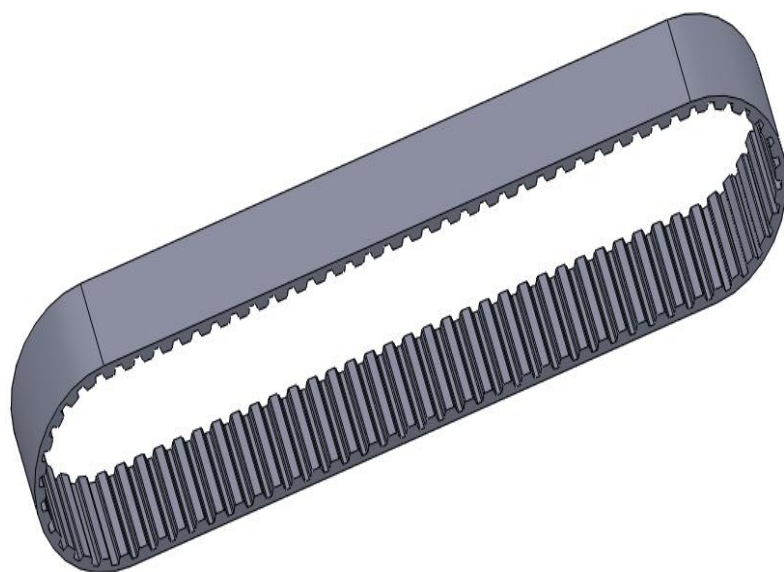
Εικόνα 94. Οι οδοντωτοί τροχοί με τον ιμάντα για τη μετάδοση της κίνησης πριν την τοποθέτηση

Καλύτερος και πιο εύκολα προσαρμόσιμος στα δικά μας δεδομένα κρίθηκε η μετάδοση με οδοντωτό ιμάντα. Μετά από έρευνα αγοράς καταλήξαμε σε δύο όμοιους οδοντωτούς τροχούς και έναν οδοντωτό ιμάντα που να μπορεί να συνεργαστεί μαζί τους.



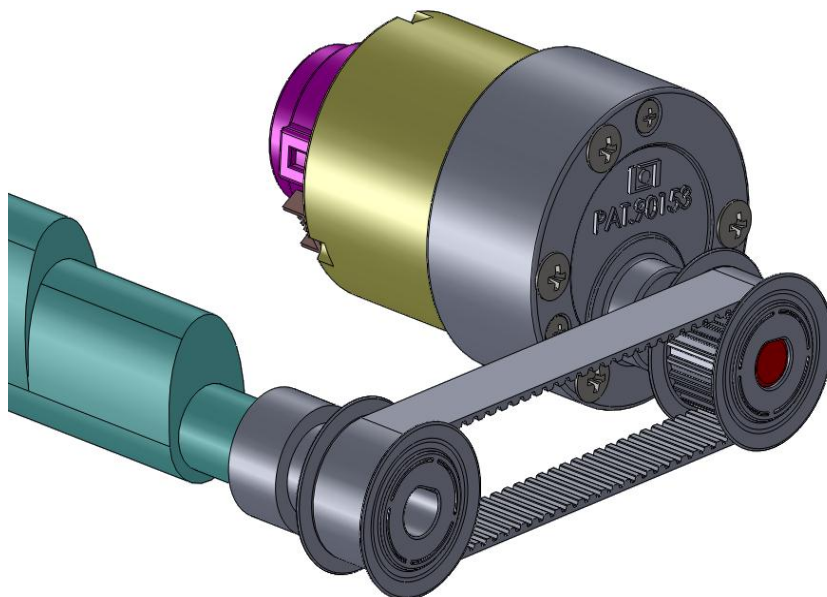
Εικόνα 95. Τρισδιάστατη απεικόνιση της τροχαλίας που μεταδίδει την κίνηση στον εκκεντροφόρο άξονα

Επίσης, για να τοποθετηθούν και για να μπορούν να γίνουν οι κινηματικές αναλύσεις, έπρεπε να γίνει τρισδιάστατη απεικόνιση του ιμάντα και των οδοντωτών τροχών.



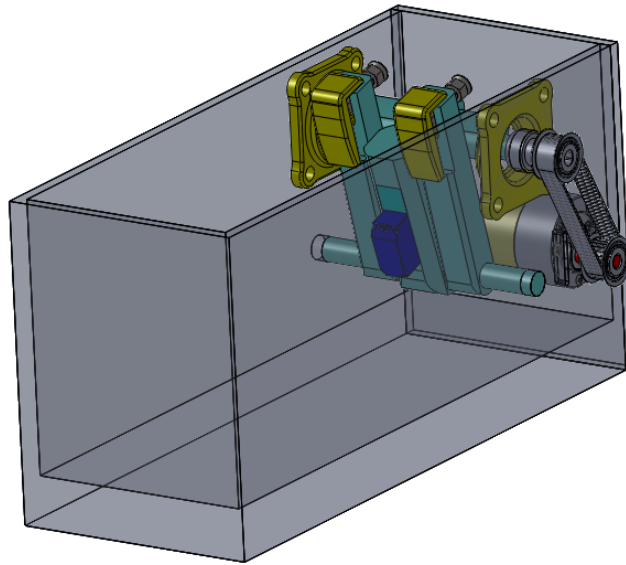
Εικόνα 96. Τρισδιάστατη απεικόνιση του οδοντωτού ιμάντα που μεταδίδει την κίνηση

Αφού το σχεδιαστικό κομμάτι ολοκληρώθηκε, σειρά είχε η συναρμολόγηση τους.



Εικόνα 97. Τα εξαρτήματα που απαρτίζουν τον μηχανισμό μετάδοσης κίνησης συναρμολογημένα

Με την ολοκλήρωση του συστήματος μετάδοσης της κίνησης, είναι δυνατή η εύρεση του σημείου υποδοχής του ηλεκτροκινητήρα στη βάση στήριξης. Επίσης, κατασκευάστηκε οδηγός που θα επιτρέπει τη διαμήκη κίνηση της μιας τροχαλίας για να είναι δυνατή η τάνυση του ιμάντα ώστε να μην παρουσιάζεται ολίσθηση.

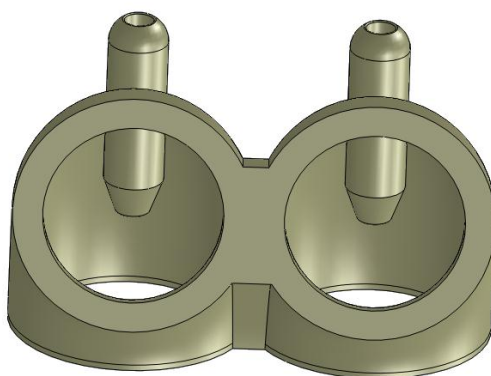


Εικόνα 98. Η βάση στήριξης με τοποθετημένα σε αυτή τα ζύγωθρα και ο εκκεντροφόρος άξονας. Επίσης διακρίνεται ο ηλεκτροκινητήρας τοποθετημένος στο εσωτερικό μέρος της βάσης στήριξης

Μετά τις παραπάνω αλλαγές έγινε η επιλογή της τοποθετήσεως του ηλεκτροκινητήρα στο εσωτερικό μέρος της βάσης στήριξης. Έτσι προέκυψε μια συμπαγής κατασκευή που μας εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία της, επειδή πρόκειται για φορητό μοντέλο.

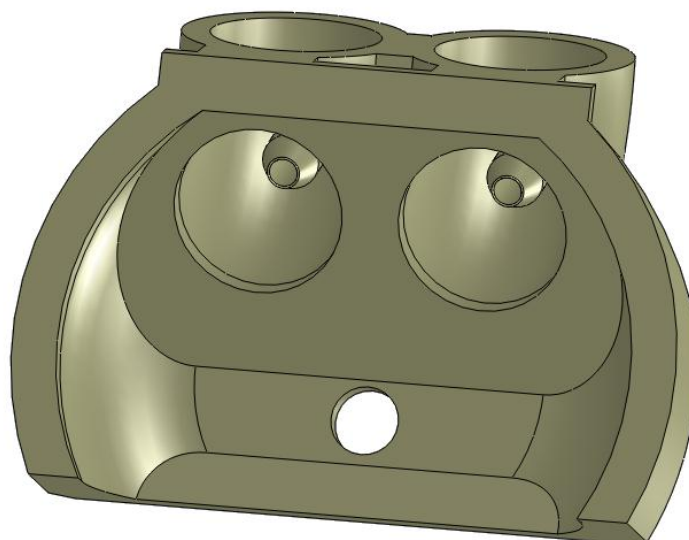
4.12 Σχεδιασμός και κατασκευή μοντέλου κυλινδροκεφαλής

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή της βάσης στήριξης του συστήματος σχεδιάστηκε σε τρισδιάστατη μορφή, ένα μοντέλο κυλινδροκεφαλής σε τομή ώστε να τοποθετηθούν σε αυτό βαλβίδες για προσομοίωση της πραγματικής λειτουργίας.



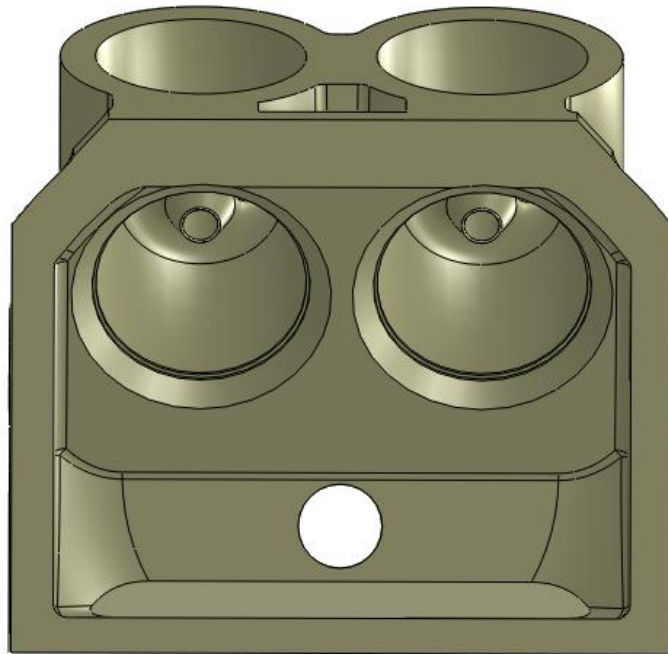
Εικόνα 99. Στην εικόνα υπάρχει το αρχικό σχέδιο για της θυρίδες. Επίσης, διακρίνονται οι οδηγοί των βαλβίδων

Κατόπιν το σχέδιο τροποποιήθηκε, αφού η βάση στήριξης είχε υποστεί αρκετές αλλαγές από τον αρχικό σχεδιασμό και με τελευταία προσθήκη τα πλαϊνά φύλλα plexiglass που περιόριζαν το μέγιστο πλάτος του μοντέλου της κυλινδροκεφαλής .



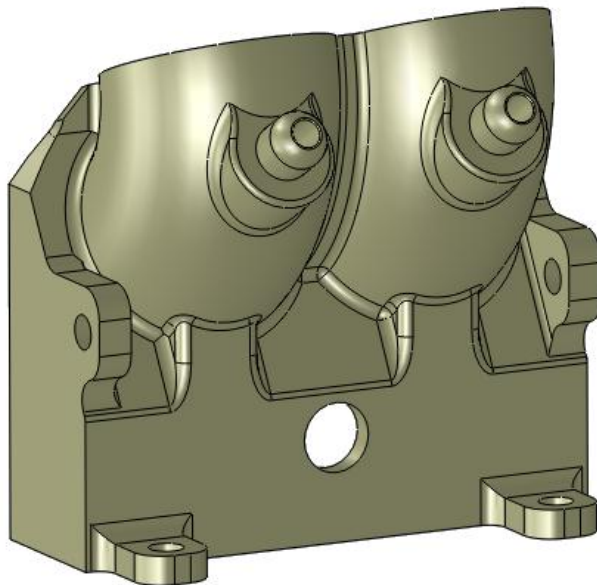
Εικόνα 100. Σχέδιο της θυρίδας με τον θάλαμο καύσης

Αφού ολοκληρώθηκαν οι τροποποιήσεις ώστε να μπορεί να συνεργαστεί με την ήδη ολοκληρωμένη κατασκευή της βάσης, έγινε έλεγχος του όγκο του υλικού που θα χρειαζόταν για την κατασκευή του στο λογισμικό CATALYST EX που συνεργάζεται με τον τρισδιάστατο εκτυπωτή.



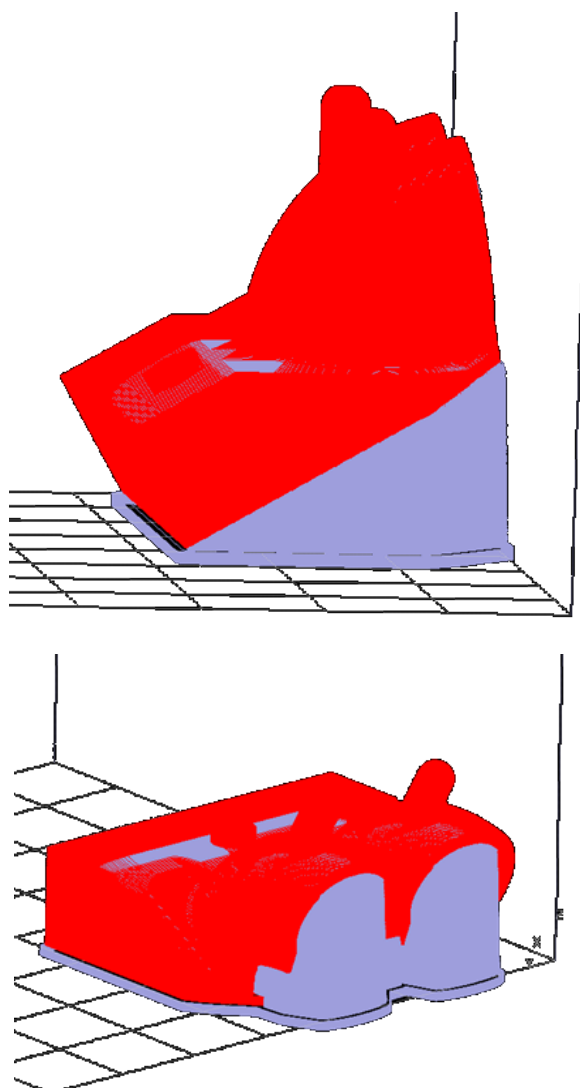
Εικόνα 101. Το σχέδιο του θαλάμου καύσης μετά τις επεμβάσεις στο σχήμα του ώστε να τοποθετηθεί στη βάση στήριξης

Μετά την ανάλυση του λογισμικού CATALYS EX για τον όγκο του μοντέλου αποφασίστηκε η τροποποίηση του σχεδίου για μείωση του κόστους κατασκευής αφού εξαρτάται από τον όγκο του υλικού που θα καταναλωθεί.



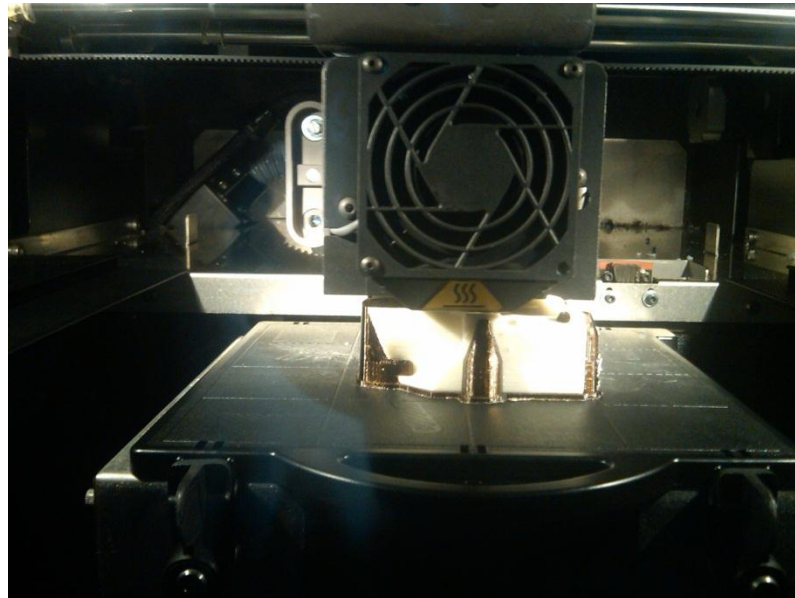
Εικόνα 102. Στην εικόνα διακρίνονται οι βάσεις στήριξης στα πλάγια του μοντέλου για τη συγκράτηση του

Μετά και τις επεμβάσεις που έγιναν στο μοντέλο για μείωση του όγκου του και των αναλύσεων στο λογισμικό CATALYST EX που επιβεβαίωναν αυτό το αποτέλεσμα, αποφασίστηκε η κατασκευή να γίνει σε μορφή SPARSE αφού ο τρισδιάστατος εκτυπωτής μας δίνει αυτή τη δυνατότητα. Δηλαδή, δεν γίνεται συμπαγής κατασκευή αλλά στο εσωτερικό του μοντέλου μας κατασκευάζεται ένα πλέγμα από το ίδιο υλικό μελετημένο έτσι ώστε να διατηρεί την αρχική γεωμετρία και να το ενισχύει δομικά για αποφυγή αστοχίας.



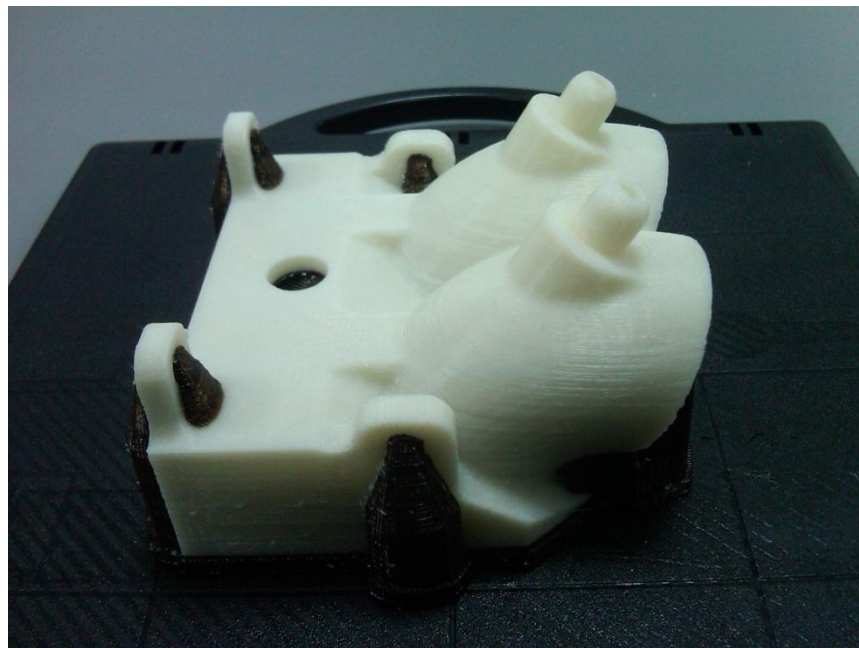
Εικόνα 103. Εικόνες από το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού CATALYST EX που μας επιτρέπουν να κρίνουμε την γωνία που θα τοποθετηθεί προς εκτύπωση

Επίσης, έγινε μελέτη στο λογισμικό CATALIST EX για την γωνία που θα τοποθετηθεί προς εκτύπωση διότι λόγω της πολυπλοκότητας του σχεδίου μεταβάλλεται αρκετά η ποσότητα του SUPPORT (υλικού στήριξης του για το βασικό υλικό της κατασκευής) με συνέπεια την αύξηση του κόστους.



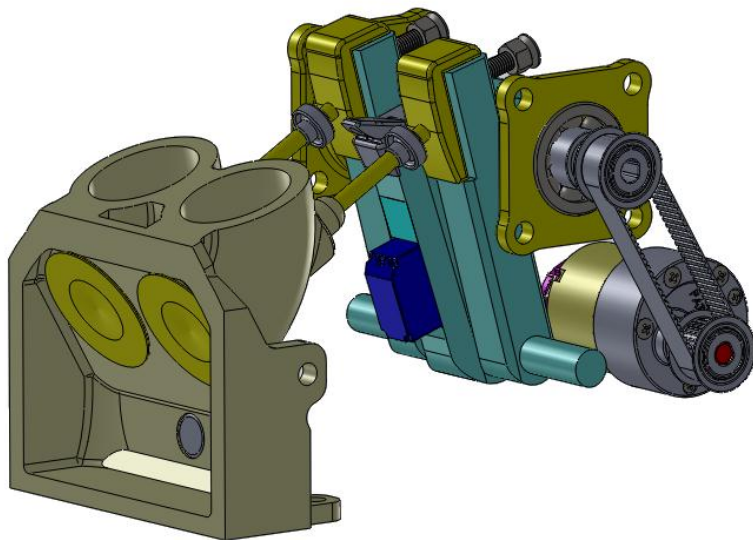
Εικόνα 104. Εικόνα του τρισδιάστατου εκτυπωτή την ώρα της εκτύπωσης του μοντέλου

Αφού ολοκληρώθηκαν οι μελέτες όγκου και στήριξης του τεμαχίου σειρά είχε η κατασκευή του στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ του ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ.



Εικόνα 105. Μετά το πέρας της εκτύπωσης σειρά είχε η αφαίρεση του υλικού στήριξης (support) από τα πλάγια και το εσωτερικό του μοντέλου

Η κατασκευή του τεμαχίου έγινε στον τρισδιάστατο εκτυπωτή DIMENSION Elite λόγω της μεγαλύτερης του ακρίβειας που ανέρχεται σε 0.1778 mm πάχους κάθε στρώσης και μπορεί να κατασκευάσει πιο πιστά της καμπύλες του τεμαχίου.



Εικόνα 106. Το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής συναρμολογημένο με υπόλοιπα εξαρτήματα της κατασκευής

Επίσης, το υλικό στήριξης (SUPPORT) αφαιρείται σε ειδικό βραστήρα απομάκρυνσης υλικού για αποφυγή ατυχημάτων λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του μοντέλου.

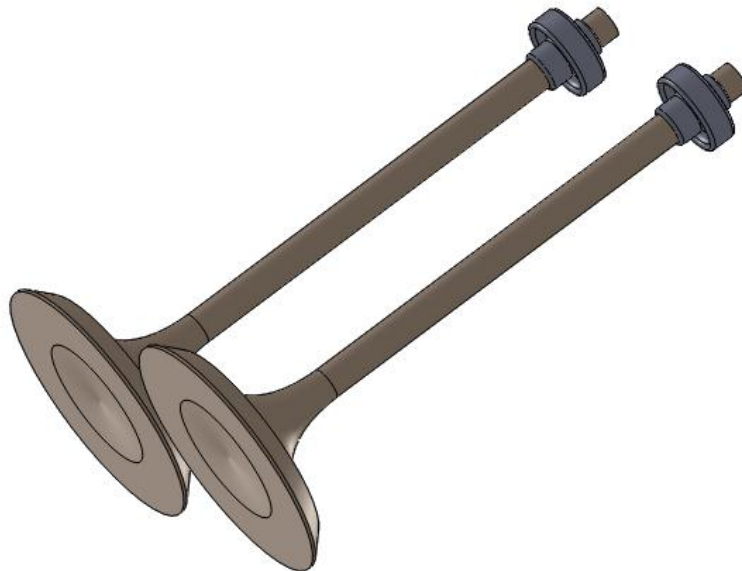
4.13 Σχεδιασμός και κατασκευή βαλβίδων

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του μοντέλου της κυλινδροκεφαλής σειρά είχαν οι βαλβίδες που θα τοποθετούνταν σε αυτό



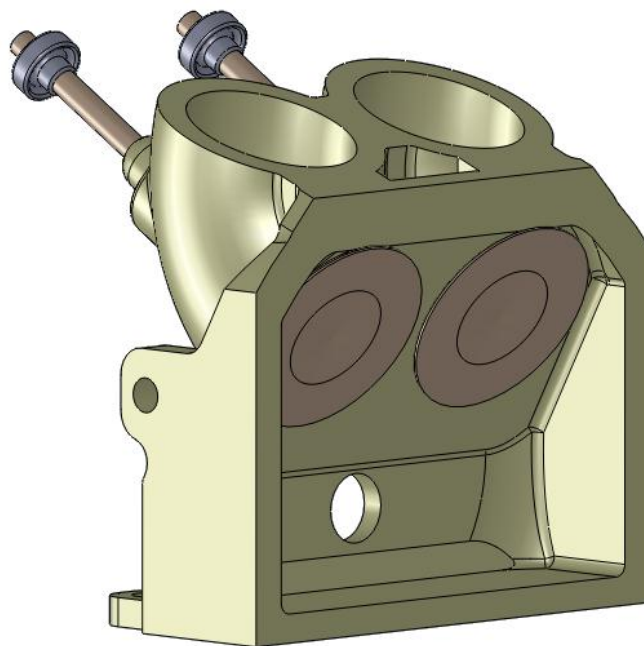
Εικόνα 107. Στο σχέδιο της βαλβίδας διακρίνεται η εγκοπή για την ασφάλεια

Οι βαλβίδες λόγω της απλής γεωμετρίας τους ήταν πολύ εύκολο να τις διαχειριστούμε και να προσαρμόζονται στις εκάστοτε τροποποιήσεις του μοντέλου της κυλινδροκεφαλής.



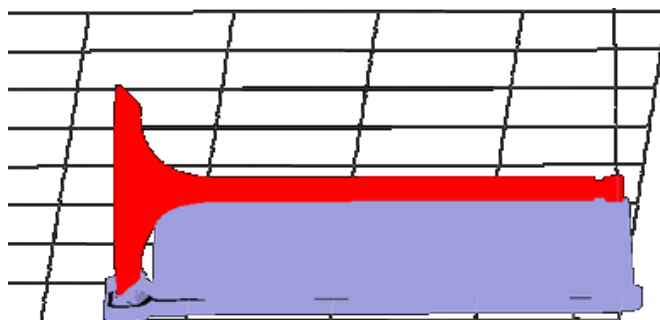
Εικόνα 108. Οι δύο βαλβίδες που θα τοποθετηθούν στο μοντέλο της κυλινδροκεφαλής

Κατόπιν έγινε έλεγχος του μήκους τους αφού αυτές ορίζουν την απόσταση του μοντέλου της κυλινδροκεφαλής από τα ζύγωθρα. Επίσης, έγινε μελέτη για τα ελατήρια που θα επαναφέρουν τις βαλβίδες.



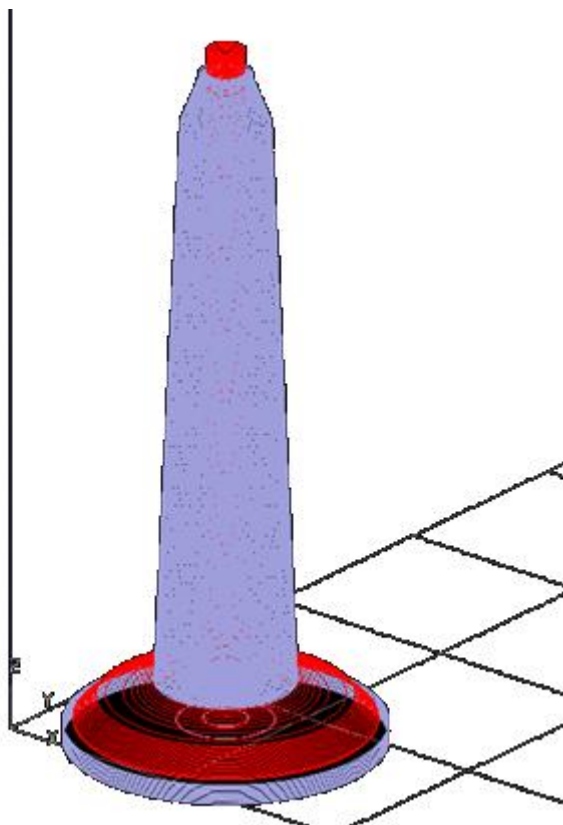
Εικόνα 109. Οι βαλβίδες συναρμολογημένες με το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής

Μετά από έρευνα στην αγορά για ελατήρια που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και συγκρίνοντας τα με τις δυναμικές αναλύσεις στο στέλεχος της βαλβίδας καταλήξαμε σε μία ομάδα ελατηρίων κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι.



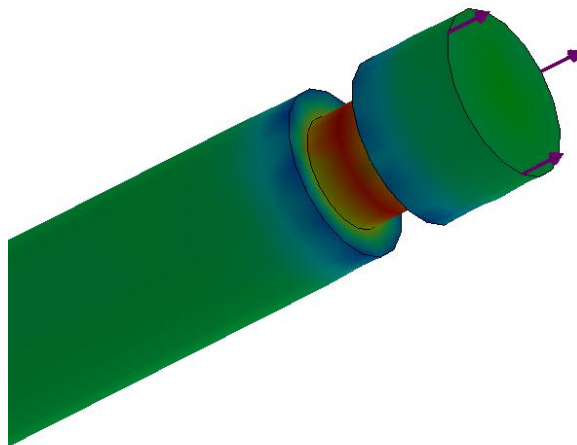
Εικόνα 110. Εικόνα από το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού CATALYST EX με την βαλβίδα τοποθετημένη στα πλάγια. Αυτή η διάταξη καταναλώνει μεγάλες ποσότητες υλικού στήριξης

Αφού το στέλεχος της βαλβίδας δεν παρουσίασε προβλήματα από τη δύναμη που ασκούσε το ελατήριο πραγματοποιήθηκαν μελέτες για να εξασφαλιστεί η επαναφορά τον ζυγώθρων στην αρχική τους θέση, περιορίζοντας έτσι τις επιλογές εφόσον κάποια δεν είχαν την δυνατότητα να τα επαναφέρουν.



Εικόνα 111. Εικόνα από το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού CATALYST EX με τη βαλβίδα τοποθετημένη κάθετα για ποιοτικότερο αποτέλεσμα του μοντέλου

Κατόπιν πραγματοποιήθηκε έλεγχος ώστε να εξασφαλιστεί ότι η δύναμη των ελατηρίων δεν εμποδίζει την περιστροφή του εκκεντροφόρου άξονα, περιορίζοντας έτσι της επιλογές μας σε 3 ελατήρια που πληρούσαν τους παραπάνω περιορισμούς.



Εικόνα 112. Στην εικόνα διακρίνεται το σημείο που εμφανίζεται η μέγιστη τάση (εγκοπή ασφάλειας)

Κατόπιν σχεδιάστηκαν τα κιάθια (καπελότα) που θα συγκρατούν το ελατήριο στην θέση του όπως επίσης και μία ασφάλεια που θα εξασφαλίζει την συγκράτηση του συστήματος.



Εικόνα 113. Το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής με τις βαλβίδες και τα εξαρτήματα τους

Έπειτα, οι βαλβίδες κατασκευάστηκαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή DIMENSION ELITE, ενώ τα κιάθια (καπελότα) κατασκευάστηκαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή DIMENSION BST768.



Εικόνα 114. Το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής κατά την ώρα της συναρμολόγησης

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής σειρά είχε η συναρμολόγηση με το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλα λειτουργούν στην εντέλεια.

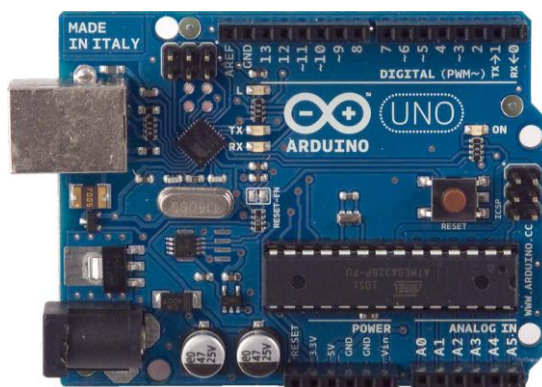


Εικόνα 115. Το μοντέλο της κυλινδροκεφαλής με τις βαλβίδες τοποθετημένες σε αυτό

Επίσης, κατασκευάστηκε βάση στήριξη ελατηρίου για την επαναφορά του κεντρικού ζυγώθρου στην αρχική του θέση. Η επιλογή του ελατηρίου έγινε με το κριτήριο της επαναφοράς στην αρχική θέση μιας και σε αυτό δεν υπάρχει πρόσθετες δυνάμεις τριβής από βαλβίδα.

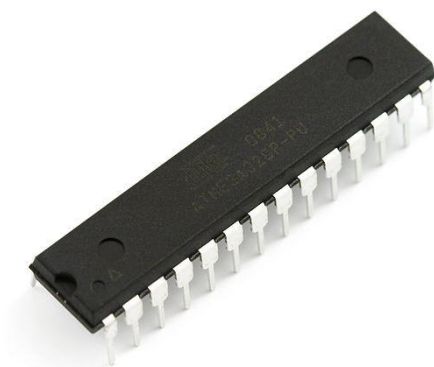
4.14 Σχεδιασμός και κατασκευή ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου

Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου πρέπει να διαχειριστεί τον ηλεκτροκινητήρα και το MICRO SERVO του μοντέλου μας. Έτσι έγινε επιλογή της πλατφόρμας ARDUINO UNO για τον έλεγχο, μιας και είναι μία ανοιχτού κώδικα λογισμικού πλατφόρμα η οποία μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του δικού του δωρεάν προγράμματος (IDE: Integrated Development Environment) με πάρα πολλές δυνατότητες και εύκολη στον προγραμματισμό της.



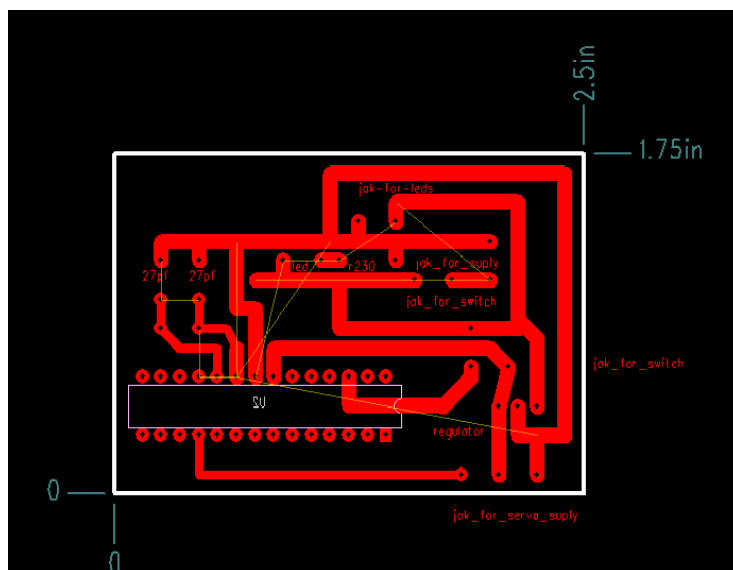
Εικόνα 116. Στην εικόνα διακρίνεται ο Arduino Uno με τον επεξεργαστή ATmega328

Όμως λόγω του κόστους του αποφασίστηκε να κατασκευαστεί μια πλακέτα που να μπορεί να δεχτεί τον επεξεργαστή του ARDUINO UNO των ATmega328, ο οποίος έχει προεγκατεστημένο bootloader ώστε να μπορούμε να τον προγραμματίσουμε.



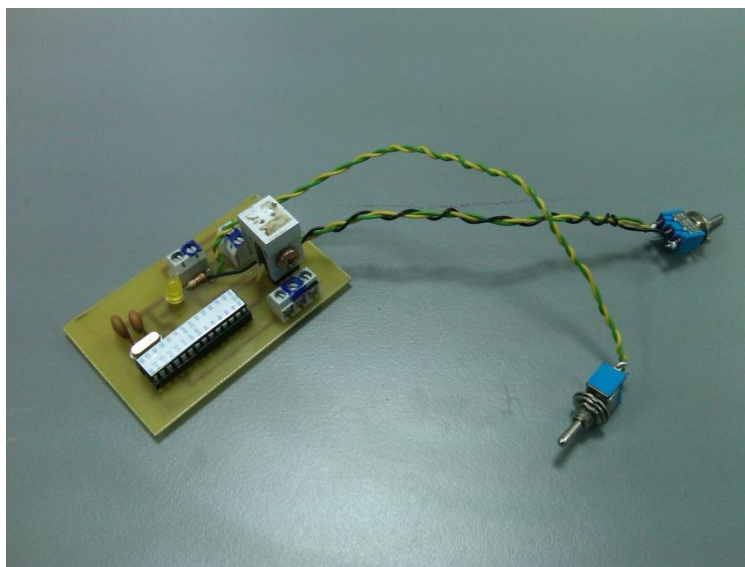
Εικόνα 117. Ο επεξεργαστής ATmega328

Η πλακέτα αρχικά σχεδιάστηκε στο λογισμικό pcb123. Το λογισμικό pcb123 είναι μια ολοκληρωμένη λύση για τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που επιτρέπει τον διαδραστικό έλεγχο του σχεδιασμού και των κατασκευαστικών ανοχών ελέγχοντας την κατασκευή και τον χρόνο που θα διαρκέσει.



Εικόνα 118. Το σχέδιο της πλακέτας στο λογισμικό pcb123

Κατόπιν κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο μικροεπεξεργαστών του ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ όπου και έγινε η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων ώστε αυτή να λειτουργήσει.

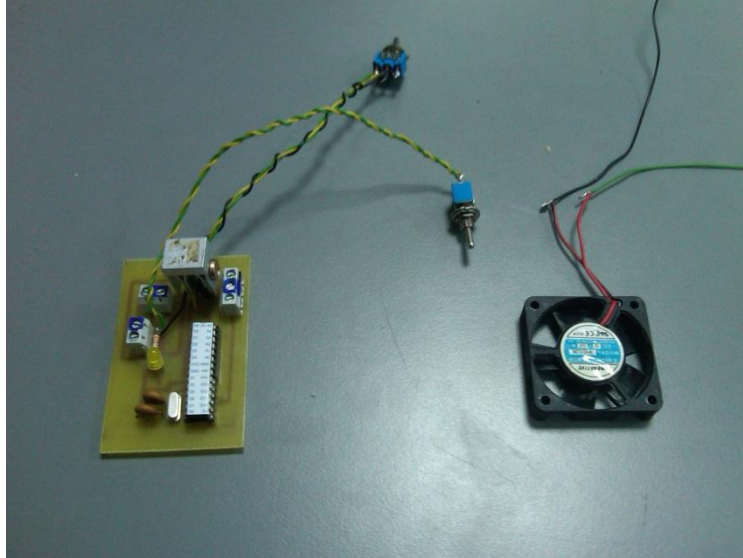


Εικόνα 119. Η πλακέτα που κατασκευάστηκε με τους διακόπτες που την ελέγχουν

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της κατασκευής είναι:

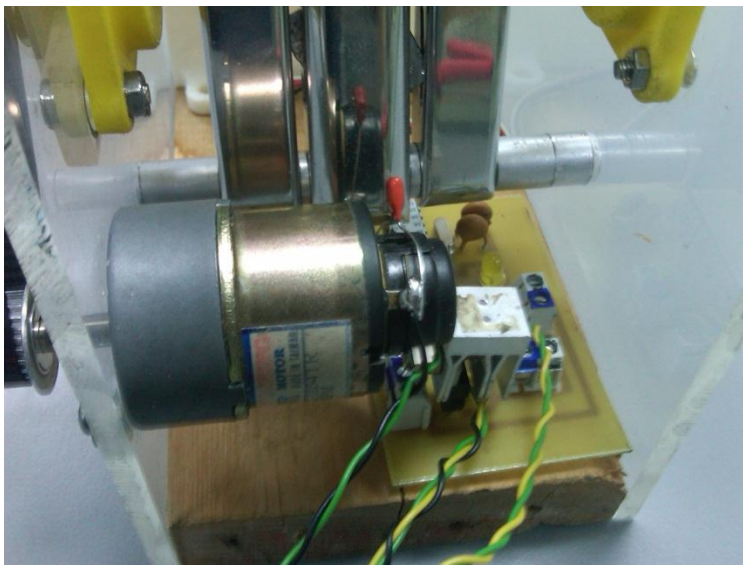
- Επεξεργαστής ATmega328
- 1 φωτοευαίσθητη πλακέτα μονής όψης
- 2 πυκνωτές
- 1 κρύσταλλος 16 MHz
- 1 led χαμηλής φωτεινότητας
- 4 jack supply

- 1 σταθεροποιητής τάσης 5v
- 1 αντίσταση 320Ω
- 1 socket 40pin για τον επεξεργαστή



Εικόνα 120. Το ανεμιστηράκι για την ψύξη της πλακέτας

Έπειτα έγινε ο προγραμματισμός του επεξεργαστή ATmega328 τοποθετημένο στην πλατφόρμα ARDUINO UNO που έχει θύρα επικοινωνίας με τον υπολογιστή που έχει εγκατεστημένο το λογισμικό (IDE: Integrated Development Environment)

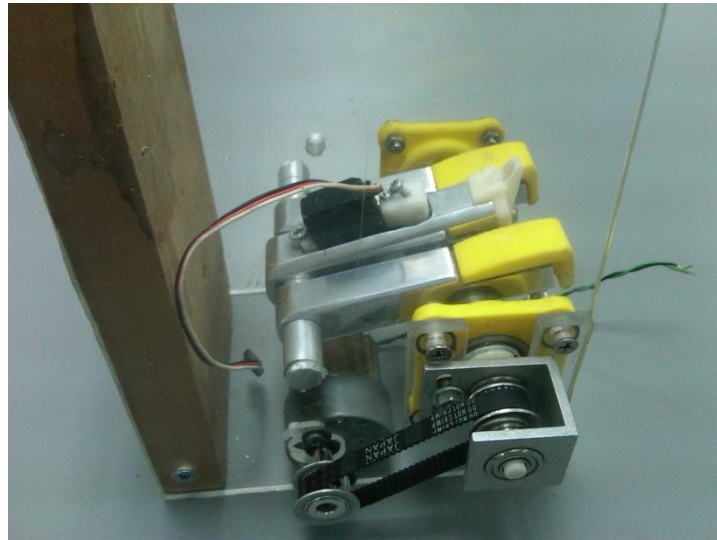


Εικόνα 121. Η πλακέτα τοποθετημένη κάτω από τον ηλεκτροκινητήρα

Κατόπιν αφού η πλακέτα είναι έτοιμη με τον επεξεργαστή τοποθετημένο σε αυτήν και για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του μοντέλου τοποθετήθηκε ένα ανεμιστηράκι για επιπλέον ψύξη της πλακέτας αλλά και του ηλεκτροκινητήρα αφού η λειτουργία του ενός εξασφαλίζει την λειτουργία του άλλου.

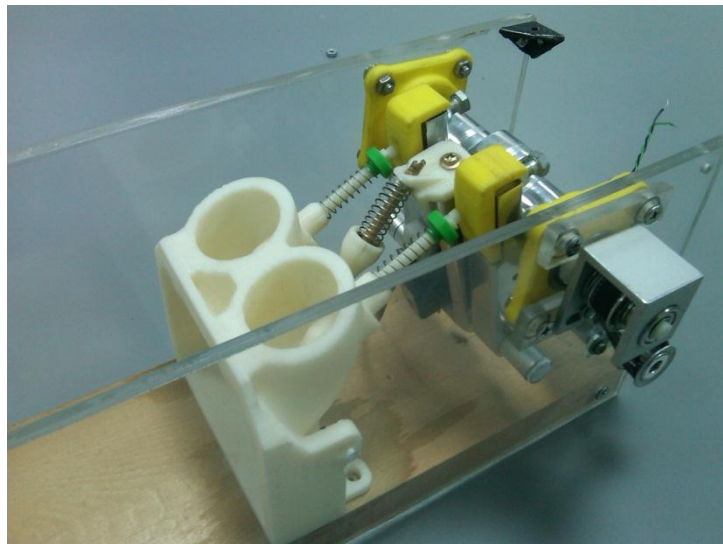
4.15 Τελική συναρμολόγηση της κατασκευής

Μετά την ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου της κατασκευής σειρά είχε η συναρμολόγηση του μοντέλου ώστε να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα στην μεταξύ τους συναρμογή.



Εικόνα 122. Το μοντέλο κατά την ώρα της συναρμολόγησης

Αφού τα μηχανικά μέρη λειτουργούν σωστά μεταξύ τους και οι βαλβίδες με τα ζύγωθρα επανέρχονται στην αρχική τους θέση με τη βοήθεια των ελατηρίων σειρά έχει η τοποθέτηση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου.



Εικόνα 123. Έλεγχος της συναρμογής των εξαρτημάτων

Κατόπιν έγινε έλεγχος της λειτουργίας του μοντέλου και όλα τα μέρη του λειτουργούν όπως προέβλεπε ο τελικός σχεδιασμός.

Συμπεράσματα

Η διερεύνηση που έγινε στο παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια απλοποιημένη προσέγγιση στο ζήτημα του σχεδιασμού του μεταβλητού χρονισμού. Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζουν τον όγκο των εργασιών που συνέβαλαν στην τελική του μορφή.

Βιβλιογραφία

1. Ιωάννου χ., Λάιος Ι., Μαραμπέας Π., Συστήματα Ελέγχου Αυτοκινήτου, Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, 2000
2. Καπετανάκης Γ., Καραμπίλας Π., Κουτσούκος Β., Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανών και Ηλεκτρονικών Συστημάτων Αυτοκινήτου, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2000
3. Πέρα από το 2000 Αθήνα ΙΔΕΕΑ ΕΠΕ
4. Τεχνική εφημερίδα ' Το Συνεργείο του Αυτοκινήτου '
5. Τεχνικά Εγχειρίδια HONDA
6. BOSCH – AUTOMOTIVE HANDBOOK
7. Τεχνολογία αυτοκινήτου 1 ,Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, 2^η Ελληνική έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ
8. Μηχανές Εσωτερικής καύσης , Αετίου χρ. Τζιφάκι ,Εκδόσεις ιδρύματος Ευγενίου.
9. Αυτοκίνητα – Ιστορικός Οδηγός , ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ 1999
10. Workshop manual, HONDA 1992
11. Βιβλίο οδηγιών χρήσης και συντήρησης HONDA
12. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ II . Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, 2001

Παράρτημα Α

Στη συνέχεια παρατίθεται ο κώδικας προγραμματισμού του μικροελεγκτή Atmega 328, ο οποίος αναπτύχθηκε στο λογισμικό (IDE: Integrated Development Environment) που συνεργάζεται με την ολοκληρωμένη πλατφόρμα Arduino UNO. Επίσης, γίνεται μια απλοποιημένη περιγραφή των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν.

```
#include <Servo.h>

Servo myservo; // δήλωση ονόματος για το servo.

int val=55; // δήλωση μεταβλητής για την τιμή του pwm του servo.

int elenxos=0; // δήλωση μεταβλητής για τον έλεγχο εάν ο διακόπτης είναι
ανοικτός η κλειστός.

void setup() // αρχικοποίηση.
{
  myservo.attach(12); // attaches the servo on pin 9 to the servo
object
  pinMode(1, INPUT); // δήλωση εισόδου για τον διακόπτη.
}

void loop() //είσοδος στον ατέρμονα βρόγχο.
{
  elenxos = digitalRead(1); // εάν ο διακόπτης είναι ανοικτός η τιμή
elenxos παίρνει τιμή 1 αλλιώς 0.
  if( elenxos==1) // εάν ο διακόπτης είναι ανοικτός το servo
γυρίζει και κομπλάρει τις βαλβίδες.
  {
```

```
myservo.write(100);  
}  
if( elenxos==0) // εάν ο διακόπτης είναι ανοικτός το servo  
γυρίζει και ξεμπλοκάρει τις βαλβίδες.  
{  
myservo.write(55);  
}  
delay(15); // χρονοκαθυστέρηση  
}
```

Παράρτημα Β

Στο παράρτημα αυτό υπάρχουν τα κατασκευάσιμα σχέδια των εξαρτημάτων.