

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

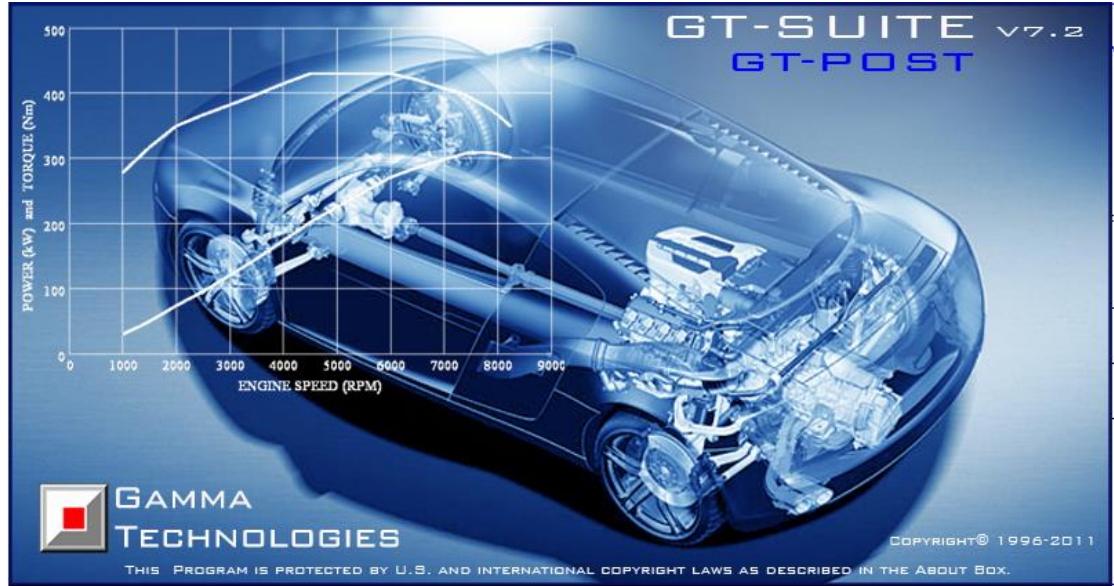
Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Μοντελοποίηση λειτουργίας εργαστηριακής μηχανής εσωτερικής καύσης με την βοήθεια λογισμικού»



Κολοκοτρώνης Δ. Χρήστος , Α.Μ. 36094

Επιβλέπων: Θεοδωρακάκος Ανδρέας , Επ.Καθηγητής , ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2016

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην μελέτη , προσομοίωσης λειτουργίας εργαστηριακού κινητήρα με την χρήση κατάλληλου υπολογιστικού προγράμματος (GT- Suite).

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Θεοδωρακάκο για την εργασία που μου ανέθεσε , καθώς μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με κάτι τόσο ενδιαφέρον και φυσικά για την αδιάκοπη βοήθεια του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η μοντελοποίηση της λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης και συγκεκριμένα της PLINT.

Αρχικά γίνεται μία βασική εισαγωγή σε ένα τμήμα των μηχανών εσωτερικής καύσης και μία αναφορά των δυνατοτήτων του GT-Suite. Στη συνέχεια αναφέρονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες της εργαστηριακής μηχανής Petter W1/Plint αναλύοντας κάθε επιμέρους τμήμα της μηχανής στο λογισμικό.

Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται όλα τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης λειτουργίας και αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού τους από το GT-Suite.

Τέλος πραγματοποιείται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις εργαστηριακές πειραματικές μετρήσεις καθώς και ανάλυση όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στην μοντελοποίηση λειτουργίας του κινητήρα.

Abstract

The scope of this thesis is the study and simulation of the operation of an internal combustion engine and more specific PLINT.

Firstly there are basic information about internal combustion engines and a features overview of the GT- Suite. Then all the available information for the Laboratory engine Petter W1/Plint are mentioned and each component of the engine is modelled separately.

Further are presented and commented all the results that came up from the simulation and the way that these are calculated from the software is presented.

In conclusion there is the comparison between software simulation and laboratory tests and a reference of all parameters used for the extraction results in engine modeling.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Πίνακας Συμβόλων	6
2.	Εισαγωγή	7
3.	Μηχανές εσωτερικής καύσης	8
4.	Γνωριμία με το GT-Suite	13
5.	Στοιχεία μηχανής	15
6.	Μοντελοποίηση κινητήρα Plint στο περιβάλλον Gt-Suite	19
6.1.	Inlet-1	20
6.2.	Throttle	24
6.3.	Εικονίδιο Pipe Round.....	26
6.4.	Carbinj- InjAFSeqConn	30
6.5.	Invalve.....	34
6.6.	Cylinder.....	40
6.7.	W1- Στροφαλοφόρος άτρακτος.....	44
6.8.	Bellmouth	48
7.	Αποτελέσματα προσομοίωσης στο GT-Suite	50
8.	Συγκριση πειραματικού μοντέλου-μοντέλο GT-Suite	67
9.	Συμπερασματα-Παρατηρήσεις	69
10.	Αναφορες	70
11.	Παράρτημα.....	71
11.1.	Μοντελοποίηση στο GT-SUITE	71
11.2.	Αναλυτική παρουσίαση για κάθε σενάριο προσομοίωσης	71

1. Πίνακας Συμβόλων

Σύμβολο	Επεξήγηση	Μονάδες
D	Διάμετρος εμβόλου	mm
s	Διαδρομή εμβόλου	mm
z	Αριθμός κυλίνδρων	-
ε	Σχέση συμπίεσης	-
V _h	Όγκος εμβολισμού	cm ³
V _H	Συνολικός όγκος εμβολισμού	cm ³
λ	Λόγος ισοδυναμίας αέρα καυσίμου	-
AFR	Αναλογία αέρα καυσίμου (Air Fuel Rate)	-

Αρκτικόλεξα	Επεξήγηση
ΑΝΣ / TDC	Άνω Νεκρόσημείο/Top Dead Center
ΚΝΣ / BTDC	Κάτω Νεκρόσημείο/Bottom Dead Center
CO	Μονοξείδιο του Άνθρακα
CO ₂	Διοξείδιο του Άνθρακα
NO _x	Οξείδιο του Αζώτου
HC	Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες
RPM	Στροφές ανά λεπτό
IVC/IVO	Κλείσιμο / Άνοιγμα Βαλβίδων Εισαγωγής (Inlet Valve Close / Inlet Valve Open)
EVC/EVO	Κλείσιμο / Άνοιγμα Βαλβίδων Εξαγωγής (Exhaust Valve Close / Exhaust Valve Open)

Αρκτικόλεξα	Επεξήγηση	Μονάδες
btq	Ροπή Κινητήρα (Brake Torque)	Nm
bhp	Ισχύς Κινητήρα (Brake Power)	HP , kW
bsfc	Ειδική Κατανάλωση καυσίμου (Brake Specific Fuel Consumption)	g/kWh
bsac	Ειδική Κατανάλωση Αέρα (Brake Specific Air Consumption)	g/kWh

2. Εισαγωγή

Με τον όρο μοντελοποίηση δεδομένων , στο τομέα της πληροφορικής, καλείται η διαδικασία περιγραφής και αναπαράστασης όλων των εννοιών (δεδομένων) που συναντιούνται εντός ενός πεδίου εφαρμογής (που αποτελεί το πρόβλημα το οποίο πρέπει να επιλυθεί) με ένα μοντέλο δεδομένων. Τα δεδομένα από μόνα τους δεν είναι πηγή εξαγωγής συμπερασμάτων , για αυτό περνάνε από την διαδικασία αναγνώρισης των προτύπων ώστε να εξαχθεί η πληροφορία. Η μοντελοποίηση με λογισμικό μπορεί να αναγνωρίσει τον τύπο της πληροφορίας , να χρησιμοποιήσει αλγορίθμους ούτως ώστε να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία αλλά και να εξάγει δεδομένα που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υλοποίηση του εκάστοτε σχεδίου.

Η μοντελοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη εκτίμηση σε μία νέα κατασκευή ή και ως επίλυση ενός προβλήματος υπάρχουσας.

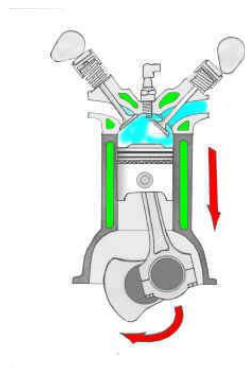
Τα τελευταία χρόνια έχει κατορθώσει να εισαχθεί ως μία καθολικά αποδεκτή τεχνολογία για την ανάπτυξη συστημάτων μηχανικής που θα έχουν ως χαρακτηριστικό την αξιοπιστία.

3. Μηχανές εσωτερικής καύσης

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) ή αλλιώς ενδοθερμικοί κινητήρες είναι οι κινητήρες που παράγουν μηχανικό έργο καταναλώνοντας θερμική ενέργεια η οποία περιέχεται στα υγρά καύσιμα. Η λειτουργία τους βασίζεται στην μετατροπή μέρους της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο προκαλώντας τη ροπή του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα με το σύστημα εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης η καύση και η παραγωγή του μηχανικού έργου συντελούνται ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο, στο θάλαμο καύσης του κινητήρα, στο εσωτερικό του κυλίνδρου. [5]

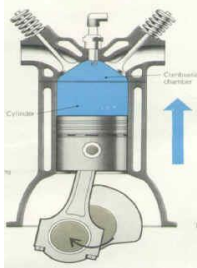
Ο κύκλος λειτουργίας της εμβολοφόρου ΜΕΚ αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών φάσεων ή χρόνων, η οποία, όταν ολοκληρωθεί, επαναλαμβάνεται συνεχώς. Στις τετράχρονες ΜΕΚ, ο κύκλος λειτουργίας αποτελείται από τέσσερις χρόνους (εισαγωγή, συμπίεση, καύση-εκτόνωση, εξάγωγή), οι οποίοι αντιστοιχούν σε τέσσερις απλές διαδρομές του εμβόλου που παλινδρομεί μεταξύ του Άνω Νεκρού Σημείου (ΑΝΣ) και του Κάτω Νεκρού Σημείου (ΚΝΣ). Επειδή σε κάθε μία από αυτές τις απλές διαδρομές του εμβόλου ο στροφαλοφόρος άξονας της μηχανής περιστρέφεται κατά μισή στροφή, ο κύκλος λειτουργίας της τετράχρονης ΜΕΚ αντιστοιχεί σε δύο στροφές του στροφαλοφόρου άξονα.[5]

Πιο συγκεκριμένα:



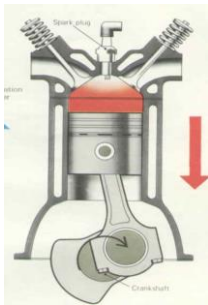
1. **Πρώτος χρόνος, αναρρόφηση ή εισαγωγή:** το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ με ανοιχτή την βαλβίδα εισαγωγής και στον κύλινδρο εισέρχεται μίγμα καυσίμου-αέρα. Η κίνηση του εμβόλου είναι επιταχυνόμενη και έτσι δημιουργείται υποπίεση με την οποία υποβοηθάτε ή αναρρόφηση του μίγματος. Για την επιτάχυνση του εμβόλου δαπανάται ενέργεια (ροπή) από το στροφαλοφόρο άξονα και για αυτό η εισαγωγή είναι παθητικός χρόνος. Στο ΚΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει και συμπληρώνεται ο πρώτος χρόνος.

2. Δεύτερος χρόνος, συμπίεση: το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ και οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το



μίγμα να συμπιέζεται και να δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας για την ανέφλεξη του μίγματος με την βοήθεια ηλεκτρικού σπινθήρα. Για την συμπίεση απαιτείται κατανάλωση ενέργειας γι αυτό η συμπίεση είναι παθητικός χρόνος.

3. Τρίτος χρόνος, καύση-εκτόνωση: Το συμπιεσμένο μίγμα καταλαμβάνει μικρό χώρο του θαλάμου καύσης στην περιοχή του ΑΝΣ. Από την



καύση παράγεται θερμό καυσαέριο και καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, η ενθαλπία του καυσαερίου μετατρέπεται σε εκτονωτική δύναμη στην άνω επιφάνεια του εμβόλου και στη συνέχεια με το μηχανισμό εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου μετατρέπεται σε έργο (ροπή) στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής. Η εκτόνωση της μηχανής είναι ενεργητικός χρόνος του κύκλου λειτουργίας της μηχανής.

4. Τέταρτος χρόνος, εξαγωγή: Κατά τον χρόνο εξαγωγής, το έμβολο το οποίο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ αναγκάζει τα καύσαερια να εξέλθουν από την

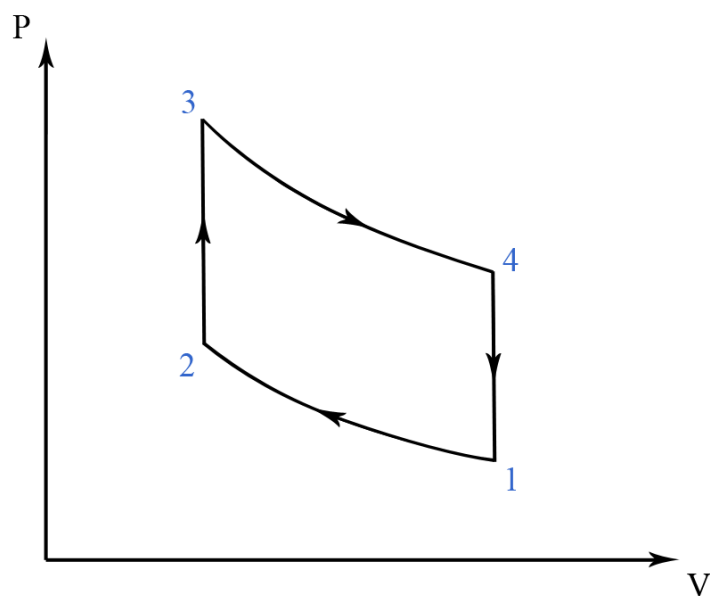


ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Επειδή το καυσαέριο δεν εκτονώνεται ως την ατμοσφαιρική πίεση, αλλά η πίεσή του ανέρχεται στο τέλος της εκτόνωσης σε 3 ως 5 atm, η εξαγωγή απαιτεί δαπάνη έργου, δηλαδή η εξαγωγή είναι παθητικός χρόνος. Στο ΑΝΣ η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει ενώ η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και ακολουθεί ο επόμενος κύκλος της

μηχανής.[5]

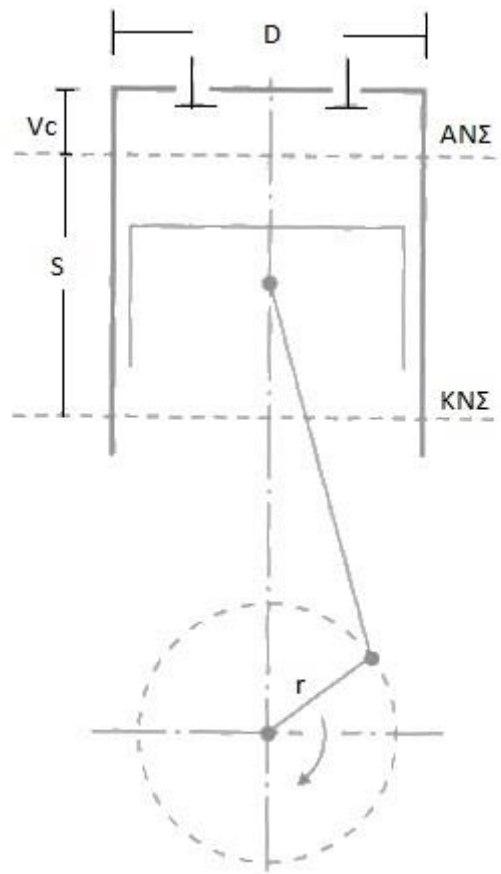
Κύκλος Otto

Ο θεωρητικός κύκλος Otto αποτελείται από την αδιαβατική συμπίεση του μίγματος βενζίνης-αέρα 1-2, την ισόχωρη καύση 2-3, την αδιαβατική εκτόνωση των καυσαερίων 3-4 και την ισόχωρη εξαγωγή των καυσαερίων 4-1.[5]



Κυβισμός και σχέση συμπίεσης

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την τομή ενός κυλίνδρου του κινητήρα. Το έμβολο παλινδρομεί μεταξύ του ΑΝΣ και του ΚΝΣ. Η απόσταση αυτή καλείται διαδρομή του εμβόλου (S). Η διάμετρος του εμβόλου ταυτίζεται με τη διάμετρο του κυλίνδρου (D). Ο χώρος που περικλείεται από την κεφαλή του κυλίνδρου και την άνω επιφάνεια του εμβόλου, όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, καλείται θάλαμος καύσης ή νεκρός χώρος και ο όγκος του συμβολίζεται με V_c .



Κυβισμός του κυλίνδρου V_h καλείται ο όγκος του κυλινδρικού χώρου μεταξύ των νεκρών σημείων ANΣ και ΚΝΣ και ισούται με:

$$V_h = \frac{\pi D_E^2}{4} S$$

Ο κυβισμός του κινητήρα V_H προκύπτει με πολλαπλασιασμό του κυβισμού του κυλίνδρου επί τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα z :

$$V_H = zV_h = z \frac{\pi D_E^2}{4} S$$

Αντίστοιχα, ο όγκος των θαλάμων κάυσης για ολόκληρο τον κινητήρα V ισούται με:

$$V = zV_c$$

Ο κυβισμός του κινητήρα δίνεται σηνύθως σε cm^3 ή lt.

Σχέση ή βαθμός συμπίεσης ϵ καλείται το πηλίκον του όγκου του συνολικού χώρου ($V_h + V_c$), προς τον όγκο του χώρου καύσης V_c . Η σχέση συμπίεσης μας δείχνει

πόσες φορές «χωρά» ο όγκος του θαλάμου καύσης στο συνολικό όγκο του νεκρού χώρου και του κυβισμού:

$$E = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

Αύξηση του κυβισμού σε ένα κυλίνδρου επιτυγχάνεται είτε με αύξηση της διαμέτρου του κυλίνδρου D , είτε με αύξηση της διαδρομής του εμβόλου S , δηλαδή με την αύξηση της ακτίνας στροφάλου r , όπου $S=2r$. Αντίστοιχα, αύξηση της σχέσης συμπίεσης επιτυγχάνεται με μείωση του όγκου του θαλάμου καύσης V_c , δηλαδή με τη χρησιμοποίηση φλάντζας μικρότερου πάχους ή με ρεκτιφιέ της κεφαλής του κυλίνδρου. [5]

4. Γνωριμία με το GT-Suite

Το GT-SUITE είναι ένα προϊόν της Gamma Technologies (GTI), μια εξειδικευμένη εταιρεία λογισμικού που επικεντρώνεται αποκλειστικά στην βιομηχανία κινητήρων και οχημάτων. Το GT-SUITE σε ένα ενιαίο εργαλείο συγκεντρώνει μια ευρεία ποικιλία τεχνικών εφαρμογών οχημάτων και κινητήρων οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Μοντελοποίηση της απόδοσης του κινητήρα (GT-POWER)
- Ανάλυση των μετρήσεων της πίεσης του κυλίνδρου
- Ακουστική της εισαγωγής και της εξάτμισης
- Ανακυκλοφορία των καυσαερίων
- Δυναμική Οχημάτων (συστήματα μετάδοσης κίνησης)
- Μοντελοποίηση μετάδοσης
- Υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα
- Ψύξη κινητήρα
- Όχηματα θερμικής και ενεργειακής διαχείρισης
- Ανάλυση μονάδας ψύξης μηχανοστασίου (3-D με COOL3D)
- Κλιματισμός
- Ανάκτηση θερμότητας εξάτμισης
- Λίπανση κυκλωμάτων και ρουλεμάν
- Συστήματα έγχυσης καυσίμου
- Υδραυλικά και πνευματικά
- Κινηματική και δυναμική βαλβίδων / εκκεντροφόρου
- Γρανάζι, αλυσίδα και ιμάντες
- Το Gt-suite είναι μια ευέλικτη πλατφόρμα για την κατασκευή των μοντέλων των γενικών συστημάτων που βασίζονται στις ακόλουθες βασικές βιβλιοθήκες:
- Flow library (βιβλιοθήκη ροών)
- Acoustics library (βιβλιοθήκη ακουστικής – γραμμικές και μη γραμμικές)
- Thermal library (θερμική βιβλιοθήκη)
- Mechanical library (μηχανική βιβλιοθήκη – κινηματική, δυναμική)

- Electric and Electromagnetic library (Ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητική βιβλιοθήκη –κυκλώματα, ηλεκτρομηχανικές συσκευές)
- Chemistry library (Χημική βιβλιοθήκη – χημική κινητική)
- Controls library (Βιβλιοθήκη ελέγχων – διαχείριση σημάτων)

Με βάση τις παραπάνω βιβλιοθήκες είναι δυνατόν να περιγραφούν όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας κινητήρας .

Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας μας γίνεται στο GT-Power, το οποίο αποτελεί βασικό κομμάτι του GT-Suite αφού εκεί πραγματοποιείται η μοντελοποίηση και η απεικόνιση του κινητήρα μας. Περιέχει όλα τα αντικείμενα που απαιτούνται για την εικονική αναπαράσταση του κινητήρα δίνοντας τη δυνατότητα παραμετροποίησης.[1] Μετά την αναπαράσταση του μοντέλου μας είμαστε σε θέση να «τρέξουμε» το μοντέλο μας αφού πρώτα έχουμε ορίσει κάποια σενάρια προσομοίωσης. Έπειτα, τα αποτελέσματα αποστέλλονται στο GT-Post. Το GT-POST αποτελεί κι αυτό κομμάτι του GT-Suite και είναι ένα γραφικό περιβάλλον που επιτρέπει την παρακολούθηση και το χειρισμό των δεδομένων που συλλέγονται από την προσομοίωση. Το GT-POST δύναται να:

- Αναπαριστά τα δεδομένα σε γραφήματα.
- Δημιουργεί δισδιάστα και τρισδιάστατα γραφήματα.
- Συνδυάζει τα δεδομένα από τις διάφορες περιπτώσεις που έχουμε τρέξει.
- Εισαγει/εξάγει δεδομένα προς /από ASCII ή αρχεία Excel. [6]

5. Στοιχεία μηχανής

Ο κινητήρας ο οποίος θα μοντελοποιηθεί είναι την εταιρείας Plint & Partners Ltd και ο τύπος του είναι PETTERW1 / PLINT VARIABLE COMPRESSION. Η διάταξη της βενζινομηχανής Plint μεταβλητής συμπίεσης, αποτελείται από:

- Μηχανή Otto μεταβλητής συμπίεσης,
- ηλεκτρική δυναμοπέδη,
- πίνακα ελέγχου,
- σύστημα παροχής καυσίμου,
- σύστημα κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου (νερού),
- διάταξη μέτρησης της παροχής αέρα
- ηλεκτρονικό δυναμοδείκτη.

Η βενζινομηχανή και η δυναμοπέδη (ή δυναμόμετρο) είναι τοποθετημένα μαζί και ευθυγραμμισμένα, πάνω σε ειδική χαλύβδινη κινητή βάση. Μια ειδική ταχογεννήτρια και ένας σύγχρονος ανορθωτικός ρυθμιστής στροφών, προσαρμοσμένα στη δυναμοπέδη, επιτρέπουν την επίτευξη και διατήρηση σταθερής ταχύτητας, με διακύμανση μικρότερη του 0,1% της μέγιστης. Ο ρυθμιστής αυτός είναι στην ουσία μια μονοφασική, τετραπολική αναγεννητική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, που επιστρέφει την παραγόμενη (κατά τη λειτουργία του συστήματος) ηλεκτρική ενέργεια στην κεντρική παροχή ηλεκτρισμού (αρνητική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η φόρτιση του βενζινοκινητήρα με φορτίο του οποίου η μεταβολή είναι συνεχής (κατά απειροστά βήματα) καθώς επίσης και η διατήρηση σταθερής ροπής ενώ μεταβάλλεται η ταχύτητα. Η δυναμοπέδη ενώ κατά τη φόρτιση λειτουργεί σαν ηλεκτρογεννήτρια, μπορεί επίσης να λειτουργήσει και σαν κινητήρας (αντιστροφή λειτουργίας) είτε για την εύκολη εκκίνηση της Μ.Ε.Κ. είτε για τη μέτρηση των εσωτερικών της απωλειών.

Από τον πίνακα ελέγχου ρυθμίζονται ανεξάρτητα το φορτίο και ταχύτητα, και παρακολουθούνται σε αναλογικά μετρητικά όργανα. Επίσης στον πίνακα ελέγχου υπάρχουν:

- αμπερόμετρο,
- ψηφιακό ροπόμετρο (σε N.m),
- ψηφιακό ταχύμετρο (σε στροφές/1' ή rpm) και

- ψηφιακός αθροιστής συνολικού αριθμού περιστροφών.

Το σύστημα παροχής καυσίμου είναι τοποθετημένο σε χαλύβδινο ικρίωμα και περιλαμβάνει δύο δοχεία καυσίμου, χωρητικότητας 4,5lt το καθένα. Κάθε δοχείο διαθέτει φίλτρο καυσίμου, ενδεικτικό στάθμης, δίοδη δικλείδα και ογκομετρικό μετρητή παροχής με μετρητικές χωρητικότητες 25,50,75 και 100ml.

Η μηχανή μεταβλητής συμπίεσης είναι υδρόψυκτη, εφοδιασμένη με σύστημα κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου (νερού). Η κυλινδροκεφαλή διαθέτει υποδοχή για αισθητήριο πίεσης.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα της δυναμοπέδης είναι 4000 rpm. Η μέγιστη απορροφημένη μηχανική ισχύς είναι 5,5 kW, η μέγιστη ισχύς όταν λειτουργεί σαν κινητήρας είναι 0,8 της αντίστοιχης απορροφημένης ισχύος και η μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος, όταν λειτουργεί σαν κινητήρας, είναι 5 kW.

Η μηχανή αυτή έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η επίδειξη της επίδρασης της μεταβολής του βαθμού ή σχέσης συμπίεσης ή απλούστερα της συμπίεσης στη λειτουργία της μηχανής Otto. Είναι μονοκύλινδρη, υδρόψυκτη, με πλευρικές βαλβίδες. Η κυλινδροκεφαλή είναι ειδικά κατασκευασμένη ώστε να επιτρέπει την εύκολη μεταβολή των διαστάσεων του θαλάμου καύσης.

Οι τριβείς και ο κινηματικός μηχανισμός είναι κατάλληλα σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν σε κρουστική καύση, επιτρέποντας την πειραματική σπουδή της προανάφλεξης και της κρουστικής καύσης στη βενζινομηχανή. Ο κινητήρας έχει κατασκευαστεί από χυτοσίδηρο και ο υδρόψυκτος κύλινδρος είναι ανεξάρτητος από το στροφαλοθάλαμο. Το έμβολο είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου και έχει δύο ελατήρια συμπίεσης και ένα απόξεσης ελαίου. Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι κατασκευασμένος από σφυρήλατο χάλυβα. Τα έδρανα βάσης είναι κατασκευασμένα από λευκό μέταλλο και το έδρανο της κεφαλής του διωστήρα είναι λεπτότοιχο διμεταλλικό έδρανο χαλκού-μολύβδου.

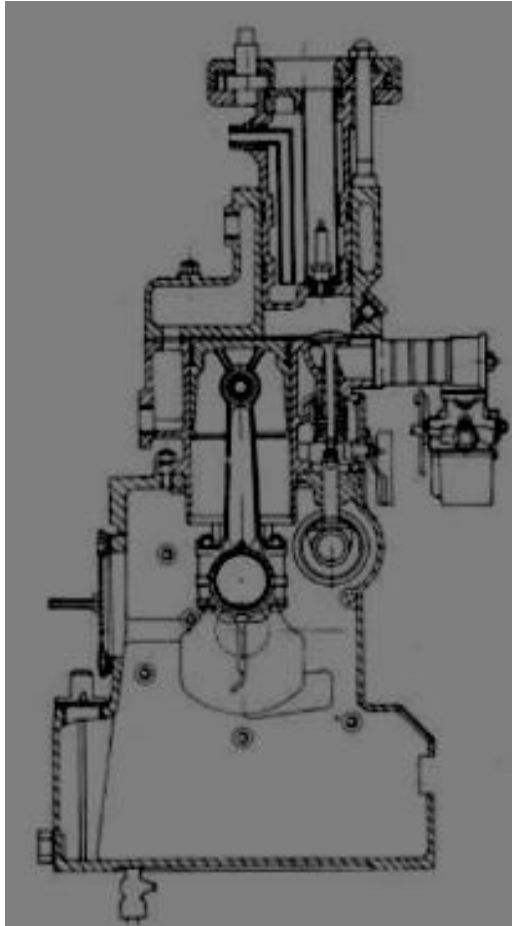
Το έδρανο κεφαλής, ο κύλινδρος και ο εκκεντροφόρος άξονας λιπαίνονται με εμπάπτιση (εκτίναξη). Για το σκοπό αυτό μια γριναζωτή αντλία, εξωτερικά τοποθετημένη, διοχετεύει λιπαντικό στο σύστημα. Ο

στροφαλοφόρος άξονας και τα έδρανα βάσεως λιπαίνονται με πίεση.

Ο εξαεριοτήρας είναι ανοδικής ροής, εφοδιασμένος με ρυθμιζόμενη βελονοειδή βαλβίδα (μεταβλητό ζιγκλέρ) ώστε να είναι δυνατή η μεταβολή της ποιότητας του μίγματος. Η ανάφλεξη επιτυγχάνεται με μαγνητοηλεκτρική μηχανή (magneto μανιάτο), και ο χρονισμός της μηχανής ανάφλεξης μπορεί εύκολα να μεταβάλλεται.

Η σχέση συμπίεσης μεταβάλλεται με τη μεταβολή της θέσης ενός υδρόψυκτου χυτοσιδηρού κυλινδρικού πώματος προσαρμοσμένου σε κατάλληλη οπή της υδρόψυκτης κυλινδροκεφαλής. Το πώμα αυτό φέρει το σπινθηριστή και στεγανοποιείται με χυτοσιδηρά ελατήρια συμπίεσης και σιλικονούχους δακτύλιους O-rings. Το κάτω άκρο του πώματος αποτελεί την επάνω επιφάνεια του θαλάμου καύσης. Το πώμα κινείται αξονικά κατά τον κατακόρυφο άξονα με τη περιστροφή ενός οδοντοτροχού που εμπλέκεται με οδοντοστεφάνη που στη συνέχεια εμπλέκεται με τρεις οδοντοτροχούς που στρέφουν κοχλίες σε επαφή με την κυλινδροκεφαλή. Η σχέση συμπίεσης μετριέται με ειδικό μετρητή συνδεδεμένο με την οδοντοστεφάνη. Τέλος, η μηχανή διαθέτει φυγοκεντρικό ρυθμιστή στροφών.

Engine number:	LAB 0406
Αριθμός κυλίνδρων	1
Διάμετρος κυλίνδρου	85 mm
Διαδρομή εμβόλου	82,5 mm
Όγκος εμβολισμού	468 cc
Σχέση συμπίεσης	4:1 έως 10:1
Maximum speed:	2500 rev/min
Carburetor:	Zenith 24 T-2
Watercooled engine [2][3]	



PETTER W1 / PLINT VARIABLE COMPRESSION σε τομή

6. Μοντελοποίηση κινητήρα Plint στο περιβάλλον Gt-Suite

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση της μηχανής που χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία. Για να ξεκινήσει η μοντελοποίηση της μηχανής θα πρέπει να συλλέξουμε κάποιες τιμές για την μηχανή που θέλουμε να σχεδιάσουμε. Κάποια από τα βασικά στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε αναφέρονται παρακάτω:

- Χαρακτηριστικά κινητήρα: σχέση συμπίεσης, σειρά ανάφλεξης, εν σειρά ή V διάταξης, V-γωνία, δίχρονο ή τετράχρονο.
- Γεωμετρία κυλίνδρου: διαδρομή εμβόλου, διάμετρος, μήκος διωστήρα, ύψος άνω νεκρού σημείου (ΑΝΣ) με κυλινδροκεφαλή, επιφάνεια εμβόλου.
- Σύστημα εισαγωγής και εξαγωγής αέρα: γεωμετρία από όλα τα στοιχεία του συστήματος, όπως οι πολλαπλή εισαγωγή και εξαγωγή, οι θυρίδες των βαλβίδων, ο καταλύτης, το τελικό και οι ενδιάμεσες σωληνώσεις. Οι απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται είναι τα μήκη, οι εσωτερικές διαμέτροι, παροχές αέρα και σχηματισμοί σωληνώσεων. Προαιρετικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συντελεστές εκκένωσης εφόσον είναι διαθέσιμοι.
- Throttles (πεταλούδα): η θέση της πεταλούδας και οι συντελεστές εκκένωσης εν συναρτήσει της γωνίας της πεταλούδας και στις δύο κατευθύνσεις.
- Ψεκαστές καυσίμου: θέση και αριθμός των μπεκ ψεκασμού καυσίμου ενώ και η διάμετρος και ο αριθμός ακροφυσίων στο ίδιο μπεκ.
- Βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής: Διάμετρος βαλβίδων, μέγιστη ανύψωση, συντελεστές εκκένωσης και για τις δύο κατευθύνσεις, τζόγος βαλβίδων.
- Μέσα υπερπλήρωσης (προαιρετικά)
- Συνθήκες περιβάλλοντος: πίεση, θερμοκρασία, υγρασία. [4]

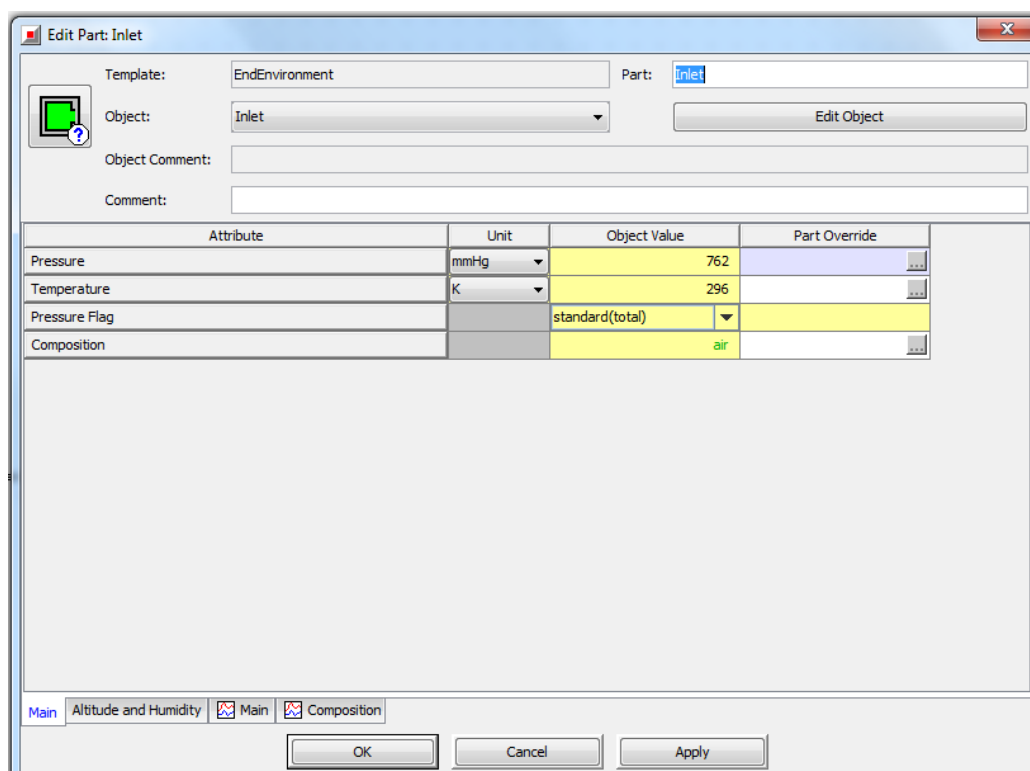
Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την μοντελοποίηση δεν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο αέρα. Οι διαστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο καρμπυρατέρ και στις σωληνώσεις εισαγωγής και εξαγωγής ενδέχεται να διαφέρουν από τις πραγματικές. Αυτό οφείλεται

στην έλλειψη των πληροφοριών. Οι σωληνώσεις μετρήθηκαν εξωτερικά στον εργαστηριακό κινητήρα.

Άλλο ένα πρόβλημα που προέκυψε κατά την μοντελοποίηση είναι ότι δεν διατίθενται σε κανένα εγχειρίδιο, ούτε και στο διαδίκτυο πληροφορίες που αφορούν την παροχή καυσίμου. Επίσης, όσον αφορά τον χρονισμό δεν είναι γνωστό το προφίλ των εκκεντροφόρων, το ακριβές βύθισμα και η διάρκεια λειτουργίας του εκκέντρου.

Στην συνέχεια, παρατίθενται αναλυτικά τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μοντελοποίηση στο GT-Suite.

6.1. Inlet-1

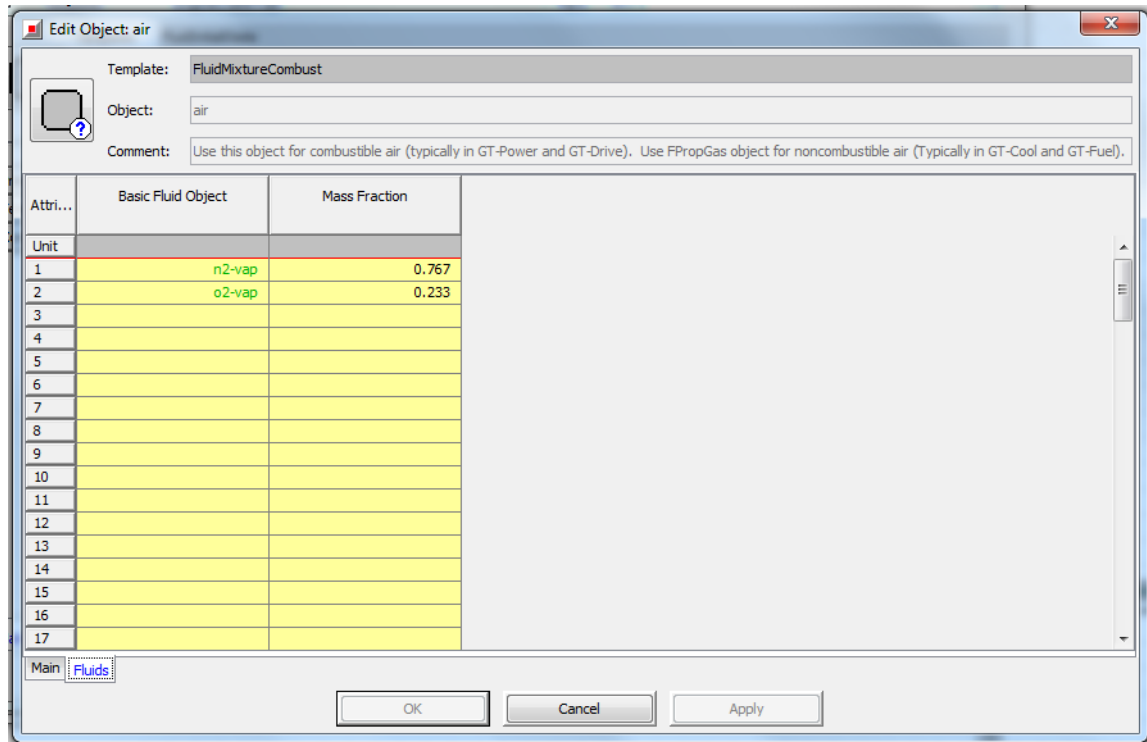


Σε αυτό το αντικείμενο περιγράφονται οι συνθήκες του περιβάλλοντος και του αέρα εισαγωγής:

- **Pressure**, η ατμοσφαιρική πίεση 762mmHg δηλαδή 1 bar
- **Temperature**, θερμοκρασία περιβάλλοντος 296 kelvin

- **Pressure flag**, standard (total) αποτελεί την συνηθέστερη επιλογή. Δειχνει οτι η πίεση και η θερμοκρασία εισάγονται σαν σύνολο στο επόμενο εικονίδιο που ενώνεται. Αυτό χρησιμοποιείται πιο συχνά.

- **Composition**, χαρακτηρισμός της σύνθεσης του περιβαλλοντος στην περιπτώσή μας αέρας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγοντας από την βιβλιοθήκη του προγράμματος το 'air' μπορούμε να δούμε το ποσοστό του αζώτου και του οξυγόνου που υπάρχει στον εισερχόμενο αέρα.



Στην καρτέλα **altitude and humidity** δεν έχουμε κάτι ιδιαίτερο σε υψόμετρο και υγρασία γι αυτό το λόγο οι τιμές που έχουμε ορίσει είναι ign.

Template: EndEnvironment Part: Inlet

Object: Inlet Edit Object

Object Comment:

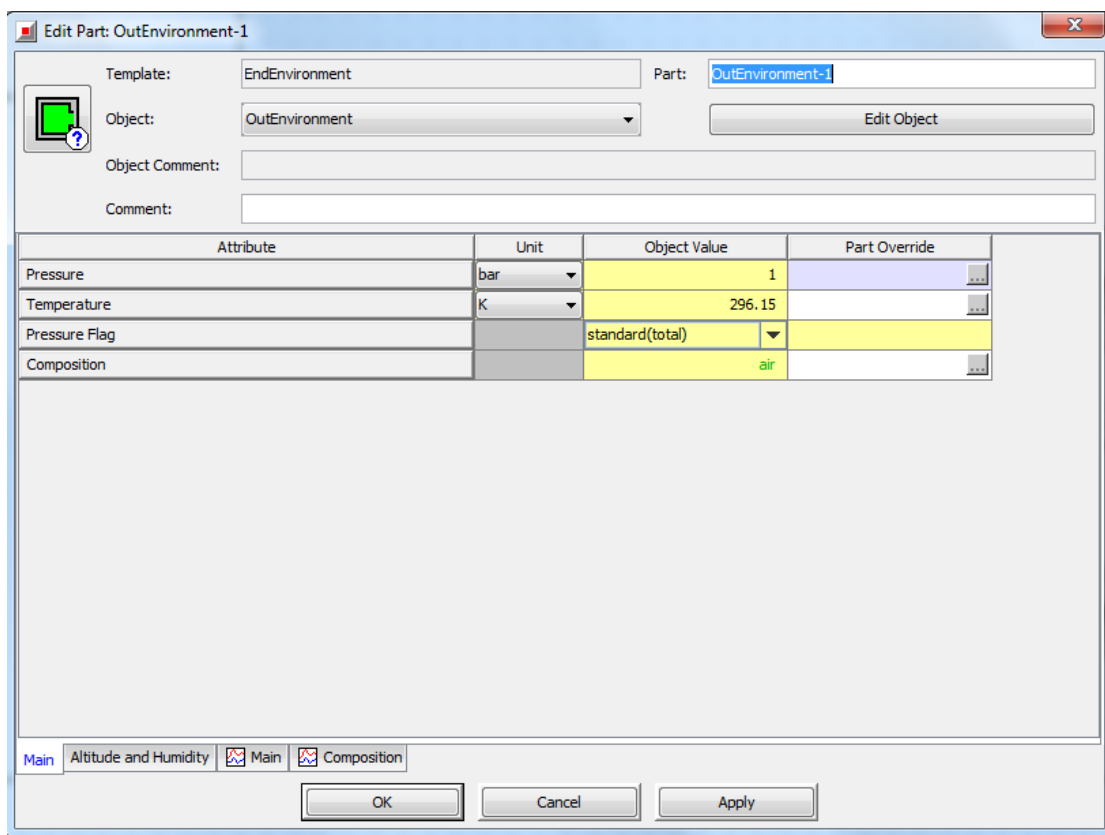
Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Altitude	m	ign	...
Reference Altitude	m	ign	...
Relative Humidity (Added to specified fresh air Composition)	fraction	ign	...
Humidity Species		ign	...

Main Altitude and Humidity Main Composition

OK Cancel Apply

Με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζουμε και το εικονίδιο Out environment το οποίο μας παρουσιάζει τις συνθήκες εξόδου. Στοιχεία όπως και στο Inlet.



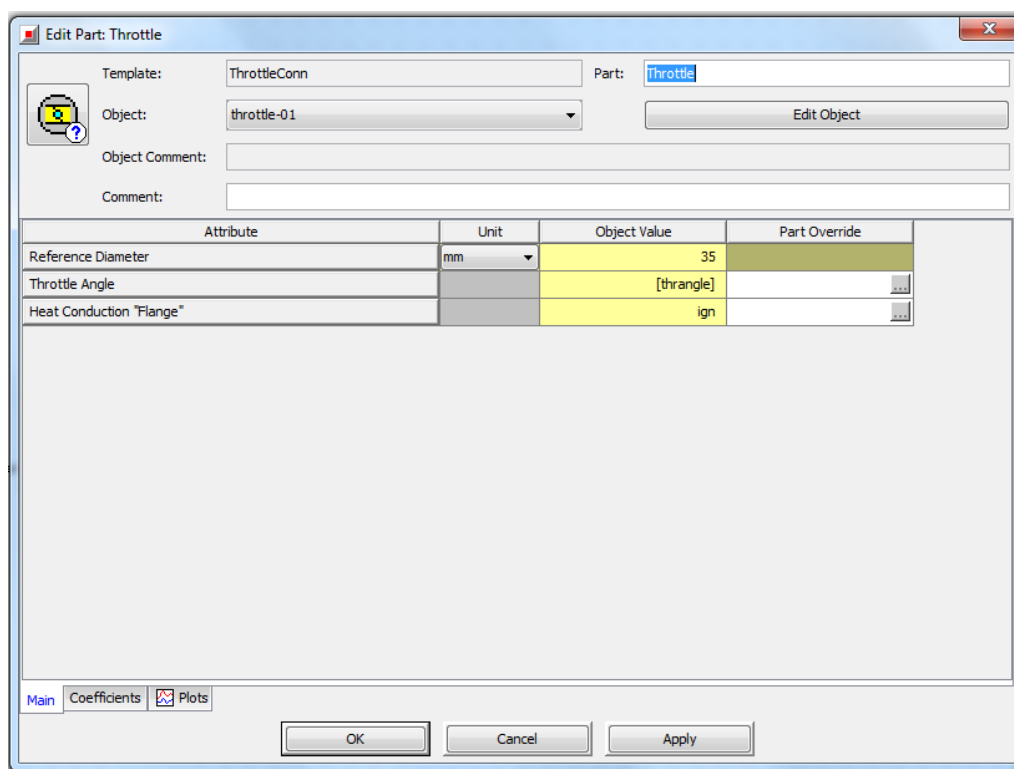
The screenshot shows a dialog box titled "Edit Part: OutEnvironment-1". It contains the following fields and controls:

- Template: EndEnvironment
- Part: OutEnvironment-1
- Object: OutEnvironment
- Object Comment: (empty)
- Comment: (empty)
- Buttons: Edit Object, OK, Cancel, Apply

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Pressure	bar	1	...
Temperature	K	296.15	...
Pressure Flag		standard(total)	...
Composition		air	...

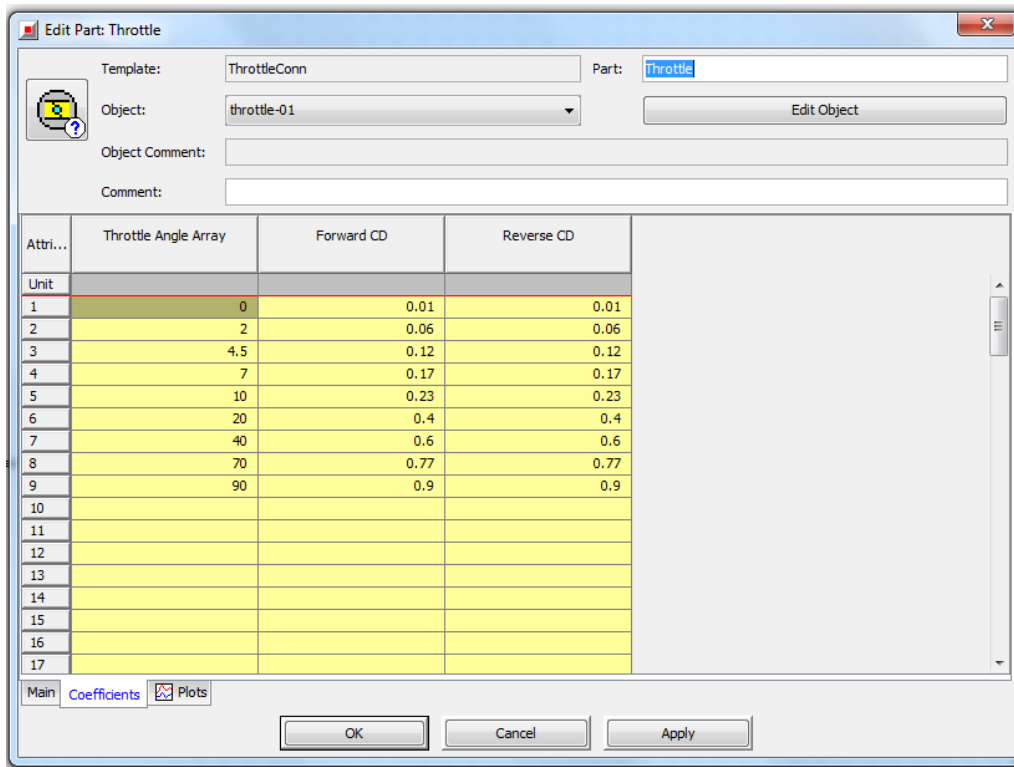
At the bottom, there are tabs for "Main", "Altitude and Humidity", "Main", and "Composition".

6.2. Throttle



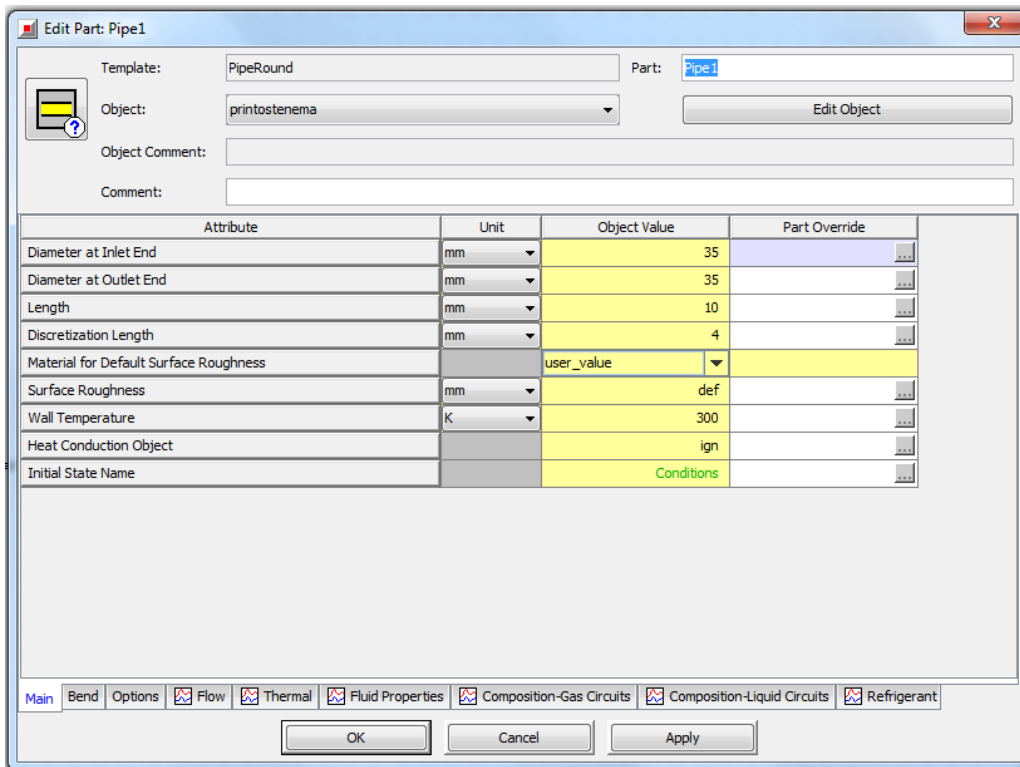
Αυτό το αντικείμενο περιγράφει έναν στραγγαλιστή ροής που βρίσκεται μεταξύ δύο εξαρτημάτων ροής. Σε αυτό ορίζουμε την διάμετρο του στομίου, την γωνία του ρυθμιστή και τους συντελεστες εκκένωσης του αέρα συναρτήσει της γωνίας του ρυθμιστή. Πιο συγκεκριμένα:

- **Reference diameter**, τη διάμετρο του στραγγαλιστή που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τους συντελεστές εκκένωσης παρακάτω. Στην περίπτωσή μας είναι 35mm.
- **Throttle angle**, τη γωνία του στραγγαλιστή η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συντελεστών εκκένωσης. Η γωνία του στραγγαλισμού είναι μεταβαλλόμενη και την ορίζουμε ανάλογα από τα case.



Στην καρτέλα Coefficients , αναφερόμαστε στους συντελεστές εκκένωσης και τους υπολογίζουμε λαμβάνοντας υπόψη ότι το πάχος του ρυθμιστή εμποδίζει περίπου το 10% του εισερχομένου αέρα. Εκεί έχουμε ορίσει τον συντελεστή εκκένωσης συναρτήσει της γωνίας του στραγγαλιστή.

6.3. Εικονίδιο Pipe Round



Στο συγκεκριμένο αντικείμενο ορίζουμε:

- **Diameter at inlet end**, ορίζουμε τη διάμετρο στην είσοδο της σωλήνωσης,
- **Diameter at outlet end**, ορίζουμε τη διάμετρο στην είσοδο της σωλήνωσης,
- **Length**, το μήκος της σωλήνωσης,
- **Discretization Length**, το διακριτό μήκος το οποίο ορίζεται ως το μήκος το οποίο υποδιαιρεί τη σωλήνωση για υπολογισμούς από το GT-Suite. Στην περίπτωση μας προτείνεται ένα μήκος 0,4 φορές η διάμετρος του κυλίνδρου για την εισαγωγή και 0,55 φορές για την εξαγωγή.
- **Surface roughness** , τραχύτητα της επιφάνειας
- **Wall temperature**, θερμοκρασία τοιχωμάτων του κινητήρα , ορίζουμε τους 300 kelvin ως θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- **Heat Conduction Object**, θερμική αγωγιμότητα
- **Initial state name**, ορίζονται οι αρχικές συνθήκες μέσα στη σωλήνωση και βάζουμε τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Edit Object: Conditions

Template: FluidInitialState

Object: Conditions

Comment:

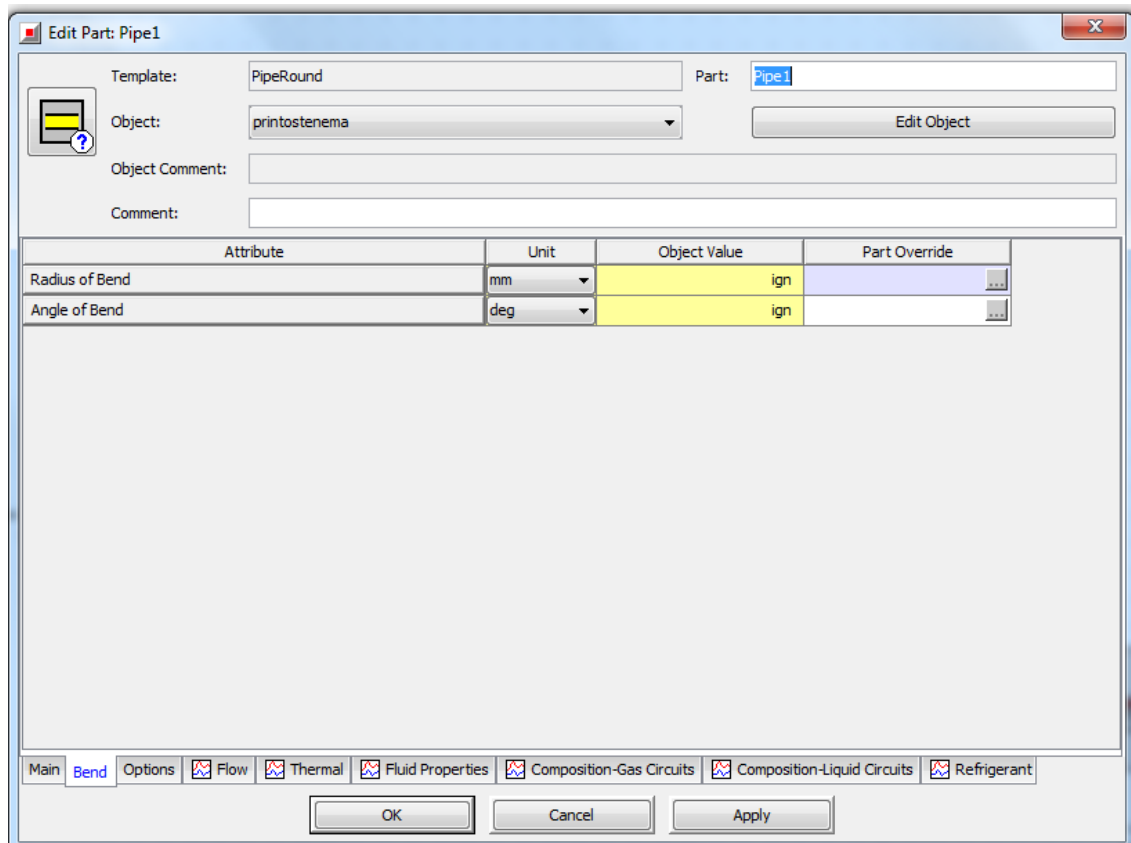
Attribute	Unit	Object Value
Pressure	bar	1
Temperature	K	300
Composition		air

Main

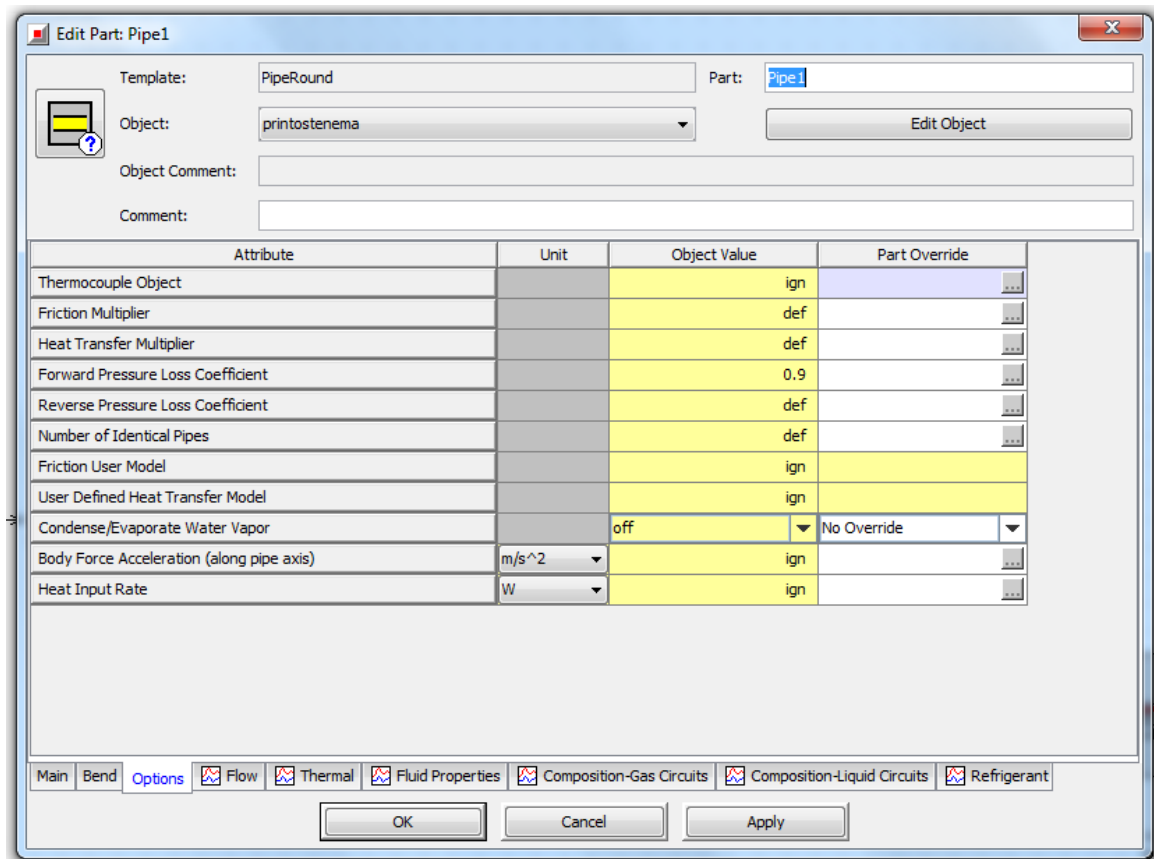
OK Cancel Apply

Γενικά, το συγκεκριμένο αντικείμενο μας παρέχει την δυνατότητα να ορίσουμε διάφορα χαρακτηριστικά όπως αναφέρονται παρακάτω. Τραχύτητα επιφανειών και μετάδοση της θερμότητας δεν λαμβάνονται υπόψη στην μοντελοποίηση.

Αν η σωλήνα έχει καμπή ορίζουμε στην ετικέτα **Bend** ακτίνα καμπυλότητας (Radius of bend) ή την γωνία καμπυλότητας (Angle of bend).



Αν το εικονίδιο θέλει να περιγράψει κάποια δυσκολία στη ροή του αέρα μέσα στον αυλό (π.χ. φίλτρο αέρα), μπορεί να το κάνει από τα options και από τους συντελεστές εκκένωσης.



Επίσης, το παρόν εικονίδιο έχει επιλογές για τριβή, μετάδοση θερμότητας και άλλες δυνατότητες που δεν μας χρειάζονται στην παρούσα εργασία.

6.4. Carbinj- InjAFSeqConn

Αυτό το εικονίδιο περιγράφει πλήρως τον εγχυτήρα που πραγματοποιεί τον ψεκάσμο του καυσίμου μέσα στο καρμπυρατέρ. Χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τον ψεκάσμο του καρμπυρατέρ σε έναν βενζινοκινητήρα. Εκχύει καύσιμο ώστε να κρατάει σταθερή την αναλογία αέρα καυσίμου (A/F ratio).

Αν η παροχή καυσίμου δεν είναι γνωστή (όπως δεν είναι και εδώ) μπορούμε να κάνουμε μία καλή εκτίμηση από τον παρακάτω τύπο:

$$\dot{m}_{Delivery} = n_V p_{ref} N_{RPM} V_D \left(\frac{F}{A}\right) \frac{6}{(\#CYL)(PulseWidth)}$$

όπου:

$$\dot{m}_{Delivery} = \text{Παροχή εγχυτήρα}(g/s)$$

$$n_V = \text{ογκομετρική απόδοση κινητήρα}$$

$$p_{ref} = \text{πυκνότητα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ογκομετρικής απόδοσης (kg/m3)}$$

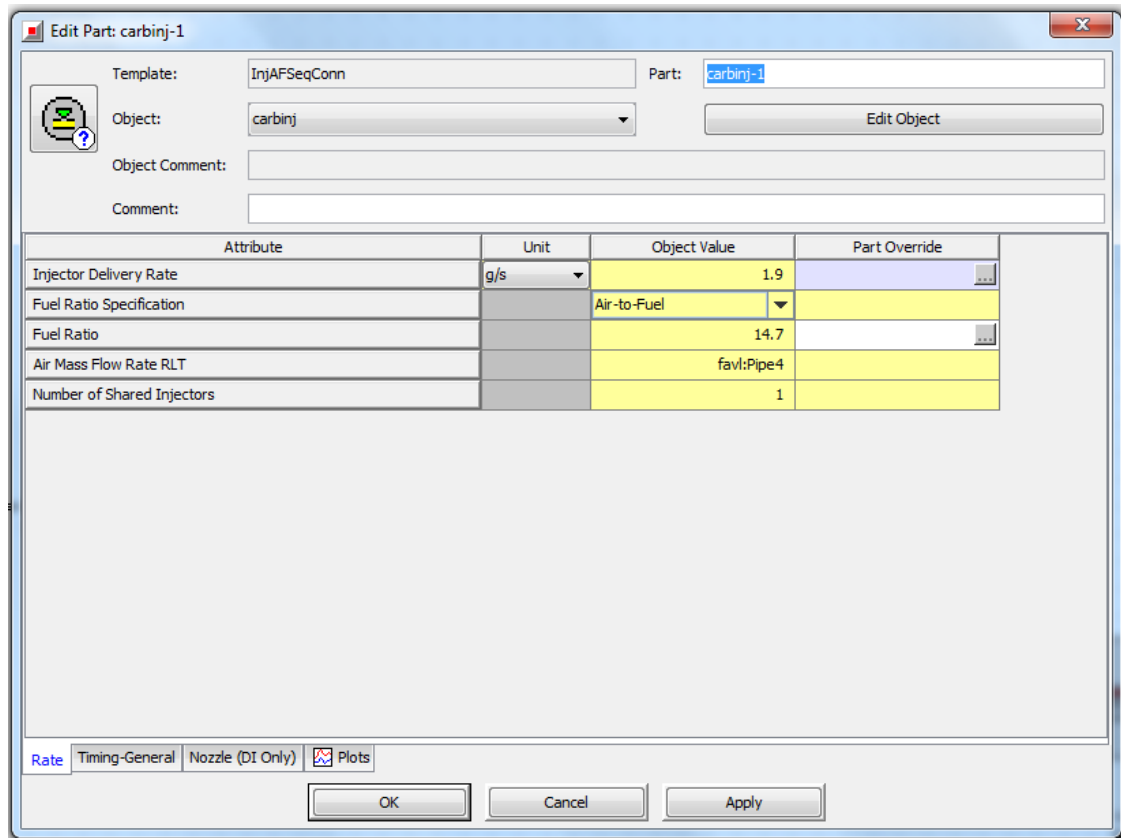
$$N_{RPM} = \text{Στροφές κινητήρα(RPM)}$$

$$V_D = \text{Κυβισμός κινητήρα (liters)}$$

$$F/A = \text{Αναλογία καυσίμου αέρα μηχανής.}$$

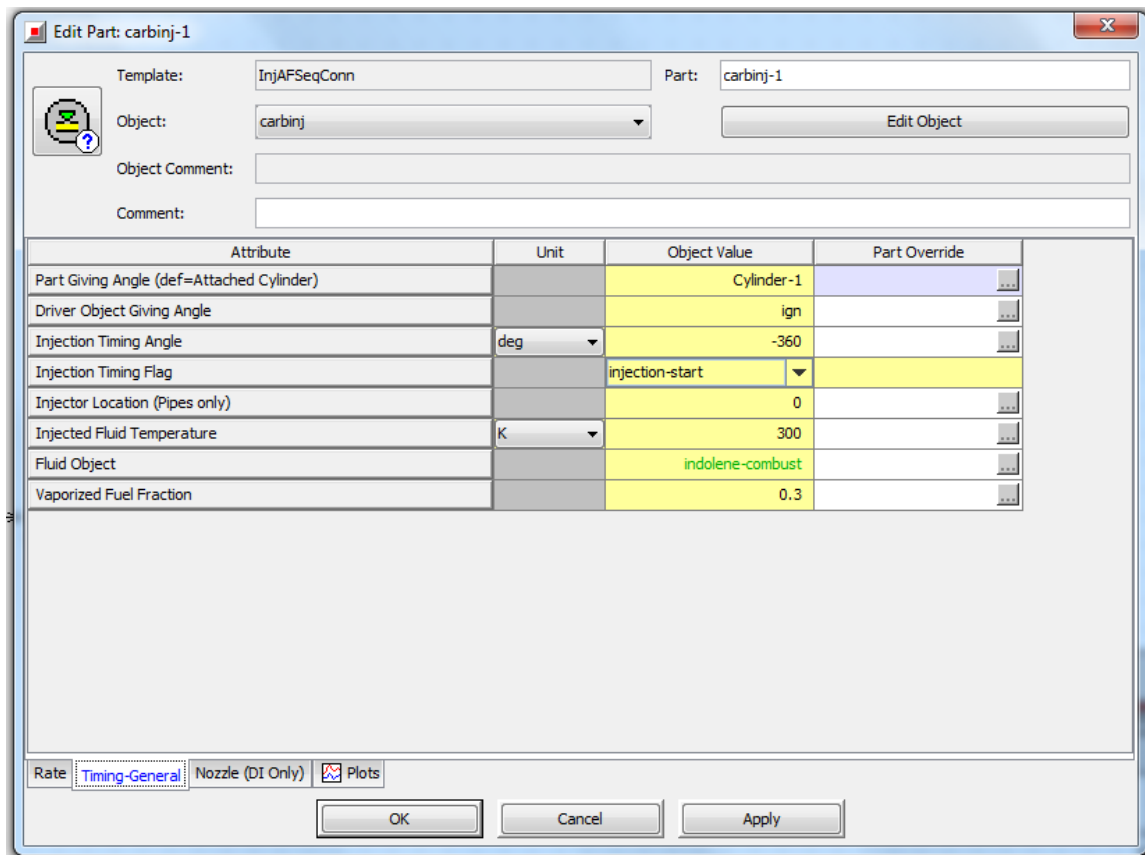
$$\#CYL = \text{Αριθμός κυλίνδρων}$$

$$PulseWidth = \text{Διάρκεια ψεκασμού (μοίρες στροφάλου)}$$



Σχήμα 6.4.A. Στοιχεία εγχυτήρα του καυσίμου

- **Injector Delivery Rate**, ο ρυθμός παροχής καυσίμου του εγχυτήρα όταν αυτός είναι ανοιχτός. Στην περίπτωση μας, είναι περίπου 1,9 g/s.
- **Fuel Ratio Specification**, προσδιορισμός της αναλογίας καυσίμου επιλέγουμε το Air-to-Fuel ratio
- **Fuel Ratio**, εφόσον επιλέξαμε παραπάνω air-to-fuel ratio αυτό ορίζεται 14,7.
- **Air Mass Flow Rate RLT**, ορισμός σημείου μέτρησης παροχής αέρα για έγχυση του ανάλογου καυσίμου με βάση την αναλογία αέρα καυσίμου που έχουμε ορίσει στο fuel ratio.
- **Number of Shared Injectors**, είναι ο αριθμός των εγχυτήρων και εδώ υπάρχει μόνο ένας εγχυτήρας για αυτό ορίζουμε ως 1.



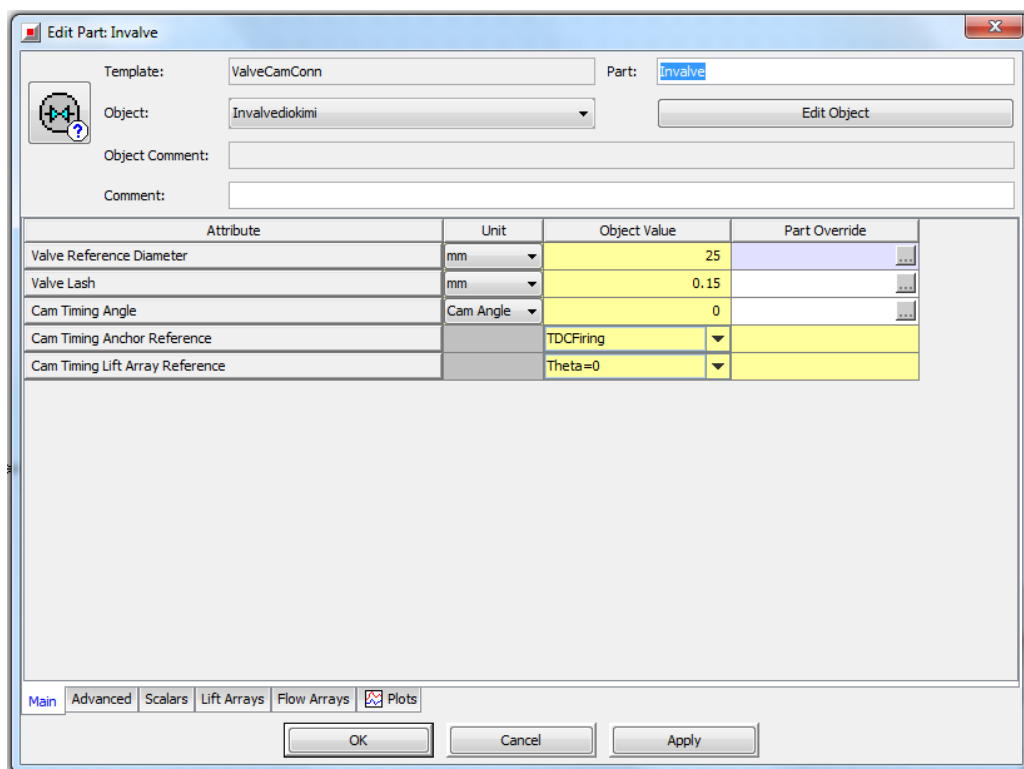
Σχήμα 6.4.B. Παράμετροι του εγχυτήρα καυσίμου σχετικά με τον χρονισμό.

- **Part Giving Angle**, επιλέγουμε τον κύλινδρο ώστε να ορίζει τις μοίρες λειτουργίας του εγχυτήρα.
- **Injection Timing Angle**, ορίζουμε τις μοίρες στις οποίες ξεκινάει ή σταματάει ο ψεκασμός. Εδώ έχουμε ορίσει τις μοίρες που ξεκινάει ο ψεκασμός και είναι -360. Το '-' ορίζει το πόσο νωρίτερα γίνεται σε σχέση με το TDCF.
- **Injection Timing Flag**, εδώ ορίζουμε ότι στο injection timing angle αναφερόμαστε στις μοίρες που ξεκινάει ο ψεκασμός. Μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε προσδιορισμό έναρξης αλλά και περάτωσης της έγχυσης συναρτήσει του χρονισμού.
- **Injector Location (Pipes Only)**, εδώ με το 0 δείχνουμε ότι η έγχυση γίνεται στην αρχή της σωλήνωσης. Το 1 δείχνει ότι γίνεται στο τέλος.

- **Injected Fluid Temperature**, θερμοκρασία εγχυόμενου καυσίμου 300 K.
- **Fluid Object**, η χημική σύσταση του καυσίμου την οποία μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε από την βιβλιοθήκη του GT-Suite ή ακόμα να ορίσουμε εμείς τα χαρακτηριστικά της. Χρησιμοποιήσαμε το indolene-combust όπου η στοιχειομετρική του αναλογία είναι 14,5 θερμογόνο δύναμη 46 MJ/Kg και πυκνότητα 750 kg/m³.
- **Vaporized Fuel Fraction**, Είναι παράγοντας ατμοποίησης του καυσίμου. Αναφέρεται στην μάζα του εγχυόμενου υγρού που θα εξατμιστεί αμέσως μετά την έγχυση. Για έναν τυπικό κινητήρα χρησιμοποιούμε το 0,3 όπως και στην δική μας περίπτωση.

6.5. Invalve

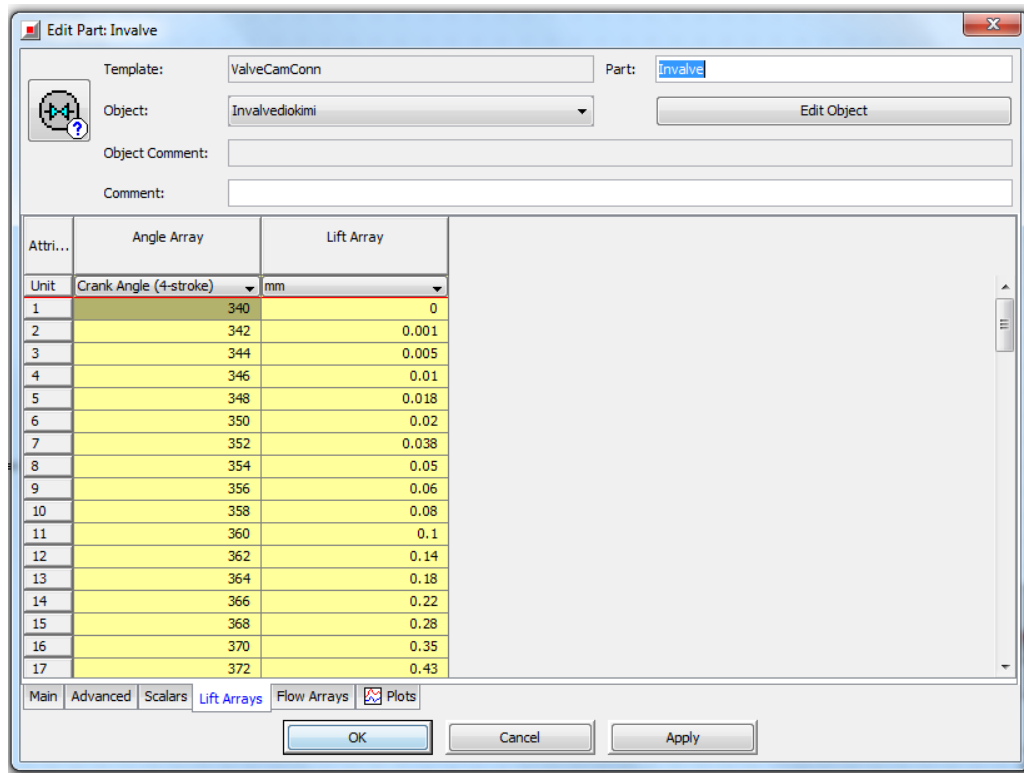
Το αντικείμενο αυτό ορίζει τα χαρακτηριστικά μίας βαλβίδας οδηγούμενης από τον εκκεντροφόρο συμπεριλαμβανομένου της γεωμετρίας της, το προφίλ του εκκεντροφόρου που δημιουργεί τη βύθιση και τα χαρακτηριστικά της ροής ειδικότερα στην έδρασή της.



Σχήμα 6.5.A. Χαρακτηριστικά βαλβίδας εισαγωγής

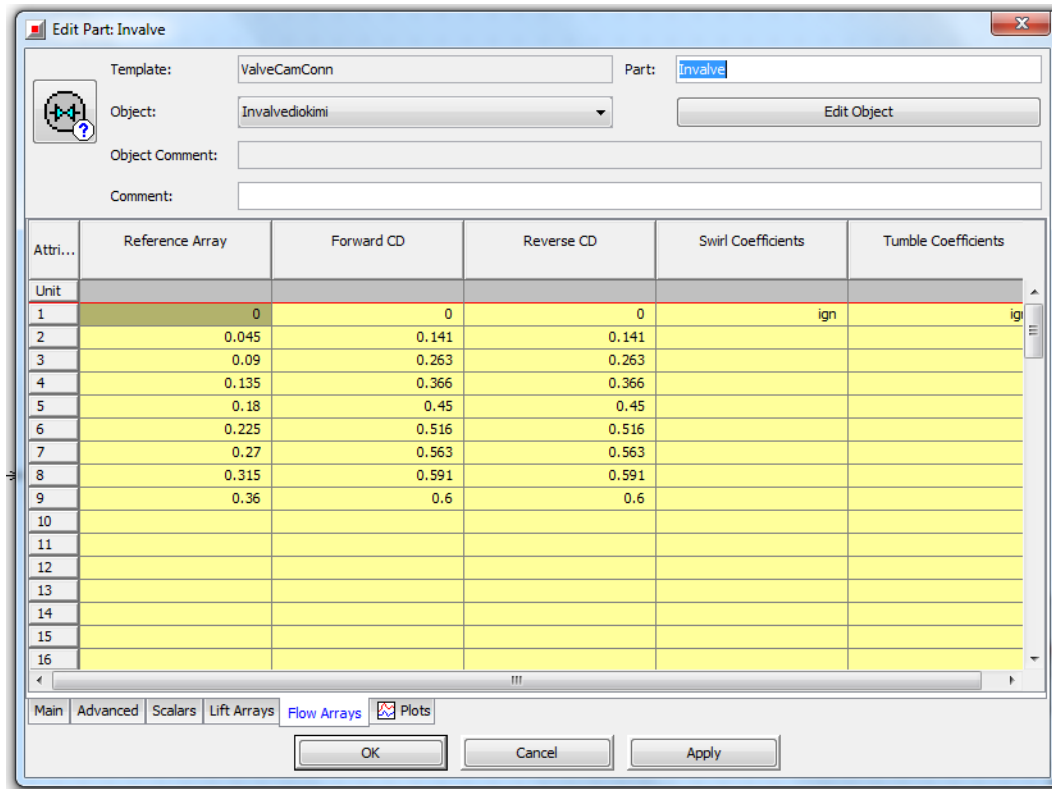
Πιο συγκεκριμένα:

- **Valve reference diameter**, αναφέρεται στην διάμετρο της βαλβίδας,
- **Valve lash**, το διάκενο της βαλβίδας,
- **Cam timing angle**, η γωνία του εκκεντροφόρου ανάμεσα στο ΑΝΣ τη στιγμή του σπινθήρα και του μέγιστου σημείου ανύψωσης της βαλβίδας. Αυτά τα σημεία αναφοράς που παίρνουμε την διάρκεια τα ορίζουμε εμείς παρακάτω στα **Cam Timing Anchor Reference** και **Cam Timing Lift Array Reference**.



Σχήμα 6.5.B. Η ανύψωση του εκκεντροφόρου συναρτήσει μοιρών στροφάλου.

- **Lift arrays**, πρέπει να ορισθεί το μέγεθος της ανύψωσης της βαλβίδας συναρτήσει των μοιρών του στροφάλου εφόσον είναι γνωστό το προφίλ των εκκεντροφόρων. Το προφίλ του εκκεντροφόρου δεν είναι γνωστό. Τα δεδομένα είναι η μέγιστη ανύψωση και η διάρκεια ανοίγματος της βαλβίδας. Εδώ γίνεται εκτίμηση βάσει των δεδομένων και ορίζουμε το προφίλ ανά 2° .



Σχήμα 6.5.Γ. Συντελεστές εκκένωσης βαλβίδας εισαγωγής

Στην καρτέλα flow arrays ορίζονται οι συντελεστές εκκένωσης (Discharge Coefficients) συναρτήσει του βυθίσματος προς την διάμετρο της βαλβίδας.

Οι τιμές υπολογίζονται με ένα έτοιμο φύλλο εργασίας που παρέχει το gt-suite στους χρήστες του μέσω υπολογιστικού φύλλου.

Gamma Technologies, Inc. (This spreadsheet is only for the licensed users of GT-POWER, GT-SUITE or GT-SUITE-MP)

Discharge coefficient generator for use with GT-POWER, GT-SUITE and GT-SUITE-MP [Help](#)

Click on any of the orange boxes to edit the values of input parameters or use the Discharge Coefficient Generator Wizard

Flow rate type:	mass
Number of Valves:	1
Flow Area Flag:	cross-section
Valve Diameter:	0.000 mm
Specific Heat Ratio:	1.40
Gas constant:	286986.000 J / (kg*K)
Pressure Type Flag:	Pressure ratio
Reference pressure (absolute):	101325.00 Pa
Reference pressure location:	Inlet / Total

Cd Generator Wizard

Input Section				Output Section					
Lift	Upstream Stagnation Temperature	Pressure Ratio (See cells C14, C15 & C16)	Flow Rate (See cell C5)	Reference Flow Area	Density at Throat	Isentropic Velocity	L/d	Discharge Coefficient	Effective area
mm	K	(none)	kg / s	mm ²	kg/m ³	m/s			mm ²

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο κατασκευάζουμε και το εικονίδιο εκvalve που αναφέρεται στην βαλβίδα εξαγωγής.

Edit Part: Exvalve

Template: ValveCamConn Part: Exvalve

Object: Exvalv [Edit Object](#)

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Valve Reference Diameter	mm	22	
Valve Lash	mm	0.2	
Cam Timing Angle	Crank An...	270	
Cam Timing Anchor Reference		TDCFiring	
Cam Timing Lift Array Reference		maxlift	

Main | **Advanced** | Scalars | Lift Arrays | Flow Arrays | Plots

[OK](#) [Cancel](#) [Apply](#)

Ανύψωση του εκκεντροφόρου εξαγωγής συναρτήσει των μοιρών του στροφάλου.

Όπως και στον εκκεντροφόρο εισαγωγής.

Template: ValveCamConn Part: Exvalve

Object: Exvalv Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attri...	Angle Array	Lift Array
Unit	Crank Angle (4-stroke)	mm
1	160	0
2	162	0.001
3	164	0.005
4	166	0.01
5	168	0.018
6	170	0.02
7	172	0.038
8	174	0.05
9	176	0.06
10	178	0.08
11	180	0.1
12	182	0.14
13	184	0.18
14	186	0.22
15	188	0.28
16	190	0.35
17	192	0.43
18	194	0.57
19	196	0.62
20	198	0.74
21	200	0.88
22	202	1.01
23	204	1.16
24	206	1.33
25	208	1.5
26	210	1.7
27	212	1.9

Main Advanced Scalars Lift Arrays Flow Arrays Plots

OK Cancel Apply

Συντελεστές εκκένωσης της βαλβίδας εξαγωγής.

Edit Part: Exvalve X

Template: ValveCamConn Part: Exvalve

Object: Exvalv Edit Object

Object Comment:

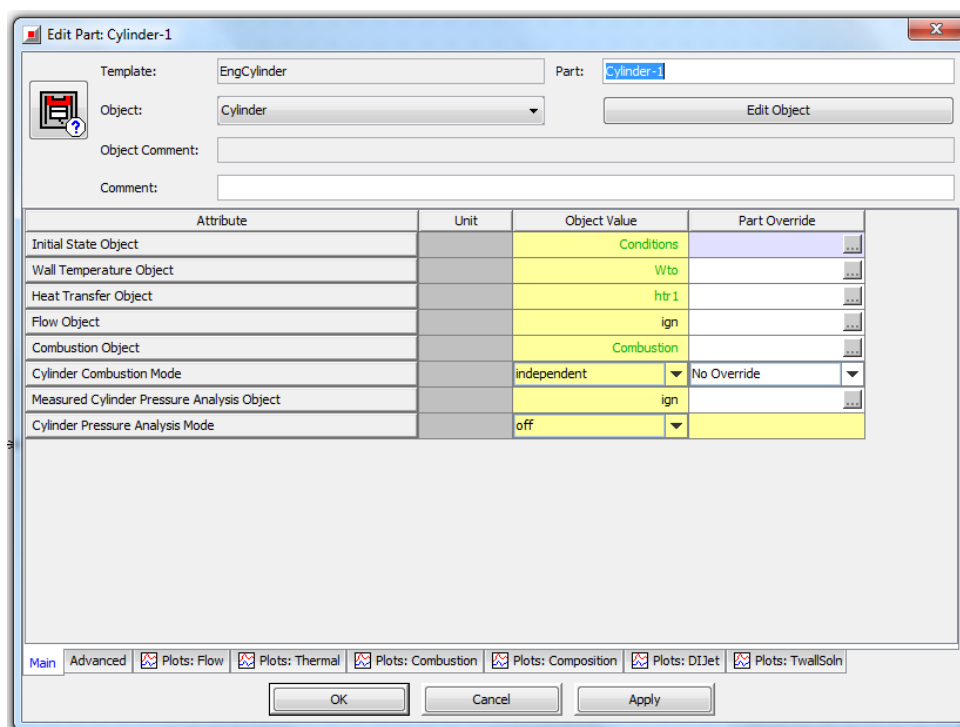
Comment:

Attri...	Reference Array	Forward CD	Reverse CD	Swirl Coefficients	Tumble Coefficients
Unit					
1	0	0	0	ign	
2	0.052	0.141	0.141		
3	0.105	0.263	0.263		
4	0.157	0.366	0.366		
5	0.209	0.45	0.45		
6	0.261	0.516	0.516		
7	0.314	0.563	0.563		
8	0.366	0.591	0.591		
9	0.418	0.6	0.6		
10					
11					
12					
13					
14					
15					

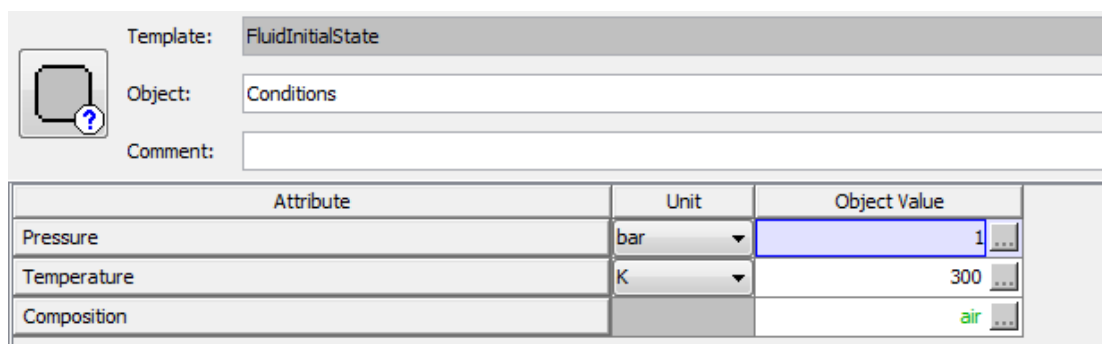
Main Advanced Scalars Lift Arrays **Flow Arrays** Plots

6.6. Cylinder

Αυτό το εικονίδιο χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των κυλίνδρων του κινητήρα.

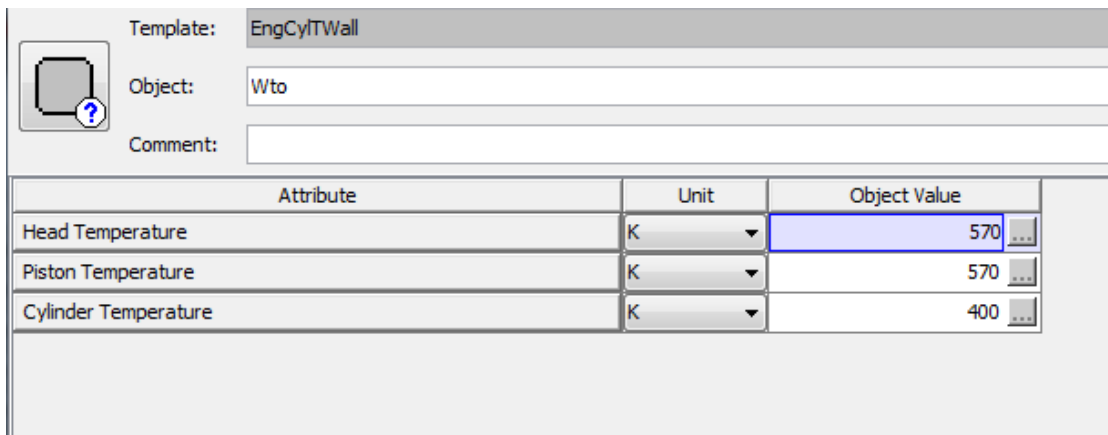


- **Initial state object**, περιγράφει τις αρχικές συνθήκες μέσα στον κύλινδρο. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήσαμε το πρότυπο Fluid Initial State που έχουμε ονομάσει Conditions το οποίο περιγράφει τις συνθήκες περιβάλλοντος.



- **Wall Temperature object**, χρησιμοποιείται για υπολογισμούς μετάδοσης θερμότητας και ορίζει μέσα στο θάλαμο του κυλίνδρου τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της κεφαλής, του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Επειδή δεν είναι διαθέσιμες οι θερμοκρασίες που αναφέρονται παραπάνω χρησιμοποιούμε τις τιμές που προτείνει ο οδηγός του GT-Suite. Για την κεφαλή και το έμβολο προτείνεται να ορισθεί τιμή από 550K έως 600K, στην περίπτωση

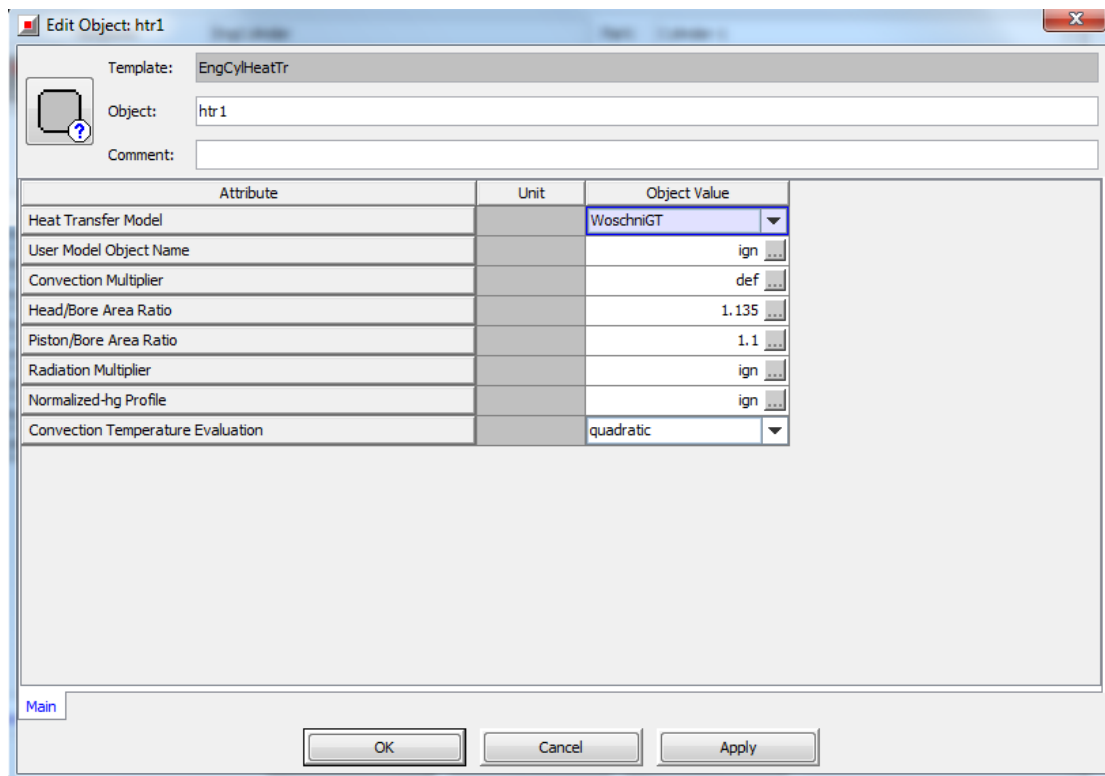
μας ορίστηκε 570K. Για τον κύλινδρο προτείνεται 400K.



Attribute	Unit	Object Value
Head Temperature	K	570
Piston Temperature	K	570
Cylinder Temperature	K	400

- **Heat Transfer object**, χρησιμοποιείται για να ορίσει τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας από τον κύλινδρο στο στροφαλοθάλαμο. Εδώ δημιουργήσαμε μία μεταβλητή 'htr' η οποία ακολουθεί το μοντέλο μετάδοσης θερμότητας 'WoschniGT' και η εκτίμηση της μετάδοσης θερμότητας μέσω συναγωγής των αερίων που παράγονται κατά την καύση προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου γίνεται γραμμικά (linear).

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί δύο συντελεστές που τους ονομάζει «λόγος κεφαλής προς διάμετρο κυλίνδρου» (head/bore area ratio) και «λόγος εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου» (piston / bore area ratio). Αυτοί οι συντελεστές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας προς την κεφαλή του κυλίνδρου και προς το έμβολο ανάλογα με την γεωμετρία των επιφανειών τους π.χ. αν δηλαδή η κεφαλή είναι σφηνοειδής ή κωνική και αν το έμβολο διαθέτει κοιλότητα ή όχι.



- Combustion object**, προσδιορίζει την καύση του μίγματος μέσα στον κύλινδρο. Μέσα σε αυτό το αντικείμενο ορίζουμε το ακριβές σημείο έναρξης της καύσης καθώς και τη διάρκεια της καύσης αναλογικά με τις μοίρες στροφάλου. Εδώ έχουμε ορίσει ως έναρξη της καύσης μία μεταβλητή (SOC) που στην περίπτωση μας είναι -12 μοίρες από το ANΣ και ως λήξη της καύσης όπου το μίγμα έχει ολοκληρώσει την καύση του τις 5 μοίρες μετά το ANΣ.

Template: EngCylCombProfile

Object: Combustion

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Start of Combustion		[SOC] ...
Profile Type		cumulative ▼
Interpolation Method		linear ▼
Normalize Combustion Profile		<input checked="" type="checkbox"/>
Fraction of Fuel Burned	fraction ▼	def ...

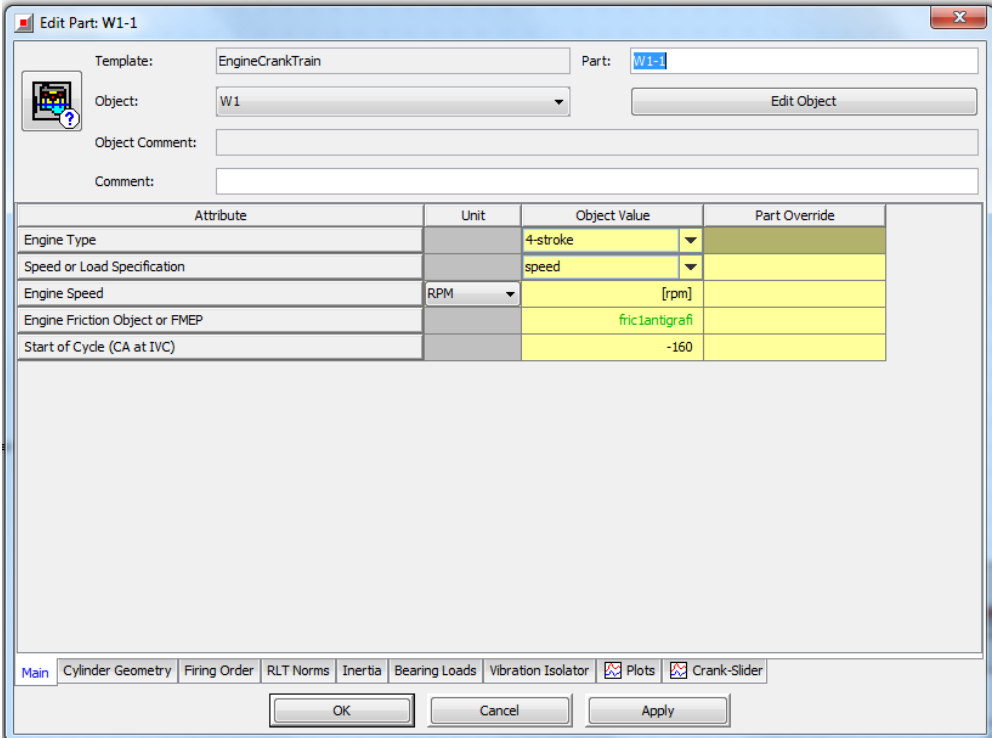
Main | Options | Advanced | Combustion Rate

OK Cancel Apply

- **Cylinder Combustion Mode**, ορίζεται ως independent προκειμένου να υπολογίζεται το ποσοστό καύσης σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά. Αυτή η επιλογή είναι η κατάλληλη για το δικό μας μοντέλο.
- **Measured Cylinder Pressure Analysis object**, ορίζεται ως ign διότι η Cylinder Pressure Analysis Mode έχει ορισθεί off.
- **Cylinder Pressure Analysis Mode**, ορίζεται off διότι δεν θα γίνει ανάλυση της πίεσης στον κύλινδρο της μοντελοποίησης μας.

6.7. W1- Στροφαλοφόρος άτρακτος

Αυτό το αντικείμενο καθορίζει τα χαρακτηριστικά του τμήματος engine cranktrain που χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει την κινηματική και τη δυναμική ακαμψίας του στροφάλου ενός κοινού κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το μοντέλο δυναμικής ακαμψίας περιγράφει σταδιακά δυνάμεις πίεσης που ασκούνται σε κάθε έμβολο ξεχωριστά και δημιουργούν ροπές στις εδράσεις τους στον στρόφαλο, οι οποίες προστίθενται και παράγουν την συνολική ροπή του κινητήρα.



Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Engine Type		4-stroke	
Speed or Load Specification		speed	
Engine Speed	RPM	[rpm]	
Engine Friction Object or FMEP		fric.1anbgrafi	
Start of Cycle (CA at IVC)		-160	

Το αποτέλεσμα της ροπής του κινητήρα αναφέρεται σε διάφορες θέσεις (κύλινδρος, κομβίο στροφάλου, στον άξονα και στην πέδη). Τα χαρακτηριστικά του engine cranktrain είναι τα ακόλουθα :

- **Engine type** (τύπος κινητήρα), αναφέρεται στους χρόνους του κινητήρα. Στην περίπτωσή μας μοντελοποιούμε τετράχρονο κινητήρα.
- **Speed or Load specification**, το speed δείχνει μια προσομοίωση με προκαθορισμένο αριθμό στροφών του κινητήρα. Η αντίστοιχη μεταβολή του φορτίου θα υπολογίζεται. (η πιο συνηθής κατάσταση). Το load δείχνει μία προσομοίωση με προκαθορισμένη ροπή φορτίου κινητήρα. Η αντίστοιχη μεταβολή της ταχύτητας θα υπολογιστεί. Εμείς επιλέγουμε το speed.

- **Engine speed**, αναφέρεται στις στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Στην περίπτωση μας έχει οριστεί ως μεταβλητή (RPM).
- **Engine friction Object ή FMEP**, για να υπολογιστεί η μεταβλητή θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος:

$$FMEP = C + (PF * Pmax) + (MPSF * Speedmp) + (MPSSF * Speed2mp)$$

όπου:

FMEP - Friction Mean Effective Pressure

Pmax - Maximum Cylinder pressure

Speedmp - Mean Piston Speed

C - Constant part of FMEP

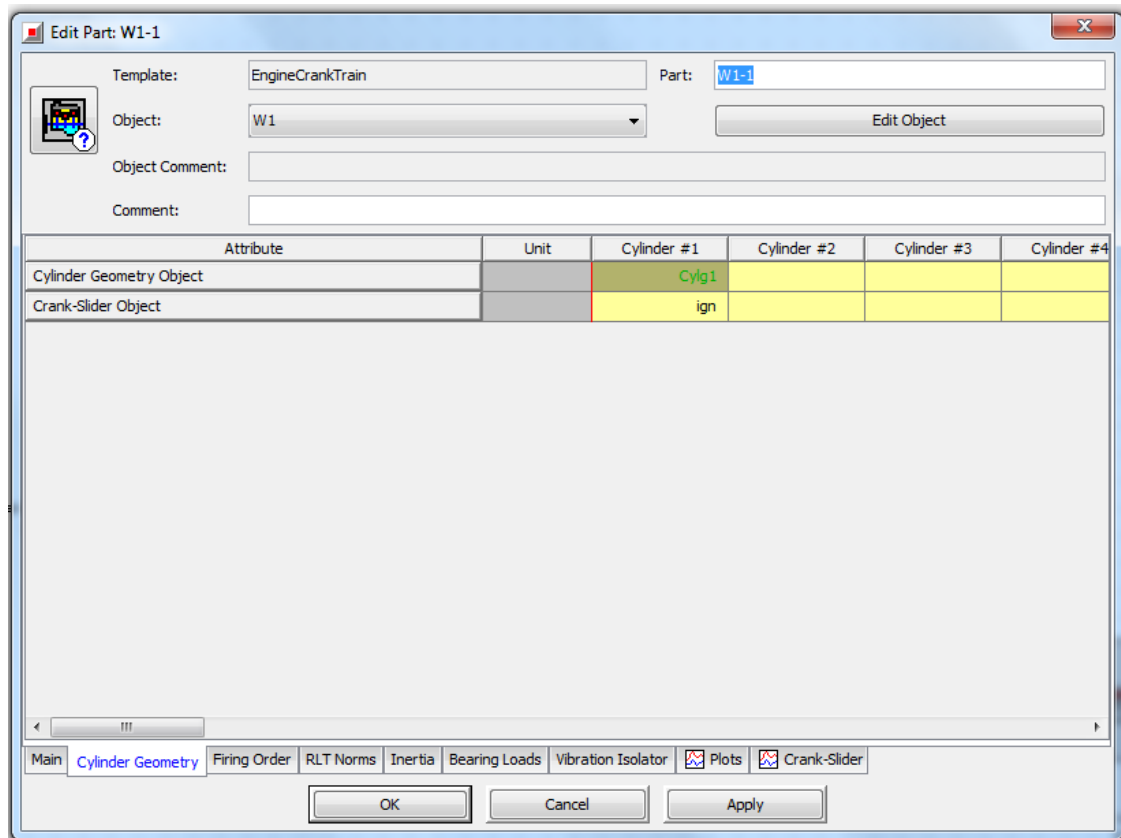
PF - Peak Cylinder Pressure Factor

MPSF - Mean Piston Speed Factor

MPSSF - Mean Piston Speed Squared Factor

Στην δική μας περίπτωση όπου δεν γνωρίζουμε όλα τα δεδομένα για να υπολογιστεί το FMEP πήραμε τα στοιχεία που χρησιμοποιεί το GT Suite σε tutorial αντίστοιχο με τον δικό μας κινητήρα.

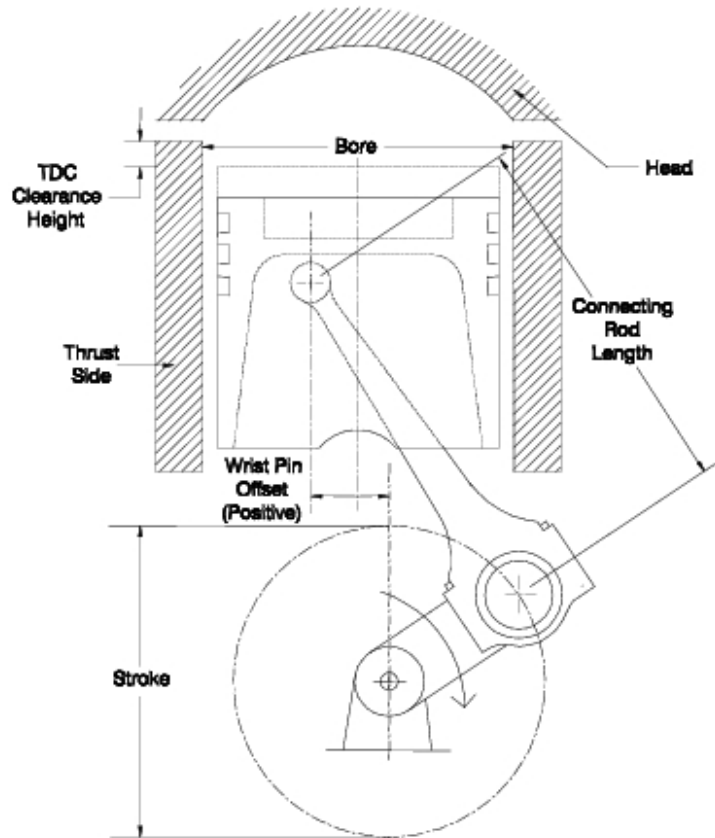
- **Start of cycle**, αναφέρεται στις μοίρες του στροφάλου πριν την έναυση στο ANΣ στις οποίες ξεκινάει ο υπολογισμός. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο αριθμός πρέπει να είναι αρνητικός. Αυτή η τιμή πρέπει να είναι ίση η μεγαλύτερη από το σημείο όπου γίνεται το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής αλλά πριν την έναρξη της καύσης. Στην περίπτωση μας η τιμή ισούται με -160. Η τιμή δείχνει ακριβώς στο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής.



Η καρτέλα Cylinder Geometry χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την γεωμετρία του κυλίνδρου και τα περιεχόμενά του:

- **Cylinder geometry object**, έφ'όσον έχουμε μόνο έναν κύλινδρο έχουμε βάλει στον πρώτο κύλινδρο τα χαρακτηριστικά του “cylg1”. Πιο συγκεκριμένα στο “cylg1” έχουμε ορίσει :
 - ❖ Bore (διάμετρος του κυλίνδρου) 85mm
 - ❖ Stroke (διαδρομή εμβόλου) 82.5mm
 - ❖ Connecting rod length (μήκος διωστήρα από πείρου έως νοητό κέντρο σημείου επαφής με τον στρόφαλο βλ. Σχέδιο διωστήρα) 163,7 από κλίμακα σχεδίου κινητήρα
 - ❖ TDC Clearance height απόσταση απο το άνω μέρος του εμβόλου έως την κεφαλή όταν το έμβολο βρίσκεται στο Άνω νεκρό σημείο.

Η καρτέλα Firing Order, αναφέρεται στην σειρά ανάφλεξης των κυλίνδρων. Στην περίπτωσή μας είναι περιττό διότι έχουμε μόνο έναν κύλινδρο.



Σχέδιο Διωστήρα

Edit Object: Cylg1

Template: EngCylGeom

Object: Cylg1

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Bore	mm	85
Stroke	mm	82.5
Connecting Rod Length	mm	163.7
Compression Ratio		[compression]
TDC Clearance Height	mm	11.7

Main | Piston-to-Crank Offset | Crank-Slider Compliance

OK Cancel Apply

Cylinder geometry -Cyl g1

6.8. Bellmouth

Αυτό το αντικείμενο περιγράφει ένα στόμιο τοποθετημένο ανάμεσα από 2 στοιχεία ροής. Αυτό τοποθετείται για να ενωθούν τα στοιχεία της ροής. Στην περίπτωση μας δεν παίζουν ουσιαστικό ρόλο και η διάμετρος τους εξαρτάται πάντα από τα προσκείμενα στοιχεία ροής. Σε όλα τα στόμια έχουμε συντελεστές εκκένωσης 1 και στις 2 κατευθύνσεις.

The dialog box 'Edit Part: bellmouth1' contains the following fields and table:

Template: OrificeConn Part: bellmouth1

Object: bellmouth Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Forward End Correction (Length/Diameter)		def	...
Reverse End Correction (Length/Diameter)		def	...
Heat Conduction "Flange"		def	...
Initial Mass Flow Rate	kg/s	def	...

Main Options Plots

OK Cancel Apply

Edit Part: InletPipe

Template: PipeRound Part: InletPipe

Object: Inport Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Diameter at Inlet End	mm	22.5	...
Diameter at Outlet End	mm	20	...
Length	mm	31.5	...
Discretization Length	mm	9	...
Material for Default Surface Roughness		user_value	...
Surface Roughness	mm	def	...
Wall Temperature	K	450	...
Heat Conduction Object		ign	...
Initial State Name			Conditions ...

Main Bend Options Flow Thermal Fluid Properties Composition-Gas Circuits Composition-Liquid Circuits Refrigerant

OK Cancel Apply

Αυλός Εισαγωγής

Edit Part: ExportPipe

Template: PipeRound Part: ExportPipe

Object: Export Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Diameter at Inlet End	mm	20	...
Diameter at Outlet End	mm	22.5	...
Length	mm	31.5	...
Discretization Length	mm	11	...
Material for Default Surface Roughness		user_value	...
Surface Roughness	mm	def	...
Wall Temperature	K	550	...
Heat Conduction Object		ign	...
Initial State Name			ExhConditions ...

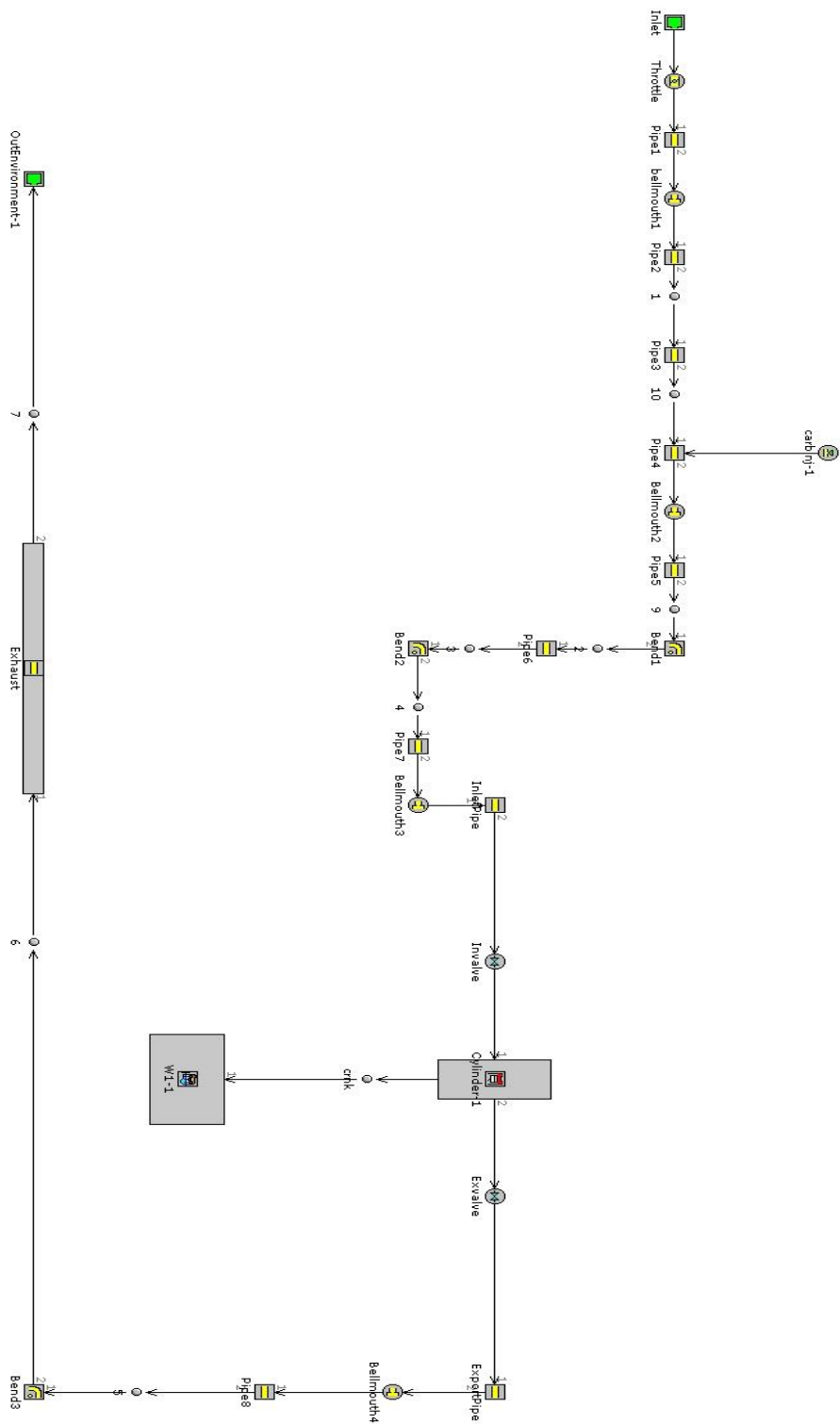
Main Bend Options Flow Thermal Fluid Properties Composition-Gas Circuits Composition-Liquid Circuits Refrigerant

OK Cancel Apply

Αυλός Εξαγωγής

7. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο GT-Suite

Αφού ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση των κομματιών που απαρτίζουν τη μηχανή εσωτερικής καύσης η τελική μορφή είναι όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω:



Μεταβλητές	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case 10	case 11	case 12	case 13	case 14	case 15
<i>Compression Ratio</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>RPM</i>	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200
<i>Start of combustion (SOC)</i>	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
<i>Throttle Angle</i>	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία που αφορούν την λειτουργία της μηχανής που μοντελοποιήσαμε. Η προσωμοίωση έγινε στις 1500 στροφες, με συμπίεση 7:1 και τελείως ανοιχτή τη πεταλούδα του καρμπυρατέρ.

Engine Geometry (Cyl # 1)

Bore [mm]	85.0
Stroke [mm]	82.5
Connecting Rod Length [mm]	163.7
Piston Pin Offset [mm]	0.00
Displacement/Cylinder [liter]	0.468
Total Displacement [liter]	0.468
Number of Cylinders	1
Compression Ratio	7.00
Bore/Stroke	1.030
IVC [CA]	538
EVO [CA]	185
IVO [CA]	362
EVC [CA]	355

Engine Operating Conditions

RPM	1500
Combustion Start [CA]	-12.0
Injection Start [CA]	N/A
Vol.Eff Ref. Pressure [bar]	1.000
Vol.Eff Ref. Temperature [K]	300
Mean Piston Velocity [m/s]	4.1
Vol.Eff Ref. Pressure [psi]	14.5
Vol.Eff Ref. Temperature [degF]	80
Mean Piston Velocity [ft/s]	13.5

Engine Performance Predictions (SI)

Brake Power [kW]	4.2
Brake Power [HP]	5.7
Brake Torque [N-m]	26.9
IMEP [bar]	7.97
FMEP [bar]	0.74
PMEP [bar]	-0.88
Air Flow Rate [kg/hr]	19.3
BSAC [g/kW-h]	4557
Fuel Flow Rate [kg/hr]	1.2
BSFC [g/kW-h]	295.5
Volumetric Efficiency [%]	78.9
Volumetric Efficiency (M) [%]	78.9
Trapping Ratio	1.000
A/F Ratio	15.42
Brake Efficiency [%]	27.9

Επεξηγήσεις στοιχείων αποτελεσμάτων καθώς και ενδεικτικοί τύποι υπολογισμού του GT SUITE :

Brake Power (KW , hp) : Δύναμη πέδης που δείχνει την απόδοση του κινητήρα σε KW ή hp.

bhp | Brake Power (HP)

$$bhp = btq \cdot avgrpm \cdot \left[\frac{2\pi}{60000} \right] \cdot 1.341$$

bkw | Brake Power (kW)

$$bkw = btq \cdot avgrpm \cdot \left[\frac{2\pi}{60000} \right]$$

Brake Torque (N-m) : Ροπή πέδης του κινητήρα σε Nm.

$$btq = \frac{\oint T_b(t) dt}{\oint dt}$$

$$T_b(t) = T_s(t) - I_{ct} \dot{\omega}_{ct}(t)$$

I_{ct} cranktrain inertia (attribute **Crankshaft Inertia** in 'EngineCrankTrain' object) [kg·m²]

$\dot{\omega}_{ct}(t)$ instantaneous cranktrain acceleration [1/s²]

IMEP: Μέση πίεση που εμφανίζεται σε έναν κύλινδρο κατά την διάρκεια ενός πλήρους κύκλου (720°)

$$imep = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \oint \frac{P_i dV_i}{V_{dispi}}}{\#Cylinders} = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} imepci}{\#Cylinders}$$

P_i instantaneous cylinder pressure of cylinder i [bar]

V_{dispi} displacement volume of cylinder i [m³]

$imepci$ cylinder imep RLT of cylinder i (calculated in EngCylinder objects) [bar]

FMEP: Θεωρητική μέση δραστική πίεση που απαιτείται να υπερκαλύψει το σύνολο των τριβών στον κινητήρα. Μπορεί να θεωρηθεί και ως η χαμένη πίεση που χάνεται από τις τριβές.

$$fmep = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} A + B(P_{max,i}) + C(\bar{S}_i) + D(\bar{S}_i^2)}{\#Cylinders}$$

A 'EngFrictionCF' attribute **Constant Part of FMEP**

B 'EngFrictionCF' attribute **Peak Cylinder Pressure Factor**

C 'EngFrictionCF' attribute **Mean Piston Speed Factor**

D 'EngFrictionCF' attribute **Mean Piston Speed Squared Factor**

$P_{max,i}$ maximum pressure in cylinder i during current cycle

$$\bar{S}_i = \frac{\oint S_i(t) dt}{\oint dt}$$

$S_i(t)$ instantaneous speed of piston i

PMEP: Μέση δραστική πίεση του έργου που ασκείται να μετακινεί τον αέρα μέσα

και έξω από τον κύλινδρο , διαμέσου των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.

`pmep` | PMP - Pumping Mean Effective Pressure

For 2-stroke models:

$$pmep = 0$$

For 4-stroke models:

$$pmep = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \int_{180}^{180} \frac{P_i dV_i}{V_{disp_i}}}{\#Cylinders} = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} pmepc_i}{\#Cylinders}$$

P_i instantaneous cylinder pressure of cylinder i [bar]

V_{disp_i} displacement volume of cylinder i [m³]

$pmepc_i$ cylinder pmep RLT of cylinder i (calculated in EngCylinder objects) [bar]

Air flow rate (kg/hr) : Ροή αέρα σε κιλά ανά ώρα.

`airflow` | Air Flow

$$airflow = \frac{\left[\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \oint \dot{m}_{ub,nf,i} dt \right] [60(avgrpm)]}{n_r}$$

$\dot{m}_{ub,nf,i}$ instantaneous mass flow rate of unburned non-fuel gas through all intake valves into cylinder i [kg/s]

n_r # revolutions per cycle (=1 for 2-stroke, =2 for 4-stroke)

BSAC (g.kW-h): Ειδική κατανάλωση αέρα.

`bsac` | BSAC - Brake Specific Air Consumption

$$bsac = \frac{airflow}{bkw} \cdot 1000$$

Fuel Flow Rate (kg/hr) : Παροχή καυσίμου σε κιλά ανά ώρα.

`fueltot` | Fuel Flow

$$fueltot = \frac{\left[\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \oint \dot{m}_{fuel,i} dt \right] [60(avgrpm)]}{n_r}$$

$\dot{m}_{fuel,i}$ instantaneous mass flow rate of fuel through all intake valves, and through all cylinder-mounted injectors, into cylinder i [kg/s]

n_r # revolutions per cycle (=1 for 2-stroke, =2 for 4-stroke)

BSFC (g/kW-h) : Ειδική κατανάλωση καυσίμου. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά καλό για την παλαιότητα του κινητήρα και δεν είναι πλήρως αντιπροσωπευτικό με την πειραματική μελέτη. Αυτό συμβαίνει για πολλούς παράγοντες που διαφοροποιούνται λόγω έλλειψης στοιχείων σε σχέση με την πραγματικότητα αλλά και για την επιλογή στην μοντελοποίηση να χρησιμοποιήσουμε τυποποιημένες τιμές τριβής που ανταποκρίνονται περισσότερο σε κινητήρες νεότερης τεχνολογίας.

bsfc | BSFC - Brake Specific Fuel Consumption

$$bsfc = \frac{fuel_{tot}}{bkw} \cdot 1000$$

Volumetric Efficiency (%) : Ο όγκος του μίγματος που εισήλθε εντός του κυλίνδρου κατά την διάρκεια της εισαγωγής συγκριτικά με τον όγκο του κυλίνδρου.

volefug | Volumetric Efficiency, Air+Fuel Vapor

$$volef = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \int \dot{m}_{ub,nf,i} dt}{\rho_{ref} V_{disp}}$$

$\dot{m}_{nf,i}$ instantaneous mass flow rate of burned and unburned fuel gas through all intake valves into cylinder i [kg/s]

V_{disp} displacement volume [m³]

ρ_{man} density in the part specified by the user in 'EngineCrankTrain'. A part in the intake manifold is typically specified. [kg/m³]

Trapping Ratio : Είναι η αναλογία του μίγματος που βρέθηκε μέσα στον κύλινδρο σε σχέση με το μίγμα που εξήλθε (σε άλλη μορφή βεβαίως) από τη βαλβίδα εξαγωγής.

trapp | Trapping Ratio

$$trapp = \frac{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} m_{ub,nf,i,cs}}{\sum_{i=1}^{\#Cylinders} \int \dot{m}_{ub,nf,i} dt}$$

$\dot{m}_{ub,nf,i}$ instantaneous mass flow rate of unburned non-fuel gas through all intake valves into cylinder i [kg/s]

$m_{ub,nf,i,cs}$ mass of unburned non-fuel gas trapped in cylinder i at the start-of-cycle for cylinder i [kg]

A/F Ratio : Αναλογία αέρα καυσίμου. Είναι μεγαλύτερο από την στοιχειομετρική αναλογία καθώς έχουμε και εξάτμιση ποσότητας του καυσίμου την στιγμή του ψεκασμού.

afrat	Air-Fuel Ratio (Inducted Air/Total Fuel)
-------	--

$$afrat = \frac{airflow}{fuel_{tot}}$$

afrattr	Air-Fuel Ratio (Trapped Air/Total Fuel)
---------	---

$$afrattr = \frac{airflow \cdot trapp}{fuel_{tot}}$$

Brake Efficiency (%) : Απόδοση του κινητήρα.

b _{eff}	Brake Efficiency
------------------	------------------

$$b_{eff} = \frac{bkw}{eng_{fen}} \cdot 100$$

eng _{fen}	Fuel Power
--------------------	------------

$$eng_{fen} = \left[\frac{1}{60000n_r} \right] \sum_{i=1}^{\#Cylinders} \left[LHV_f \int \dot{m}_{f,i,gas} dt + (LHV_f - HVAP_f) \int \dot{m}_{f,i,liq} dt \right]$$

LHV_f fuel lower heating value [J/kg]

HVAP_f fuel heat of vaporization [J/kg]

$\dot{m}_{f,i,gas}$ instantaneous mass flow rate of fuel entering cylinder i control volume in gaseous state [kg/s]

$\dot{m}_{f,i,liq}$ instantaneous mass flow rate of fuel entering cylinder i control volume in liquid state [kg/s]

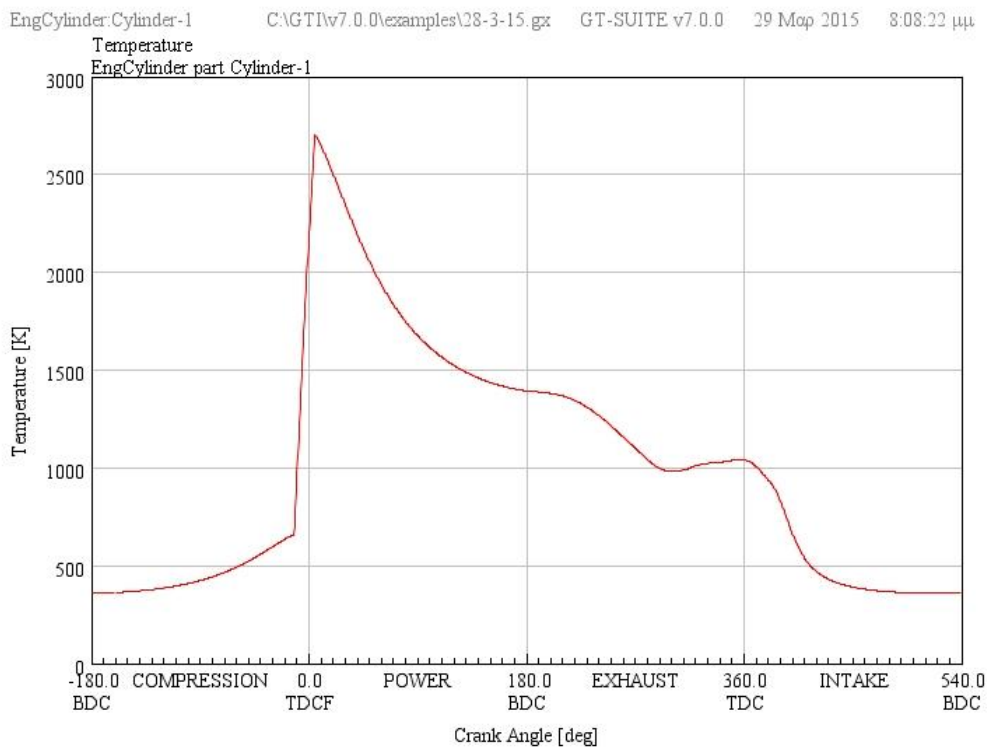
n_r # revolutions per cycle (=1 for 2-stroke, =2 for 4-stroke)

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε πως χρησιμοποιήθηκε η θερμική απόδοση του καυσίμου από τον κινητήρα

Engine Performance - Fuel Energy Basis

	Energy [kW]	% of Fuel Energy
Fuel	15.2	100.0
Useable	15.2	100.0
Brake	4.2	27.9
Friction	0.4	2.9
Exhaust	6.1	40.5
Heat.Tr	4.4	28.8

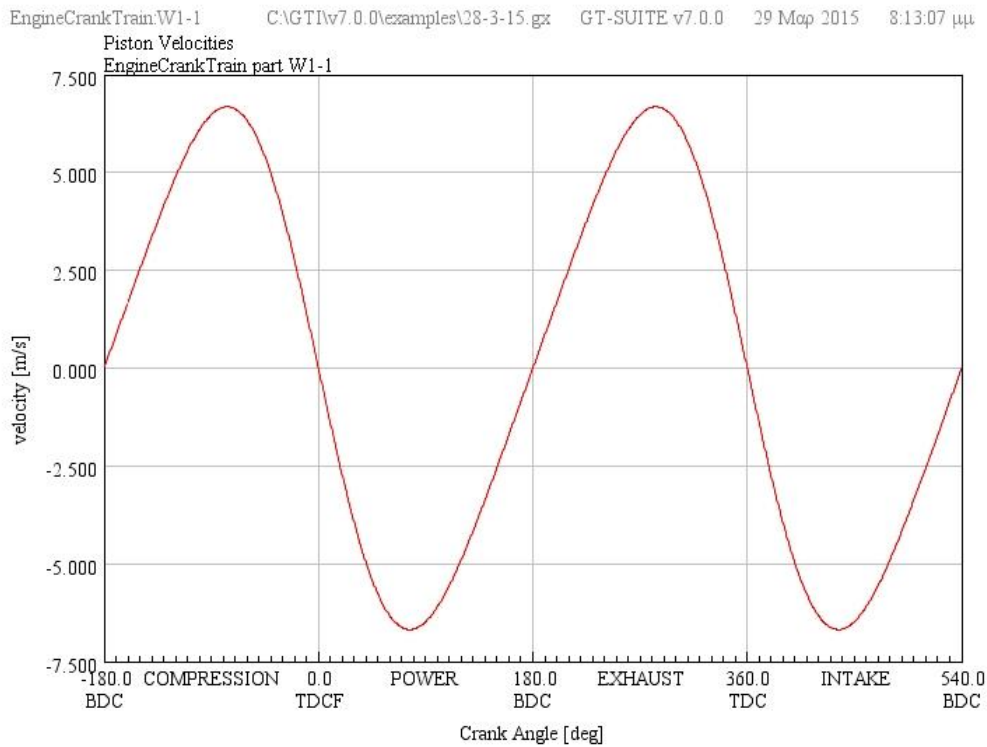
Διαγράμματα BSFC-RPM CO/λ, CO₂ / λ , HC / λ , NO_x / λ ,



Διάγραμμα 1-Θερμοκρασία συναρτήσει των μοιρών του στροφάλου

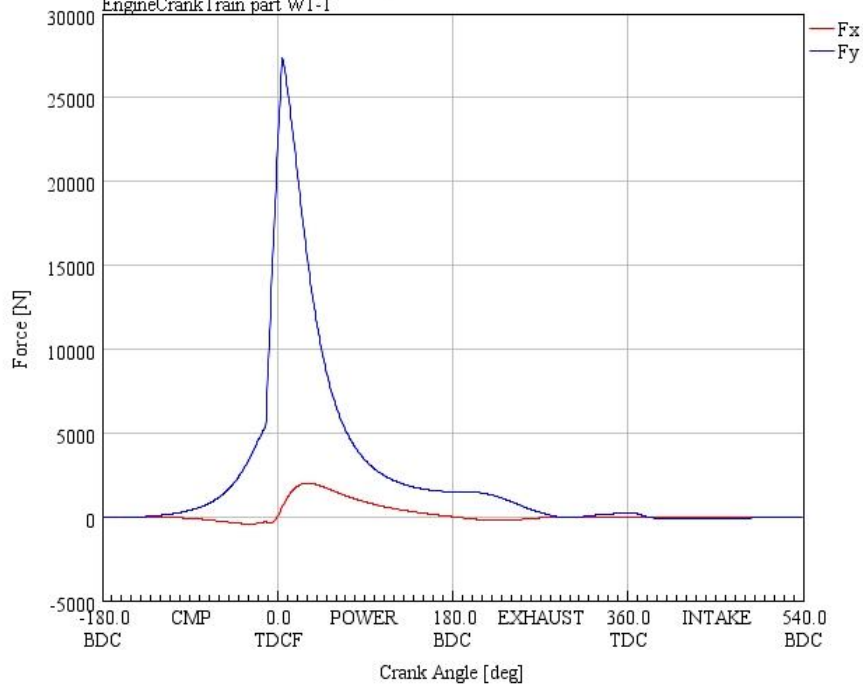
Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε χαρακτηριστικά την κατακόρυφη αύξηση της θερμοκρασίας την στιγμή της ανάφλεξης του μίγματος και την σταδιακή πτώση στους

επόμενους χρόνους. Αυτό συμβαίνει επειδή το έμβολο όταν πηγαίνει στο ΑΝΣ έχουμε συμπίεση του όγκου άρα και μικρή αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό φαίνεται και στους ± 360 (ΑΝΣ) που βλέπουμε αύξηση της θερμοκρασίας παρά την εκτόνωση στο σημείο που οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοιχτές (overlap).



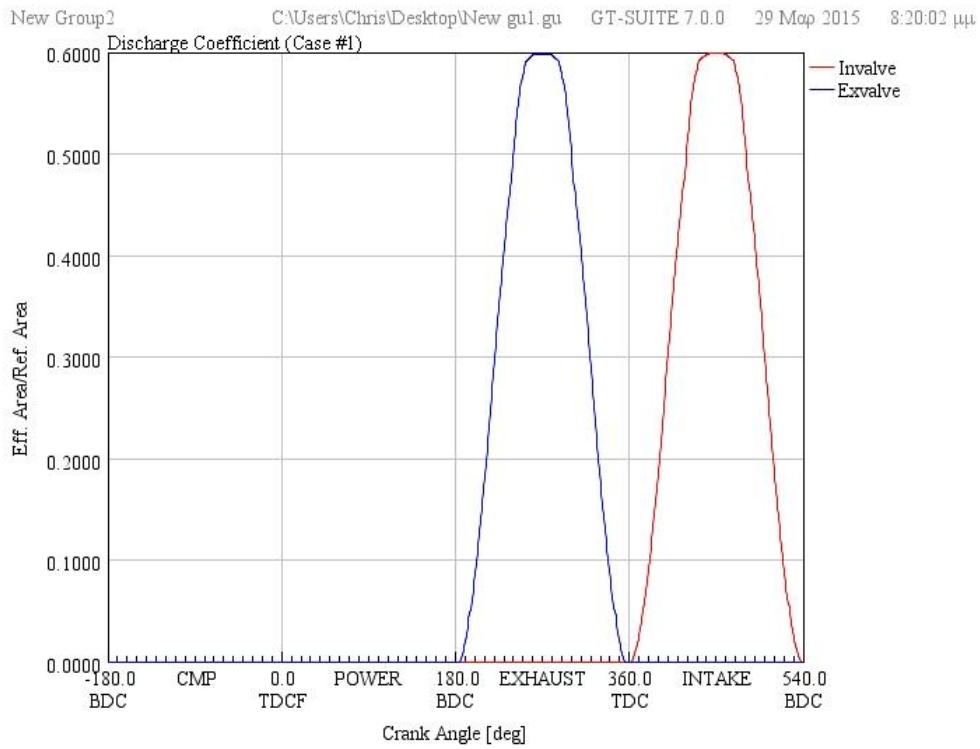
Διάγραμμα 2- Ταχύτητα του εμβόλου συναρτήσει των μοιρών του στροφάλου

Η μέγιστη ταχύτητα επιτυγχάνεται περίπου στη μέση του χρόνου ενώ μετά ξεκινάει να φθίνει μέχρι τη στιγμή που ακινητοποιείται πλήρως και αλλάζει την κατεύθυνσή του.



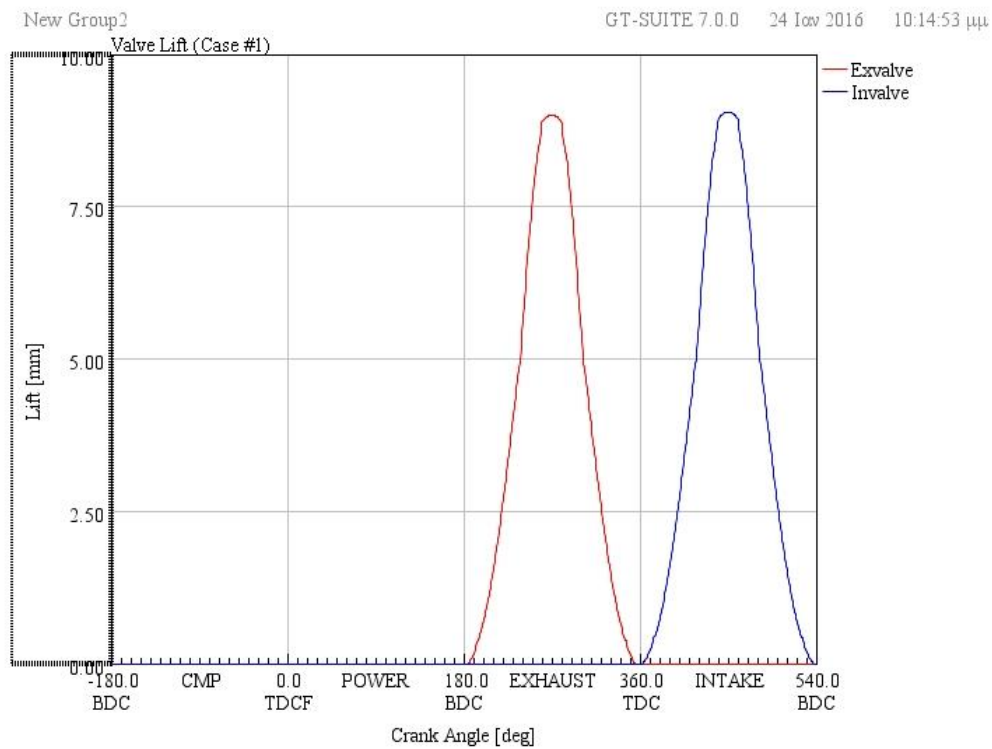
Διάγραμμα 3-Δυνάμεις που ασκούνται στον διωστήρα κατά τη διάρκεια όλων των χρόνων στον κάθετο και στον οριζόντιο άξονα

Μπορούμε να διακρίνουμε τη μέγιστη δύναμη που ασκείται στο σημείο της ανάφλεξης του μίγματος και την σχετική αδράνεια του διωστήρα στους υπόλοιπους χρόνους.



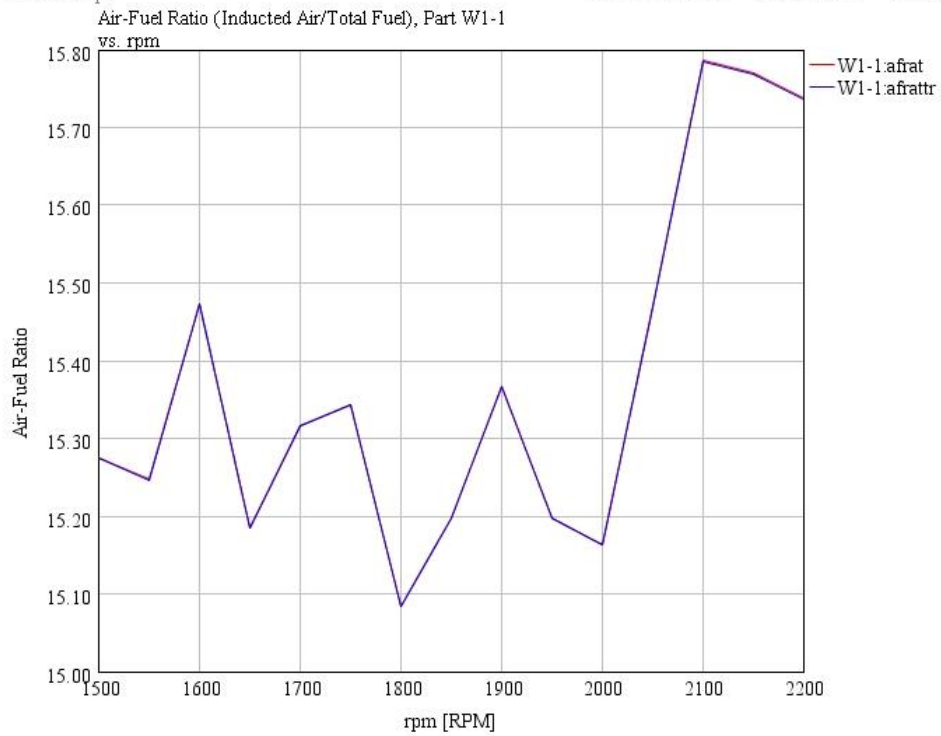
Διάγραμμα 4-Συντελεστές εκκένωσης των βαλβίδων συναρτήσει των μοιρών του στροφάλου

Στο διάγραμμα φαίνονται οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής όπου αυξάνουν σταδιακά το συντελεστή εκκένωσης μέχρι το ΑΝΣ που επιτυγχάνουν τη μέγιστη τιμή του μέχρι το ΚΝΣ που κλείνουν τελείως και ο συντελεστής εκκένωσης είναι στο 0.

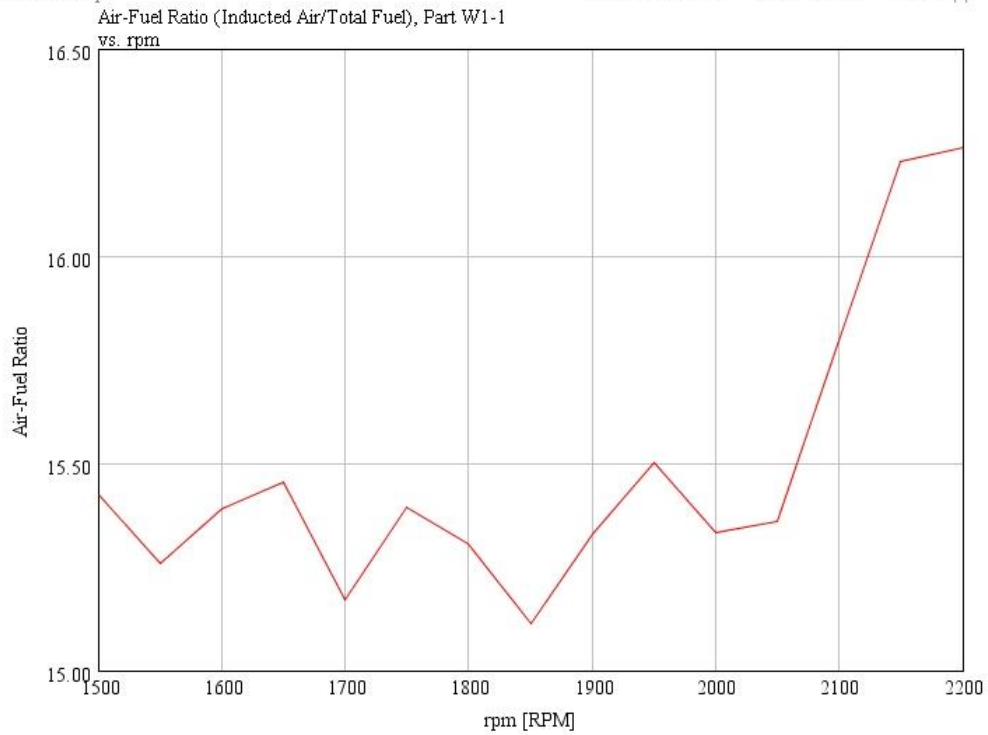


Ανύψωση των εκκεντροφόρων συναρτήσει μοιρών στροφάλου.

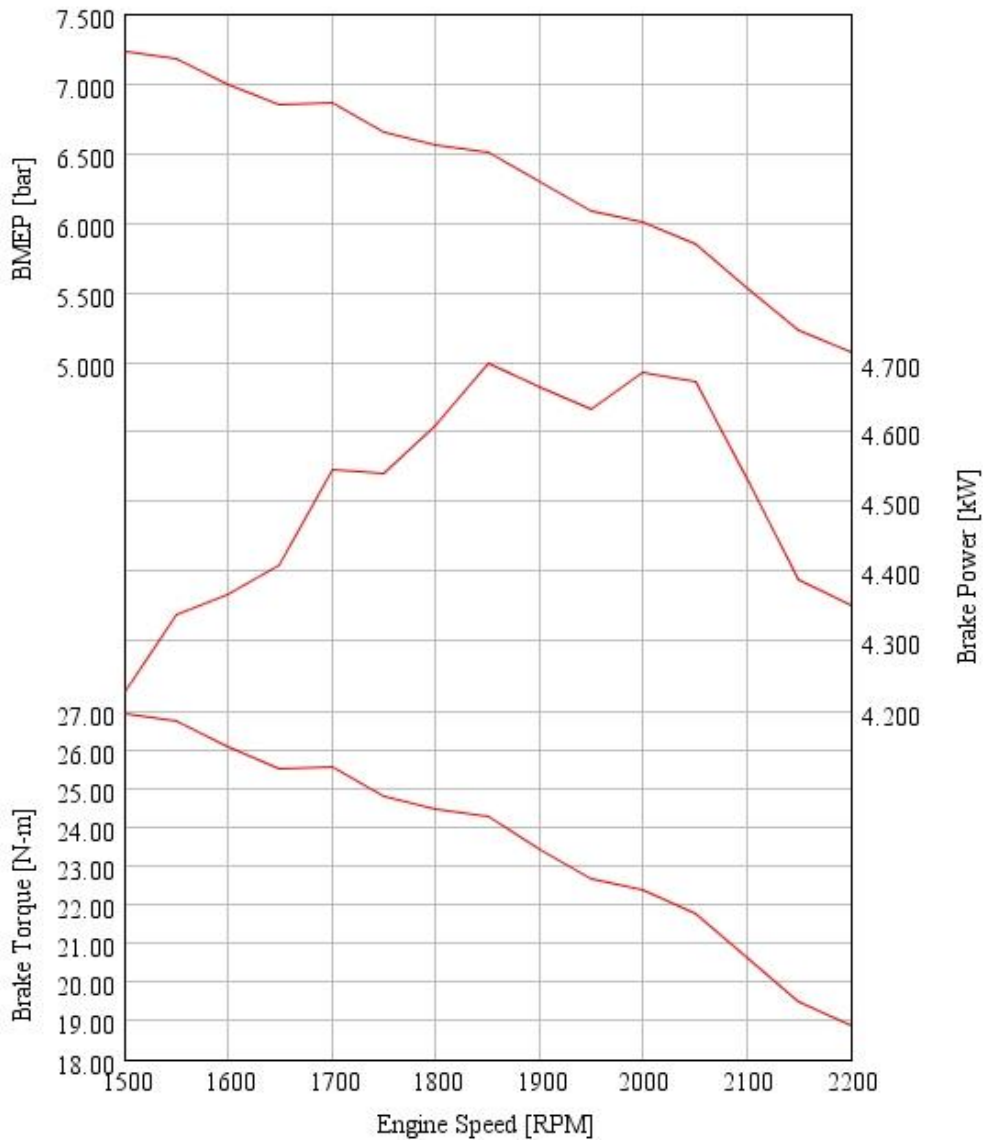
Εδώ φαίνονται και οι δύο εκκεντροφόροι συναρτήσει των μοιρών. Το προφίλ των εκκεντροφόρων δεν είναι ακριβώς το ίδιο με το πραγματικό αφού δεν κατέστη δυνατό να γίνει μέτρηση των εκκεντροφόρων ώστε να εξακριβωθεί το ακριβές προφίλ τους. Γνωρίζουμε μόνο την μέγιστη ανύψωση καθώς και την διάρκεια των εκκεντροφόρων.



Αναλογία αέρα καυσίμου σε όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα.



BMEP [bar]	@ RPM	Power [kW]	@ RPM	Torque [N-m]
7.22632	1500.0	4.69951	1850.0	26.9209

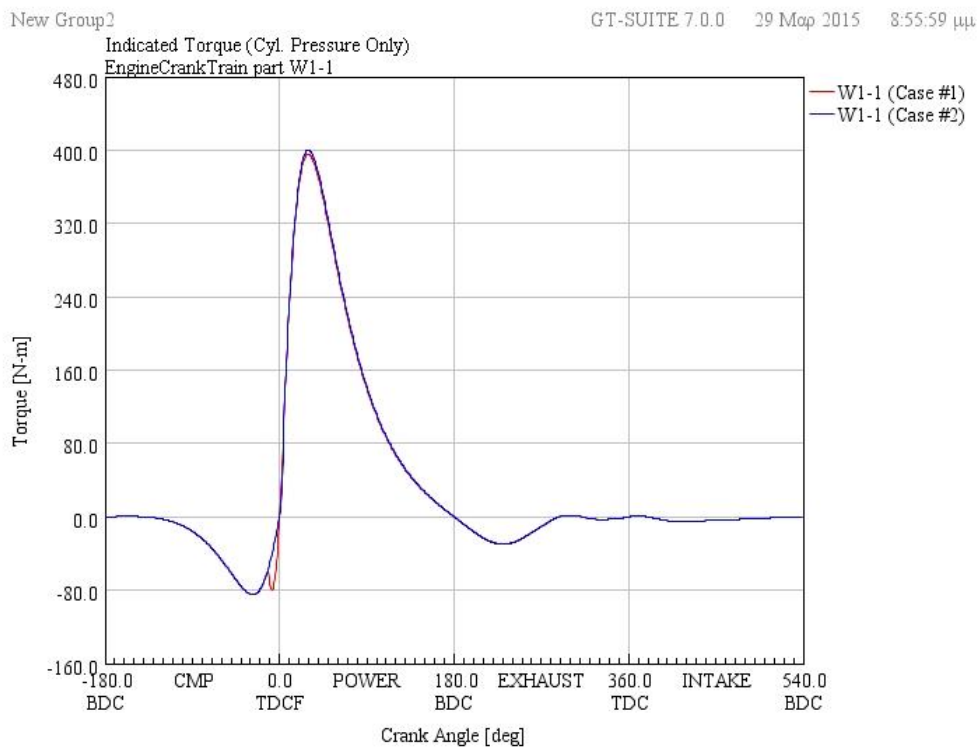


BMEP , Δύναμη πέδης (απόδοση σε kW) και ροπή πέδης συναρτήσει των στροφών λειτουργίας του κινητήρα.

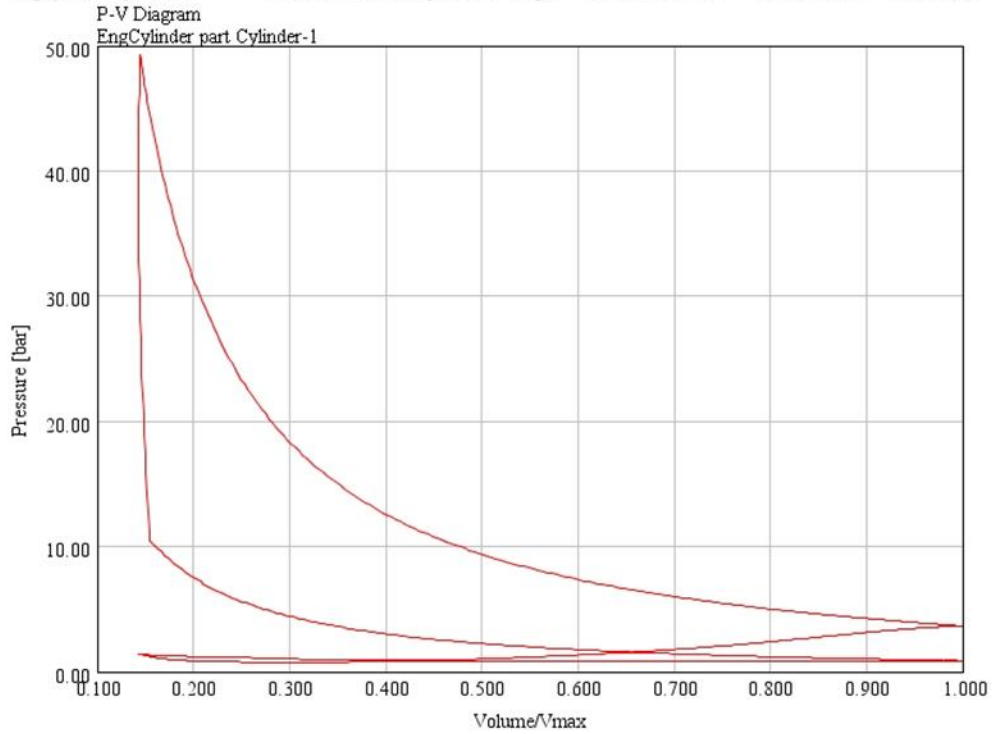
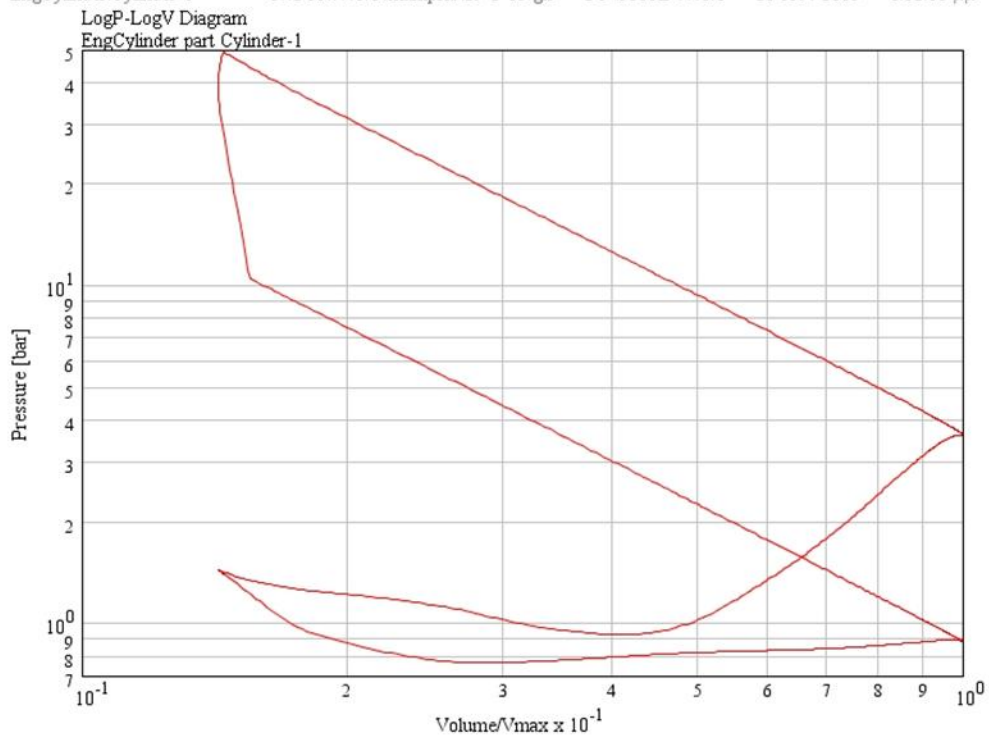
Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να δούμε την διαφορά που προκύπτει αλλάζοντας μόνο τον χρόνο της ανάφλεξης του σπινθιριστή. Τρέξαμε την δοκιμή για ίδιες στροφές (1500RPM) , ίδια σχέση συμπίεσης (7:1) και ίδιο άνοιγμα πεταλούδας (90°).

Το διάγραμμα αυτό μας δείχνει την ροπή του εμβόλου κατά την διάρκεια της κίνησης του , συναρτήσεως των μοιρών του στροφαλοφόρου άξονα.

Στην κόκκινη καμπύλη έχουμε προπορεία ανάφλεξης 12° και στην μπλε καμπύλη έχουμε έναυση ακριβώς όταν το έμβολο βρεθεί στο ΑΝΣ.

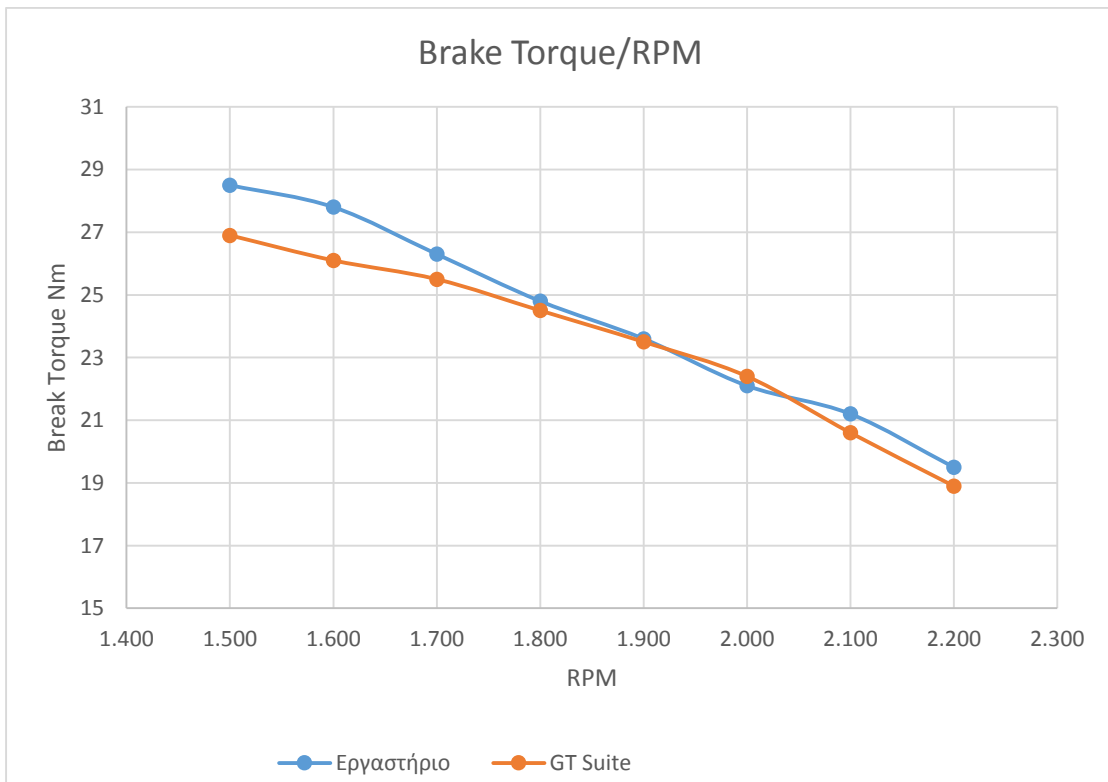
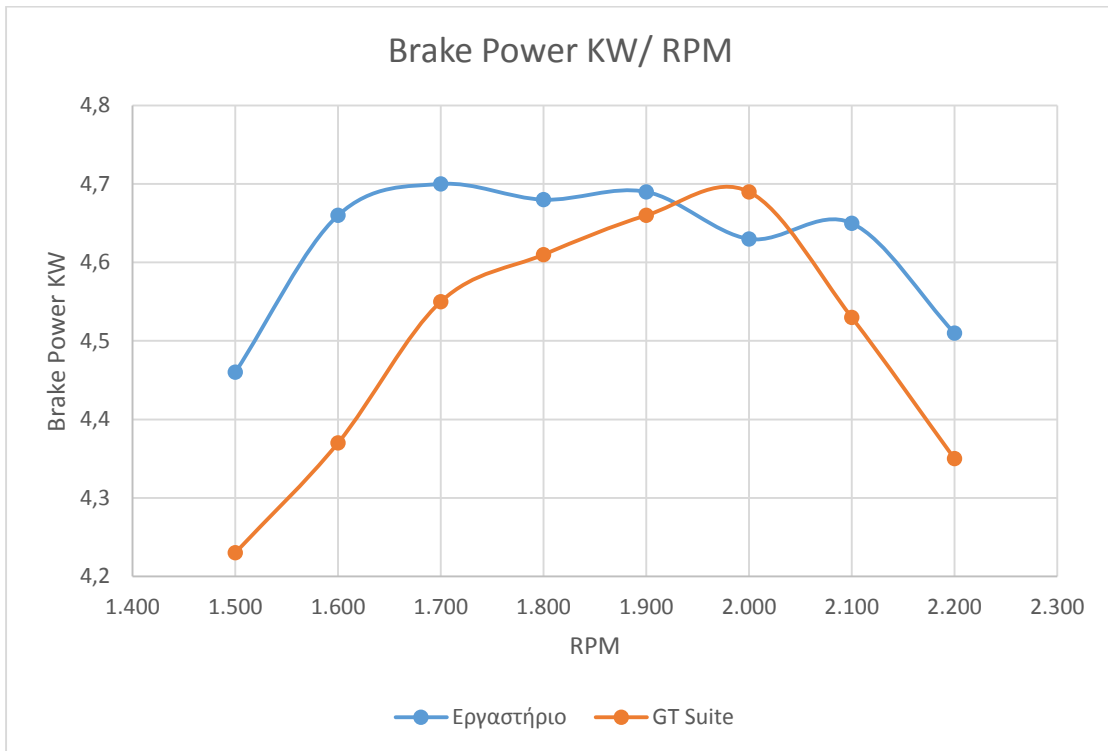


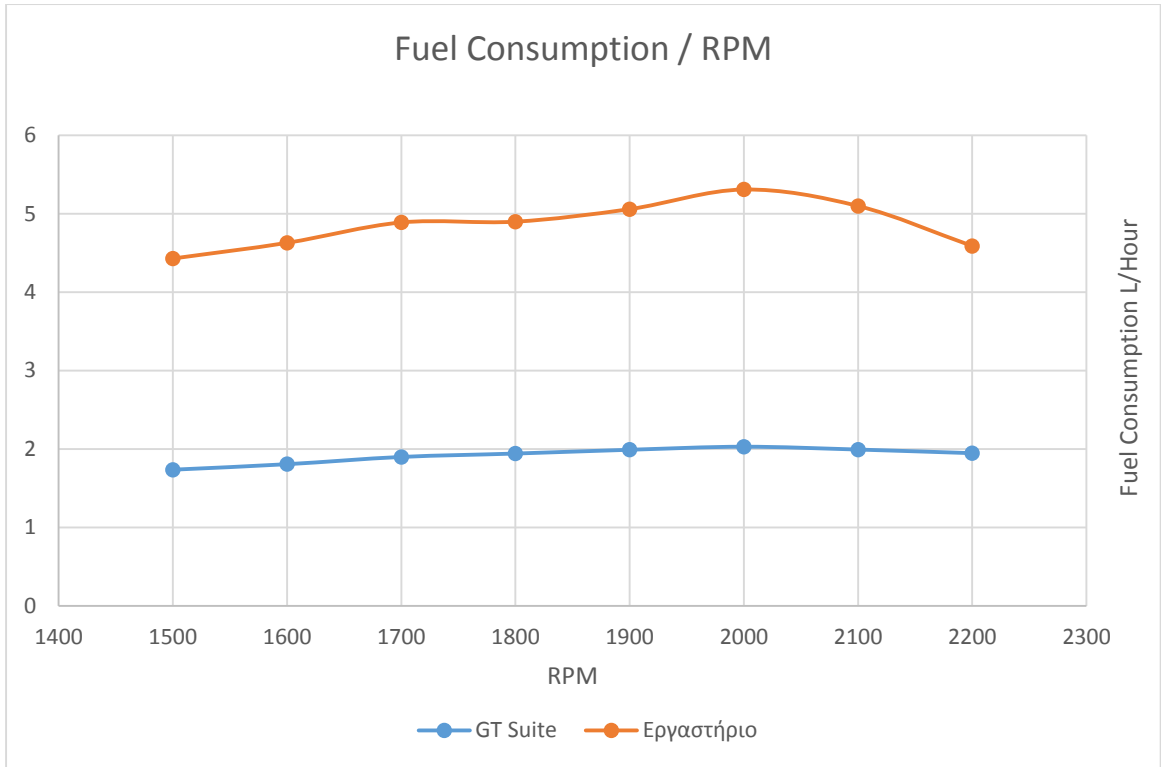
Ροπή εμβόλου συναρτήσεως μοιρών στροφάλου 1



8. Συγκριση πειραματικού μοντέλου-μοντέλο GT-Suite

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ισχύς, ροπής και κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει των στροφών ανά λεπτό του κινητήρα.





9. Συμπερασματα-Παρατηρήσεις

Σε κάποια διαγράμματα και σε κάποια αποτελέσματα βλέπουμε ότι υπάρχουν διαφορές σε σχέση με το πειραματικό τμήμα της Plint.

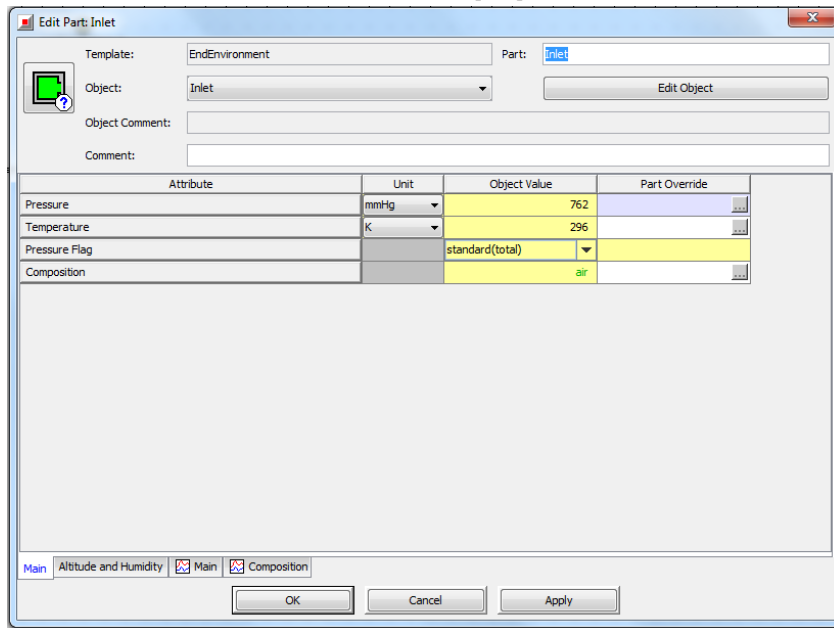
- Το κύριο πρόβλημα ήταν η έλλειψη αρκετών πληροφοριών για την Plint.
- Το Gt suite δεν έχει έτοιμο το καρμπυρατέρ και πρέπει να γίνει προσεγγιστική μοντελοποίηση και στις εσωτερικές του διαστάσεις που επίσης δεν γνωρίζουμε. Για αυτόν τον λόγο η μοντελοποίηση στο καρμπυρατέρ δεν ήταν ακριβής. Χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας εξωτερικός στραγγαλιστής και έγινε ένα ενδεικτικό βεντούρι.
- Δεν έχουμε ικανοποιητικά στοιχεία για τον εκκεντροφόρο. Ούτε το προφίλ ούτε το βύθισμα. Το βύθισμα μετρήθηκε αναλογικά με το σχέδιο του κινητήρα και το προφίλ του δημιουργήθηκε κατ' εκτίμηση.
- Δεν έχουμε καθόλου στοιχεία για τον χρονισμό ή την διάρκεια κάυσης. Γνωρίζουμε μόνο την ανάφλεξη στις -12° από το πειραματικό μέρος.
- Επίσης δεν χρησιμοποιήσαμε φίλτρο αέρα.

10. Αναφορες

- [1] <https://www.gtisoft.com/upload/Overview.pdf>
- [2] Instalation and operating instruction, TE 15 R/D
- [3] The operation and care of PETTER Petrol and Petrol/Vaporising oil engines, Publication No 330/1, February 1951.
- [4] Engine performance application manual
- [5] Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι, Δρ. Περικλής Γ. Χασιώτης, Εκδόσεις Ιων, 2007
- [6] http://www.gtisoft.com/products/p_Uilities_included_in_GT_SUITE_Details.php
Vehicle and engine technology , second edition , Heinz Heisler ,Elsevier

11. Παράρτημα

11.1. Μοντελοποίηση στο GT-SUITE



Εικόνα 1-Inlet 1

11.2. Αναλυτική παρουσίαση για κάθε σενάριο προσομοίωσης

Μεταβλητές	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case 10	case 11	case 12	case 13	case 14	case 15
Compression Ratio	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
RPM	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200
Start of combustion (SOC)	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
Throttle Angle	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας αναλυτικός πίνακας αποτελεσμάτων για την περίπτωση 1:

Engine Geometry (Cyl # 1)

Bore [mm]	85.0
Stroke [mm]	82.5
Connecting Rod Length [mm]	163.7
Piston Pin Offset [mm]	0.00
Displacement/Cylinder [liter]	0.468
Total Displacement [liter]	0.468
Number of Cylinders	1
Compression Ratio	7.00
Bore/Stroke	1.030
IVC [CA]	538
EVO [CA]	185
IVO [CA]	362
EVC [CA]	355

Engine Operating Conditions

RPM	1500
Combustion Start [CA]	-12.0
Injection Start [CA]	N/A
Vol.Eff Ref. Pressure [bar]	1.000
Vol.Eff Ref. Temperature [K]	300
Mean Piston Velocity [m/s]	4.1
Vol.Eff Ref. Pressure [psi]	14.5
Vol.Eff Ref. Temperature [degF]	80
Mean Piston Velocity [ft/s]	13.5

Engine Performance Predictions (SI)

Brake Power [kW]	4.2
Brake Power [HP]	5.7
Brake Torque [N-m]	26.9
IMEP [bar]	7.97
FMEP [bar]	0.74
PMEP [bar]	-0.88
Air Flow Rate [kg/hr]	19.3
BSAC [g/kW-h]	4557
Fuel Flow Rate [kg/hr]	1.2
BSFC [g/kW-h]	295.5
Volumetric Efficiency [%]	78.9
Volumetric Efficiency (M) [%]	78.9
Trapping Ratio	1.000
A/F Ratio	15.42
Brake Efficiency [%]	27.9

Engine Performance Predictions (US)

Brake Power [HP]	5.7
Brake Torque [ft-lbf]	19.9
IMEP [psi]	115.60
FMEP [psi]	10.79
PMEP [psi]	-12.71
Air Flow Rate [lb/hr]	42.5
BSAC [lb/hp-h]	7.492
Fuel Flow Rate [lb/hr]	2.8
BSFC [lb/hp-h]	0.486
Volumetric Efficiency [%]	78.9
Volumetric Efficiency (M) [%]	78.9
Trapping Ratio	1.000

A/F Ratio	15.42
Brake Efficiency [%]	27.9

Engine Performance - Fuel Energy Basis

	Energy [kW]	% of Fuel Energy
Fuel	15.2	100.0
Useable	15.2	100.0
Brake	4.2	27.9
Friction	0.4	2.9
Exhaust	6.1	40.5
Heat.Tr	4.4	28.8

Key Cylinder Predictions

Cylinder #	1
Part Name	Cylinder-1
Volumetric Efficiency [%]	78.9
Volumetric Efficiency (m) [%]	78.9
Trapping Ratio	1.000
Burned Residuals Mass (SOC) [%]	7.6
EGR [%]	0.0
F/A Ratio (trapped)	0.065
Lambda, Effective	1.064
IMEP [bar]	7.97
PMEP [bar]	-0.88
ISFC [g/kW-h]	267.9
Indicated Efficiency [%]	30.7
Fuel Mass [mg]	27.8
Maximum Pressure [bar]	49.31
CA at Max. Pressure [deg]	5.0

dPmx/DCA [bar/deg]	2.603
Maximum Temperature [K]	2707
Intake Pressure [bar]	0.995
Intake Temperature [K]	302
Exhaust Pressure [bar]	0.995
Exhaust Temperature [K]	1117
Heat.Tr. (frac. of F.E) [%]	28.8
Swirl at TDC	0.000
Swirl at BDC	0.000
NOx in ppm	475.99
Indicated Specific NO2 [g/kW-h]	0.00
Soot Concentration @ STP [g/m ³]	0.00
Indicated Specific Soot [g/kW-h]	0.00
HC in ppm	2.96
Indicated Specific HC [g/kW-h]	0.05
CO in ppm	12.25
Indicated Specific CO [g/kW-h]	0.05
CO2 in ppm	126831.00
Indicated Specific CO2 [g/kW-h]	848.16
Knocking zones	

Engine MEP, Torque and Power (SI Units)

	Indicated	Crankshaft	Friction	Attachments	Brake
MEP [bar]	8.0	8.0	-0.7	0.0	7.2
Torque [N-m]	29.7	29.7	-2.8	0.0	26.9
Power [kW]	4.7	4.7	-0.4	0.0	4.2

Engine MEP, Torque and Power (US Units)

	Indicated	Crankshaft	Friction	Attachments	Brake
MEP [psi]	115.6	115.6	-10.8	0.0	104.8
Torque [ft-lbf]	21.9	21.9	-2.0	0.0	19.9
Power [HP]	6.3	6.3	-0.6	0.0	5.7