



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Επιλογή βέλτιστου ναυτικού κινητήρα για πλοίο Bulk Carrier με τη βοήθεια μοντέλου 1D/0D βασισμένο στο εμπορικό λογισμικό AMESIM και MAN CEAS

Selection of the optimal marine engine for Bulk Carrier vessel using 1D/0D model based on the commercial software AMESIM and MAN CEAS

Συγγραφέας:

Κάκαρης Ι. Σταμάτιος

A.M.: 19393016

Επιβλέπων: Χατζηαποστόλου Αντώνιος

Αιγάλεω, 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Επιλογή βέλτιστου ναυτικού κινητήρα για πλοίο Bulk Carrier με τη βοήθεια μοντέλου 1D/0D βασισμένο στο εμπορικό λογισμικό AMESIM και MAN CEAS

Συγγραφέας

Κάκαρης Ι. Σταμάτιος (Α.Μ.:19393016)

Επιβλέπων

Χατζηαποστόλου Αντώνιος,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

22/01/2025

Εξεταστική Επιτροπή

Δ.Κουμπογιάννης

Σ. Τσαντζαλής

Α. Χατζηαποστόλου

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κάκαρης Σταμάτιος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 19393016 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



Κάκαρης Ι. Σταμάτιος

Ευχαριστίες

Για την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, κ. Χατζηαποστόλου Αντώνιο, ο οποίος καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας με βοηθούσε και με καθοδηγούσε με μεγάλη προθυμία. Οι συμβουλές του και τα σχόλια του πάνω στο θέμα μελέτης της διπλωματικής ήταν πολύ σημαντικά για τη συγγραφή της εργασίας καθώς επίσης και οι γνώσεις που μου προσέφερε ήταν μεγάλης σημασίας, τις οποίες και αξιοποίησα για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω της οικογένεια μου αλλά και τους φίλους μου για την υποστήριξη και τη συμπαράσταση που μου προσφέρουν στην καθημερινή μου ζωή και μου δίνουν δύναμη για να συνεχίζω να προσπαθώ και να βελτιώνομαι συνεχώς.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Επιλογή βέλτιστου ναυτικού κινητήρα για πλοίο Bulk Carrier με τη βοήθεια μοντέλου 1D/0D βασισμένο στο εμπορικό λογισμικό AMESIM και MAN CEAS» έχει ως αντικείμενο μελέτης την λειτουργία ενός δίχρονου ναυτικού κινητήρα δίνοντας έμφαση στην κατανάλωση καυσίμου που εμφανίζει.

Τα τελευταία χρόνια η εμφάνιση νέων κανονισμών που σχετίζονται με τις εκπομπές καυσαερίων έχει οδηγήσει πολλές ναυτιλιακές εταιρείες στην αναζήτηση μεθόδων βελτιστοποίησης της απόδοσης των πλοίων που έχουν στην κατοχή τους ή ακόμα και στην παραγγελία νέων πλοίων τα οποία να συμμορφώνονται με αυτούς τους νέους κανονισμούς.

Ο βασικότερος παράγοντας που καθορίζει την συμμόρφωση με τους κανονισμούς των εκπομπών καυσαερίων είναι η κύρια μηχανή του πλοίου και η απόδοσή της. Γι' αυτό το λόγο η επιλογή της κατάλληλης μηχανής αποτελεί σημαντικό αντικείμενο μελέτης στο οποίο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση.

Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας βοηθούν στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός ναυτικού κινητήρα αλλά και πως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα (διάμετρος εμβόλων, διαδρομή εμβόλων κ.α.) επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου. Επομένως μετά από σύγκριση τεσσάρων κινητήρων της εταιρείας MAN (6S60, 6G60, 8G50 και 8G45), για εφαρμογή σε ένα πλοίο Bulk Carrier κατηγορίας Kamsarmax επιλέγεται ο κινητήρας 6G60, ο οποίος στο επιθυμητό σημείο λειτουργίας εμφανίζει τη χαμηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κινητήρες. Μεταξύ των κινητήρων που συγκρίθηκαν ο 6G60 έχει τη μεγαλύτερη διαδρομή εμβόλου αλλά και τη μεγαλύτερη διάμετρο εμβόλου, ο συνδυασμός αυτών των χαρακτηριστικών τον καθιστά τον πιο αποδοτικό κινητήρα για το συγκεκριμένο πλοίο.

Λέξεις κλειδιά: Ναυτικός κινητήρας, εκπομπές καυσαερίων, απόδοση, βέλτιστος κινητήρας

Abstract

The present diploma thesis entitled “Selection of the optimal marine engine for Bulk Carrier vessel using 1D/0D model based on the commercial software AMESIM and MAN CEAS” has as its object of study the operation of a two stroke marine engine, emphasizing at it’s fuel consumption.

In recent years the development of new regulations related to exhaust gas emissions has led many shipping companies to look for solutions to optimize the performance of their ships or even to order newbuildings in order to comply with the new regulations.

The main factor determining compliance with exhaust gas emissions regulations is the ship’s main engine and its performance. For this reason the selection of the appropriate engine is a subject of major importance that should be given special emphasis.

The studies that carried out during the preparation of this diploma thesis help to understand how a marine engine works, but also how the geometric characteristics of the engine (piston diameter, piston stroke, etc.) affect the fuel consumption. Therefore after the comparison of four MAN engines (6S60, 6G60, 8G50 and 8G45) for use in a Kamsarmax Bulk Carrier, the 6G60 engine is selected, which at the desired operating point shows the less specific fuel oil consumption compared to the rest engines. Among the engines compared, the 6G60 has the longest piston stroke as well as the largest piston diameter, the combination of these characteristics make it the most efficient engine for this particular ship.

Key words: Marine engine, exhaust gas emissions, performance, optimal engine

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Κεφάλαιο 1: Ναυτικοί κινητήρες και κανονισμοί IMO	5
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή ναυτικού κινητήρα	7
2.1 Πλεονεκτήματα δίχρονου ναυτικού πετρελαιοκινητήρα	8
2.2 Εξαρτήματα δίχρονου ναυτικού κινητήρα	9
2.3 Κατασκευή δίχρονου ναυτικού κινητήρα	10
Κεφάλαιο 3: AMESIM Simcenter	13
3.1 Εισαγωγή στο AMESIM	13
3.2 Εφαρμογές του AMESIM	14
3.3 Βιβλιοθήκες του AMESIM.....	15
3.4 Δημιουργία μοντέλων	18
3.5 Ανάλυση της βιβλιοθήκης IFP-Engine.....	24
3.5.1 Εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους	24
3.5.2 Βασικά εξαρτήματα κινητήρα	39
3.5.2.1 Επιλογές εμβόλων	40
3.5.2.2 Επιλογές διωστήρα - στροφάλου	42
3.5.2.3 Επιλογές στροβιλοσυμπιεστή	44
Κεφάλαιο 4: MAN CEAS Engine calculations.....	49
4.1 Λειτουργία της εφαρμογής CEAS Engine calculations.....	49
4.2 Αποτελέσματα της εφαρμογής CEAS	57
4.3 Ονοματολογία κινητήρων της MAN.....	68
Κεφάλαιο 5: Μελέτη επιλογής κινητήρα.....	70
5.1 Χαρακτηριστικά πλοίου	70
5.2 Επιλογή κινητήρα.....	71
5.2.1 Κινητήρας 6S60	72

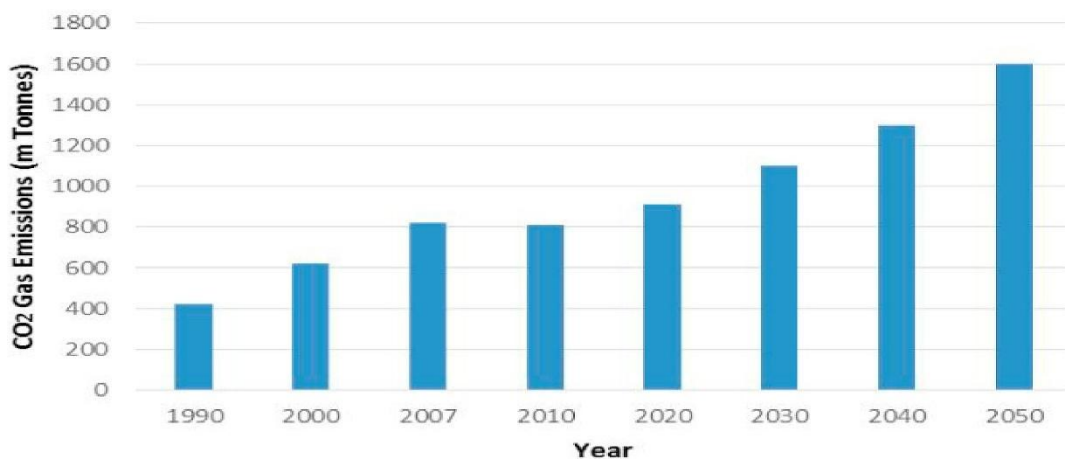
5.2.1.1	MAN CEAS – 6S60.....	72
5.2.1.2	AMESIM Simcenter – 6S60	74
5.2.2	Κινητήρας 6G60.....	84
5.2.2.1	MAN CEAS – 6G60.....	84
5.2.2.2	AMESIM Simcenter – 6G60	85
5.2.3	Κινητήρας 8G50.....	88
5.2.3.1	MAN CEAS – 8G50.....	88
5.2.3.2	AMESIM Simcenter – 8G50	89
5.2.4	Κινητήρας 8G45.....	92
5.2.4.1	MAN CEAS – 8G45.....	92
5.2.4.2	AMESIM Simcenter – 8G45	94
	Κεφάλαιο 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων	97
	Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	100
	Κεφάλαιο 8: Προτάσεις.....	102
	Βιβλιογραφία	103

Εισαγωγή

Η παγκόσμια ναυτιλία παίζει καθοριστικό ρόλο στην οικονομία του πλανήτη, καθώς παρατηρείται συνεχής αύξηση του παγκόσμιου στόλου πλοίων. Επίσης τα τελευταία χρόνια η αύξηση της τιμής του πετρελαίου είναι ένα γεγονός που δεν περνάει απαρατήρητο. Καθώς και οι νομοθεσίες σχετικά με την ρύπανση των ωκεανών και του περιβάλλοντος έχουν γίνει πιο αυστηρές, η παγκόσμια ναυτιλία έχει να αντιμετωπίσει μεγάλες προκλήσεις.

Ο κλάδος της ναυτιλίας αριθμεί γύρω στο 3% της παγκόσμιας παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία παράγονται σχεδόν αποκλειστικά από την καύση ορυκτών καυσίμων για την πρόωση των πλοίων, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Γι' αυτό τον λόγο ο IMO (International Maritime Organization) έχει προβεί στη θέσπιση κανονισμών έχοντας ως στόχο τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Το κύριο αέριο του θερμοκηπίου το οποίο παράγεται από τα πλοία είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Όπως παρατηρούμε και στον παρακάτω πίνακα μέχρι το 2050 υπολογίζεται ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ετησίως θα είναι σχεδόν 1600 εκατομμύρια τόνοι.



Εικόνα 1: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην παγκόσμια ναυτιλία από το 1990 έως το 2050, [Πηγή: Sciencedirect]

Για να μπορέσει να μειωθεί η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου ένας από τους κανονισμούς που εφάρμοσε ο IMO είναι το Energy Efficiency Design Index (EEDI) το οποίο αφορά τα νεότευκτα πλοία και το Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) για τα υπάρχοντα πλοία. Αυτοί οι κανονισμοί έχουν ως στόχο τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου από τα πλοία, κάτι το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα και τη μείωση της

παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου. Οι κανονισμοί αυτοί θεωρούν ότι το πλοίο ταξιδεύει με την ταχύτητα σχεδίασης σε βαθύ νερό, με καλοκαιρινό βύθισμα καθώς επίσης και ότι ταξιδεύει σε ήρεμο νερό χωρίς κύμα και άνεμο.

Πιο αναλυτικά το EEXI πρόκειται για έναν δείκτη ο οποίος περιγράφει τις εκπομπές CO₂ ενός πλοίου ανά τόνο φορτίου και ανά μίλι, επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι το EEXI πρόκειται για έναν τεχνικό δείκτη και όχι για υπηρεσιακό δείκτη. Αντίθετα ένας άλλος δείκτης ο οποίος έχει εφαρμοστεί από τον IMO είναι ο Carbon Intensity Indicator (CII), ο οποίος παίρνει τιμές από A έως E και υπολογίζει τις πραγματικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πρόκειται για έναν υπηρεσιακό δείκτη ο οποίος υπολογίζεται σε ετήσια βάση και αξιολογεί την ετήσια απόδοση του πλοίου. Το CII είναι ο πιο ακριβής δείκτης, καθώς τα δεδομένα από τα οποία υπολογίζεται είναι η πραγματική κατανάλωση καυσίμου του πλοίου. Αντίστοιχα το EEDI εφαρμόζεται στα νεότευκτα πλοία και συγκεκριμένα κατά τη σχεδίαση τους έχοντας ως στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης τους.

Κεφάλαιο 1: Ναυτικοί κινητήρες και κανονισμοί IMO

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία από φορτηγά πλοία είναι δίχρονοι αργόστροφοι πετρελαιοκινητήρες. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγονται τέτοιου τύπου κινητήρες για την πρόωση μεγάλων εμπορικών πλοίων είναι η θερμοδυναμική τους απόδοση και γι' αυτό, το μεγαλύτερο μέρος μελέτης για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αφορά την βελτιστοποίηση αυτών των κινητήρων.

Εκτός από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα οι κινητήρες παράγουν και άλλους ρύπους με κυριότερους τα οξειδία του αζώτου (NO_x), τα οξειδία του θείου (SO_x) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Για τα οξειδία του αζώτου και τα οξειδία το θείου ο *IMO* έχει ορίσει κάποια όρια τα οποία πρέπει να τηρούνται από τα πλοία.

Για τα οξειδία του αζώτου τα όρια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

MARPOL NO_x emission limits		NO_x Limit, g/kWh		
TIER	DATE	$n < 130$	$130 \leq n \leq 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 * n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 * n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016	3.4	$9 * n^{-0.2}$	1.96

Πίνακας 1: Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου σύμφωνα με την MARPOL

Ο παραπάνω πίνακας αφορά ναυτικούς κινητήρες diesel με ισχύ άνω των 130 kW. Το ποσό των οξειδίων του αζώτου μετράτε σε από την εκπομπή του σε g/kWh και εξαρτάται από την εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής (n) του κινητήρα σε rpm. Τα όρια Tier III εφαρμόζονται σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (Emission Control Areas / ECA), ενώ για τις περιοχές εκτός ECA ισχύουν τα όρια Tier II.

Για τα οξείδια του θείου τα όρια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

MARPOL fuel sulfur limits		
DATE	Sulfur Limit in Fuel (%m/m)	
	SO _x ECA	Global
2000	1.5%	4.5%
07/2010	1.0%	
2012		0.1%
2015	3.5%	
2020	0.5%	

Πίνακας 2: Όρια περιεκτικότητας θείου σύμφωνα με την MARPOL

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε την περιεκτικότητα σε θείο που πρέπει να έχουν τα καύσιμα των πλοίων σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (SO_x Emission Control Areas, SECA) και σε παγκόσμια κλίμακα.

Το πιο γνωστό ναυτιλιακό καύσιμο, το μαζούτ Heavy Fuel Oil (HFO) έχει περιεκτικότητα 3.5% σε θείο, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σήμερα με τη χρήση scrubber τα οποία συγκρατούν τα οξείδια του θείου που υπάρχουν στα καυσαέρια και έτσι δεν ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Άλλα καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί του HFO είναι το VLSFO (Very sulfur fuel oil), το LSMGO (Low sulfur marine gas oil) και το ULSFO (Ultra low sulfur fuel oil), τα οποία έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο.

Τα τελευταία χρόνια η εμφάνιση εναλλακτικών καυσίμων και η μελέτη τους για χρήση σε ναυτικού κινητήρες είναι εκτεταμένη καθώς τα νέα αυτά καύσιμα μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές οξειδίων του θείου και του αζώτου. Τέτοια καύσιμα είναι το φυσικό αέριο και η αμμωνία. Από αυτά τα καύσιμα, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σήμερα σε μεγάλο βαθμό, σε κινητήρες διπλού καυσίμου οι οποίοι χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως πιλοτικό καύσιμο και το φυσικό αέριο ως βασικό καύσιμο. Αντίθετα η αμμωνία είναι ένα καύσιμο το οποίο έχει αρχίσει να μελετάτε τα τελευταία χρόνια χωρίς όμως να υπάρχει ακόμα μαζική χρήση της σε ναυτικούς κινητήρες.

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή ναυτικού κινητήρα

Οι ναυτικοί κινητήρες παράγουν την απαραίτητη ώση για την κίνηση του πλοίου. Μπορούν να λειτουργήσουν σε πρόσω κατάσταση και ανάποδα. Οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε μεγάλα εμπορικά πλοία είναι δίχρονοι αργόστροφοι κινητήρες πετρελαίου. Η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με έναν απλό κινητήρα όμως υπάρχουν αρκετές διαφορές καθώς είναι πιο σύνθετοι κατασκευαστικά και έχουν δυνατότητα παραγωγής πολύ μεγάλης ισχύος λόγω και του πολύ μεγάλου μεγέθους που έχουν.

Ο λόγος που χρησιμοποιούνται δίχρονοι κινητήρες είναι η δυνατότητα παραγωγής πολύ μεγάλης ιπποδύναμης αλλά κυρίως η μεγαλύτερη απόδοση που παρουσιάζουν σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες, η οποία μπορεί να φτάνει μέχρι και το 50% για κινητήρες πετρελαίου. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως εξαιτίας του μεγάλου λόγου διαδρομής του εμβόλου (*Stroke*) προς τη διάμετρο του εμβόλου (*Bore*).

Ωστόσο υπάρχουν και τετράχρονοι ναυτικοί κινητήρες (συνήθως μεσόστροφοι) που χρησιμοποιούνται κυρίως σε πλοία μικρού και μεσαίου μεγέθους.

Η βασική διαφορά που έχουν οι τετράχρονοι κινητήρες σε σχέση με τους δίχρονους στον τρόπο λειτουργίας τους είναι οι διαδικασίες που γίνονται σε κάθε κύκλο. Στους τετράχρονους κινητήρες έχουμε:

1. Εισαγωγή
2. Συμπύεση
3. Εκτόνωση
4. Εξαγωγή

ενώ στους δίχρονους κινητήρες έχουμε

1. Εισαγωγή και συμπύεση
2. Εκτόνωση και εξαγωγή

Επίσης μια βασική διαφορά στο κατασκευαστικό κομμάτι είναι ότι οι τετράχρονοι κινητήρες έχουν βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής ενώ οι δίχρονοι κινητήρες έχουν θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Εξαιρέση αποτελούν οι δίχρονοι ναυτικοί κινητήρες στους υπάρχουν θυρίδες εισαγωγής και βαλβίδες εξαγωγής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναφορά και μελέτη αποκλειστικά σε δίχρονους ναυτικούς αργόστροφους πετρελαιοκινητήρες καθώς αυτοί αποτελούν την πλειοψηφία των κινητήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην παγκόσμια ναυτιλία.

2.1 Πλεονεκτήματα δίχρονου ναυτικού πετρελαιοκινητήρα

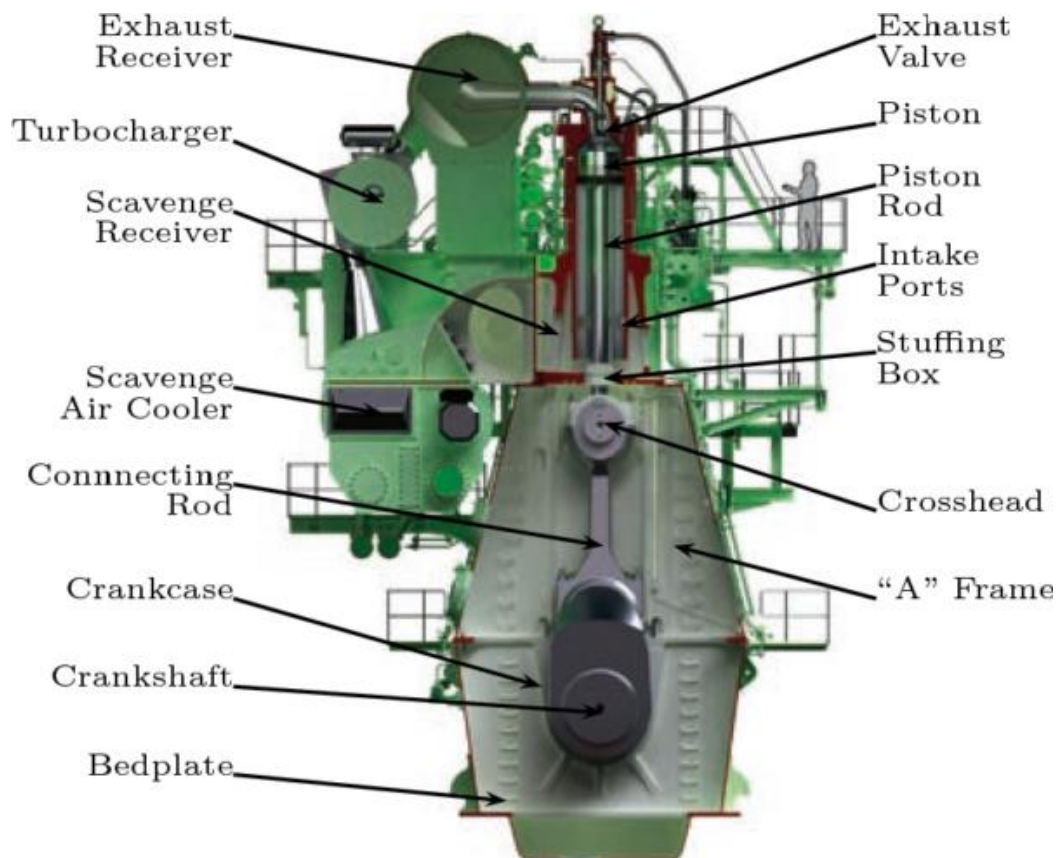
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο κυριότερος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται δίχρονοι ναυτικοί κινητήρες πετρελαίου είναι ο μεγάλος θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης που εμφανίζουν ο οποίος μπορεί να φτάσει και το 50%, υπάρχουν όμως και άλλα πλεονεκτήματα που τα οποία έχουν κάνει κινητήρες τέτοιου τύπου να είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την πρόωση μεγάλων ποντοπόρων πλοίων.

- Η αργή περιστροφική ταχύτητα των συγκεκριμένων κινητήρων επιτρέπει την απευθείας σύνδεση τους με την έλικα του πλοίου χωρίς ανάγκη χρήσης μειωτήρα στροφών.
- Η ικανότητα καύσης «κακής ποιότητας» καυσίμου χωρίς να εμφανίζουν πρόβλημα λειτουργίας, καθώς η καύση γίνεται με αργό ρυθμό λόγω της αργής περιστροφής.
- Η χρήση ζυγώματος και βάκτρου το οποίο επιτρέπει τον διαχωρισμό του στροφαλοθάλαμου από τον θάλαμο καύσης το οποίο επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών λιπαντικών για τον κύλινδρο και για την υπόλοιπη μηχανή. Επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά κυλινδρέλαια τα οποία μπορούν και αντιμετωπίζουν τα κατάλοιπα της καύσης.
- Μειωμένη ειδική κατανάλωση στο σημείο λειτουργίας του κινητήρα καθώς και έξω από αυτό.
- Ευκολία συντήρησης.

2.2 Εξαρτήματα δίχρονου ναυτικού κινητήρα

Ένας δίχρονος ναυτικός κινητήρας αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων τα οποία είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του. Παρακάτω θα δούμε τα βασικά εξαρτήματα ενός ναυτικού κινητήρα τα οποία συναντώνται σε όλους τους δίχρονους ναυτικούς κινητήρες σε διαφορετικά μεγέθη ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα και την παραγόμενη ισχύ του καθενός.

- Βάση μηχανής (*Bedplate*)
- Πλαίσιο μηχανής (*A-frame*)
- Μπλοκ κυλίνδρων (*Cylinder block*)
- Στρόφαλος (*Crankshaft*)
- Διωστήρας ή μπιέλα (*Connecting rod*)
- Ζύγωμα ή σταυρός (*Crosshead*)
- Πιστόνι (*Piston*)
- Χιτώνιο (*Cylinder liner*)
- Κυλινδροκεφαλή (*Cylinder head*)
- Βαλβίδα εξαγωγής (*Exhaust valve*)
- Εκκεντροφόρος (*Camshaft*), τα τελευταία χρόνια σε σύγχρονους κινητήρες δεν χρησιμοποιούνται
- Στροβιλοσυμπιεστής ή τούρμπο (*Turbo*)



Εικόνα 2: Δίχρονος ναυτικός κινητήρας, [Πηγή: Merchant Navy Decoded]

2.3 Κατασκευή δίχρονου ναυτικού κινητήρα

Η κατασκευή αυτών των δίχρονων κινητήρων αποτελεί μια σύνθετη και δύσκολη διαδικασία κυρίως λόγω του μεγάλου μεγέθους των συγκεκριμένων κινητήρων και υπάρχουν μόνο δύο εταιρείες που τους κατασκευάζουν. Η MAN η οποία προηγουμένως λεγόταν B&W engines και η Wartsila που ονομαζόταν στο παρελθόν Sulzer Engines. Υπάρχουν και άλλες εταιρείες που κατασκευάζουν ναυτικούς κινητήρες αλλά για εφαρμογές σε μικρά πλοία ή σκάφη αναψυχής και όχι για εμπορικά πλοία.

Οι δύο εταιρείες που κατασκευάζουν αυτούς τους ναυτικούς κινητήρες έχουν εργοστάσια σε διάφορες χώρες, για παράδειγμα η MAN έχει εργοστάσια στη Δανία, στη Γερμανία, στην Κίνα και σε άλλες χώρες. Αντίστοιχα και η Wartsila έχει εργοστάσια παραγωγής ναυτικών κινητήρων στη Φινλανδία, Γερμανία, Κίνα και αλλού.

Για την κατασκευή αυτών των κινητήρων χρησιμοποιείται συνδυασμός υλικών με κυριότερο τον χυτοχάλυβα με τον οποίο κατασκευάζεται συνήθως το *Bedplate*, το *A-*

frame και το μπλοκ καθώς αυτά τα τρία μέρη του κινητήρα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή διότι δέχονται μεγάλες δυνάμεις. Η κατασκευή τους γίνεται με χύτευση του χάλυβα και συνήθως γίνεται χύτευση σε δύο ή τρία διαφορετικά κομμάτια τα οποία στη συνέχεια βιδώνονται μεταξύ τους, καθώς η χύτευση του *Bedplate* για παράδειγμα ως ένα ενιαίο εξάρτημα είναι σχεδόν αδύνατη λόγω του μεγέθους του.

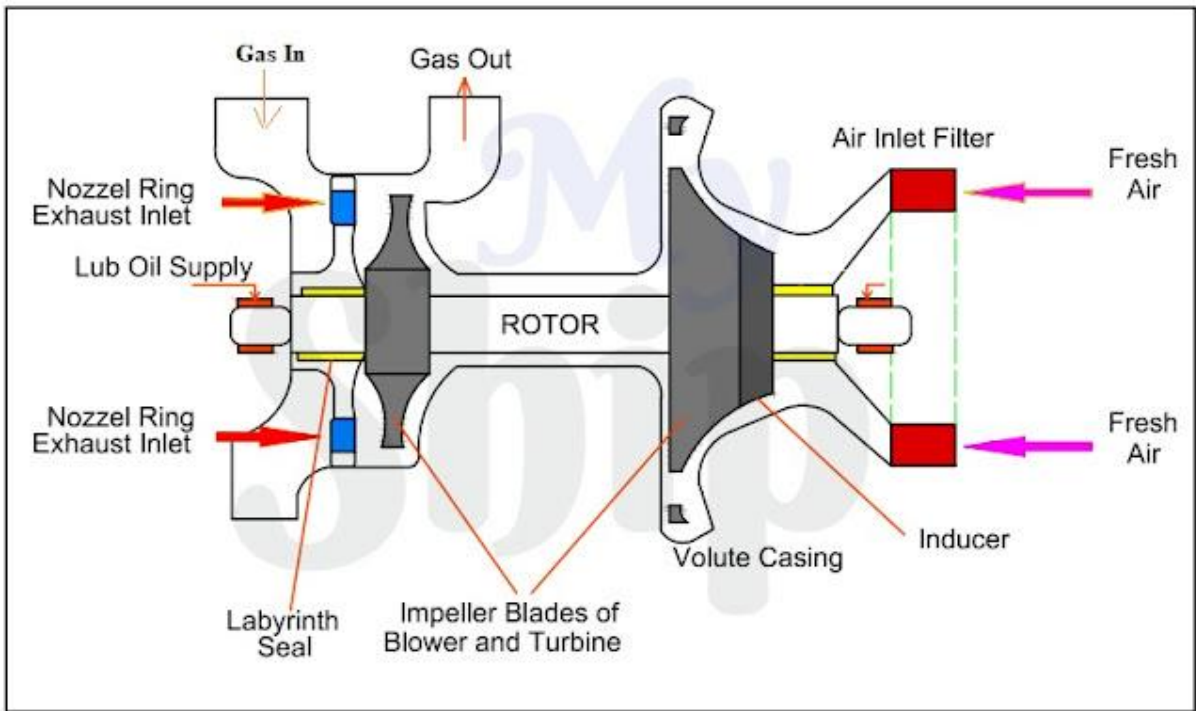
Η κατασκευή του στροφάλου γίνεται συνήθως από κράματα χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, τα οποία περιέχουν άλλα στοιχεία όπως το χρώμιο. Οι διωστήρες επίσης κατασκευάζονται από χάλυβα, ενώ ζύγωμα ή σταυρός κατασκευάζεται συνήθως από λευκό κασίτερο.

Το πιστόνι αποτελείται από τρία μέρη: το *piston crown*, το *piston skirt* και το *piston rod*. Το *piston crown* στις δίχρονες ναυτικές μηχανές κατασκευάζεται από κράμα χυτοχάλυβα, χρωμίου, νικελίου και μολυβδαινίου. Το *piston skirt* κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή από κράμα αλουμινίου και το *piston rod* από σφυρήλατο χάλυβα.

Το χιτώνιο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα ενός κινητήρα εσωτερική καύσης και κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο και περιέχει επίσης βανάδιο και τιτάνιο κάτι το οποίο του προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του.

Η κυλινδροκεφαλή κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο, οι βαλβίδες εξαγωγής κατασκευάζονται από κράμα χρωμίου, κοβαλτίου (*stellite*) είτε από κράμα νικελίου χρωμίου (*nimonick*). Οι εκκεντροφόροι, σε όσους ναυτικούς κινητήρες υπάρχουν, κατασκευάζονται από κράμα σιδήρου ή κράμα χάλυβα.

Τέλος ο στροβιλοσυμπιεστής αποτελείται από αρκετά μέρη όπου το καθένα κατασκευάζεται από διαφορετικά υλικά ανάλογα με τις απαιτήσεις του καθενός. Τα δύο βασικά μέρη του στροβιλοσυμπιεστή είναι η τουρμπίνα και ο συμπιεστής, όπου η τουρμπίνα κατασκευάζεται από κράμα νικελίου χρωμίου το οποίο είναι ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται στην τουρμπίνα του στροβιλοσυμπιεστή ενώ ο συμπιεστής κατασκευάζεται από κράμα αλουμινίου το οποίο του προσφέρει χαμηλό βάρος. Το περίβλημα του στροβιλοσυμπιεστή είναι συνήθως κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο.



Εικόνα 3: Στροβιλοσυμπιεστής, [Πηγή: MarineSite.info]

Κεφάλαιο 3: AMESIM Simcenter

3.1 Εισαγωγή στο AMESIM

Για την πραγματοποίηση της μελέτης σχετικά με την βελτιστοποίηση ενός ναυτικού κινητήρα, το βασικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το *AMESIM Simcenter* ένα πρόγραμμα το οποίο έχει δημιουργηθεί από τη *SIEMENS* και έχει πλήθος εφαρμογών.

Πρόκειται για ένα λογισμικό στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί μοντελοποίηση και ανάλυση διάφορων συστημάτων. Το *AMESIM* επιτρέπει στο χρήστη:

- Να προβλέψει τη συμπεριφορά μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων
- Να εξισορροπήσει τα αντικρουόμενα χαρακτηριστικά απόδοσης
- Να συγκρίνει και αξιολογήσει πολλαπλές επιλογές σχεδίασης για την βελτιστοποίηση των προϊόντων
- Να μειώσει την ανάγκη για δημιουργία φυσικών πρωτοτύπων

Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούν μη γραμμικές χρονικά εξαρτώμενες αναλυτικές εξισώσεις οι οποίες αναπαριστούν την υδραυλική, πνευματική, θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική συμπεριφορά. Η χρήση αυτών των μοντέλων επιτρέπει την ανάπτυξη προϊόντων ανώτερης ποιότητας και απόδοσης καθώς και μείωση του κόστους σχεδιασμού και δοκιμών.

Η δημιουργία αυτών των μοντέλων γίνεται με τη βοήθεια κάποιων βιβλιοθηκών που περιέχονται στο λογισμικό, οι οποίες περιέχουν εξαρτήματα (υπό-μοντέλα) τα οποία ο χρήστης ενώνοντάς τα μπορεί να δημιουργήσει οποιοδήποτε σύστημα επιθυμεί. Τα εξαρτήματα αυτά έχουν κάποιες παραμέτρους οι οποίες τροποποιούνται προκειμένου το σύστημα να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Επίσης το κάθε εξάρτημα έχει κάποιες εισόδους και κάποιες εξόδους οι οποίες πρέπει να ενωθούν προκειμένου να μπορεί να γίνει σωστή προσομοίωση του συστήματος.

3.2 Εφαρμογές του AMESIM

Το λογισμικό *AMESIM* αποτελεί ένα από τα πιο ολοκληρωμένα προγράμματα μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, το οποίο επιτρέπει να βελτιστοποιήσουν εικονικά ένα σύστημα, είτε αυτό βρίσκεται στα πρώτα στάδια εξέλιξης είτε σε στάδιο παραγωγής. Περιέχει πλήθος βιβλιοθηκών με μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων η κάθε μία, οι οποίες επιτρέπουν στο χρήστη να κατασκευάσει οποιοδήποτε σύστημα επιθυμεί και με οποιοσδήποτε παραμέτρους. Επίσης το συγκεκριμένο λογισμικό μπορεί να συνδεθεί με προγράμματα CAE (computer-aided engineering) καθώς και με λογισμικά CAD (computer-aided design).

Τα μοντέλα μηχανικής, το πλήθος των εξαρτημάτων που συναντώνται στις βιβλιοθήκες, τα οποία ξεπερνούν τα 6500, καθώς και το γεγονός ότι μπορεί να «συνεργαστεί» με πλήθος άλλων προγραμμάτων, καθιστούν το *AMESIM* ένα από τα πιο ολοκληρωμένα λογισμικά μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιείται από πολύ μεγάλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε διαφορετικούς τομείς. Ενδεικτικά αξίζει να αναφερθεί ότι εταιρείες όπως η Bosch, η Lamborghini, η Airbus helicopters, η Scania, η Man diesel & turbo και πολλές άλλες χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο λογισμικό για σχεδίαση και βελτιστοποίηση των προϊόντων τους. Όπως παρατηρούμε οι παραπάνω εταιρείες παράγουν προϊόντα σε διαφορετικούς τομείς, από κινητήρες μέχρι ελικόπτερα και όλες χρησιμοποιώντας το ίδιο λογισμικό αλλά διαφορετικές βιβλιοθήκες εξαρτημάτων.

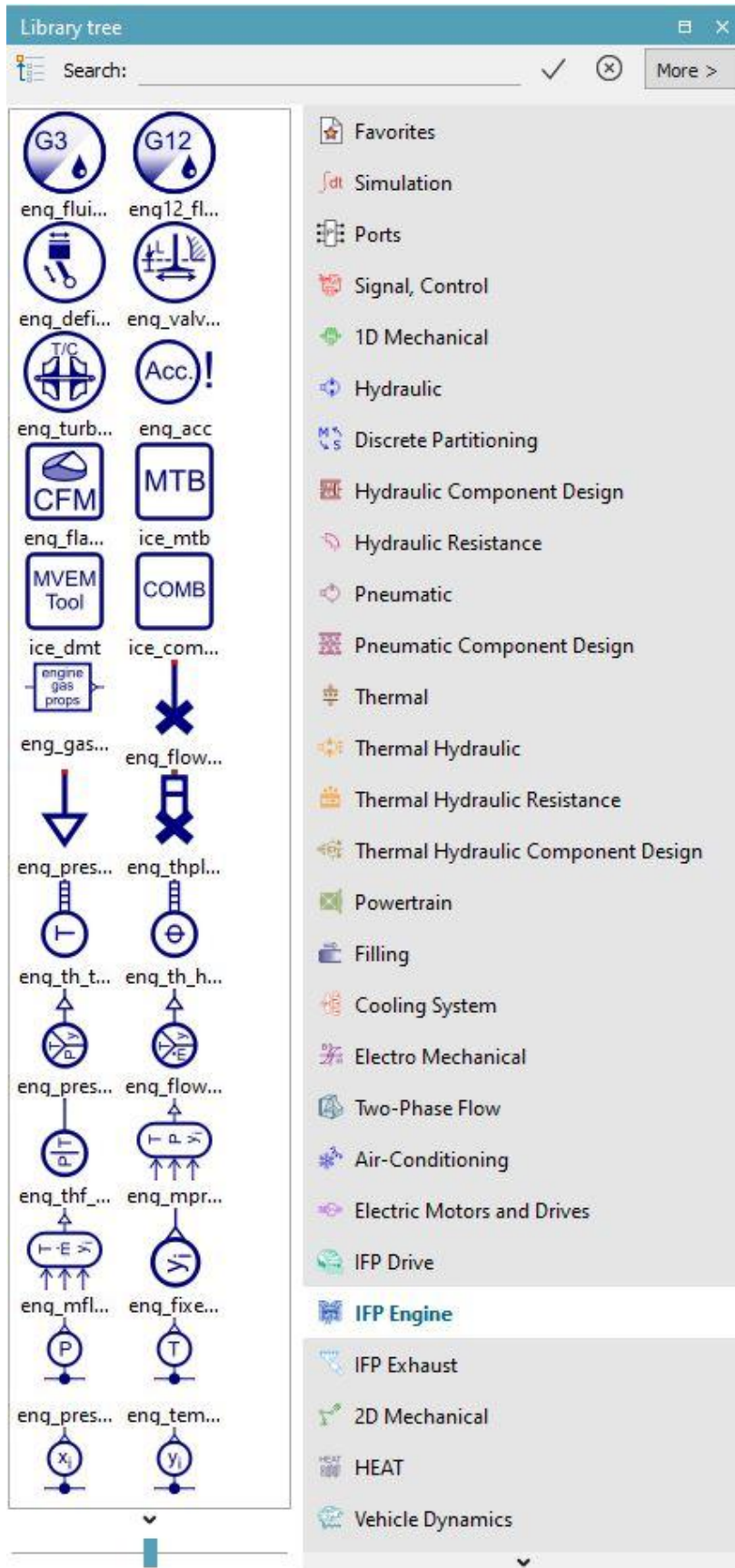
3.3 Βιβλιοθήκες του AMESIM

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο *AMESIM* συναντάμε πλήθος βιβλιοθηκών όπου στην κάθε μία περιλαμβάνονται διάφορα εξαρτήματα για την κατασκευή οποιουδήποτε συστήματος επιθυμεί ο χρήστης. Κάποιες από τις βιβλιοθήκες που περιέχονται είναι:

- **Signal, control:** η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη περιλαμβάνει εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για έλεγχο των μηχανικών συνόλων μέσω σήματος ή εξαρτήματα επεξεργασίας σήματος. Για παράδειγμα σε έναν κινητήρα το σήμα για την έγχυση του καυσίμου δίνεται με χρήση του αντίστοιχου εξαρτήματος από τη συγκεκριμένη βιβλιοθήκη.
- **Hydraulic:** σε αυτή τη βιβλιοθήκη υπάρχουν εξαρτήματα για υδραυλικά συστήματα όπως για παράδειγμα αντλίες, σωλήνες και στόμια.
- **1D Mechanical:** βιβλιοθήκη στην οποία υπάρχουν βασικά μηχανολογικά εξαρτήματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μοντελοποίηση μονοδιάστατων μηχανικών δυναμικών συστημάτων
- **IFP-Engine, IFP-Exhaust, IFP-Drive:** πρόκειται για βιβλιοθήκες οι οποίες επικεντρώνονται στην απόδοση, στην κατανάλωση και στις εκπομπές καυσαερίων από κινητήρες εσωτερικής καύσης. Πιο συγκεκριμένα η *IFP-Engine* είναι βιβλιοθήκη η οποία χρησιμοποιείται για μελέτη των κινητήρων, η *IFP-Exhaust* χρησιμοποιείται για μελέτες των εκπομπών αερίων μετά από επεξεργασία (π.χ. καύση) και η *IFP-Drive* για μελέτη του συστήματος μετάδοσης.
- **Thermal hydraulic:** στη βιβλιοθήκη αυτή υπάρχουν εξαρτήματα τα οποία σχετικά με τη μεταφορά θερμότητας σε υγρά. Μία εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη είναι οι εναλλάκτες θερμότητας.
- **Gas mixture:** η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη προσφέρει πλήθος πνευματικών εξαρτημάτων όπως σωληνώσεις, εναλλάκτες θερμότητας, φαινόμενα διάχυσης, πορώδη μέσα και άλλα.
- **Powertrain:** σε αυτή τη βιβλιοθήκη υπάρχουν εξαρτήματα που επιτρέπουν την κατασκευή συστημάτων μετάδοσης κίνησης είτε στο έδαφος είτε στο νερό είτε στον αέρα. Αυτή η βιβλιοθήκη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα σε πλοία τα οποία στο σύστημα πρόωσης έχουν μειωτήρα στροφών.

- CFD1D: η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη επιτρέπει την προσομοίωση της ροής ρευστών μέσα σε δίκτυα σωληνώσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με τις βιβλιοθήκες IFP-Engine, IFP-Exhaust καθώς και με βιβλιοθήκες που περιέχουν πνευματικά εξαρτήματα, για την περιγραφή των ιδιοτήτων των αερίων.

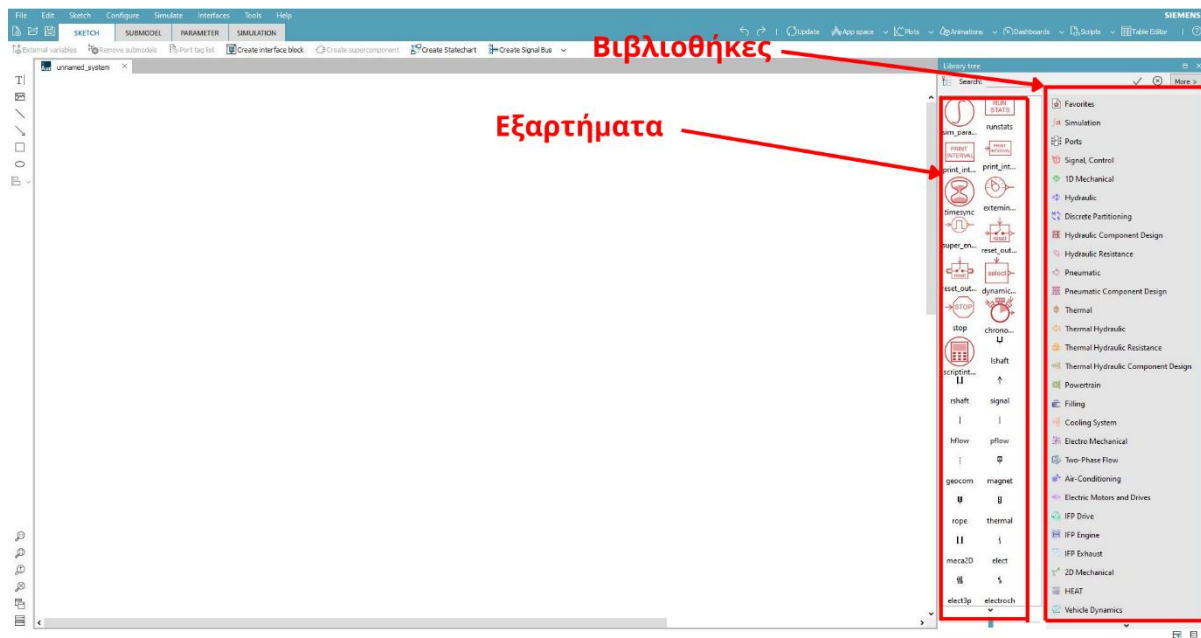
Αυτές είναι κάποιες από τις βασικές βιβλιοθήκες που υπάρχουν στο Amesim, υπάρχουν ακόμα αρκετές βιβλιοθήκες όπως: air conditioning, aircraft electrics, aircraft fuel system, automotive electrics, electric storage, fuel cell components, pneumatic, thermal, vehicle dynamics και άλλες.



Εικόνα 4: Βιβλιοθήκες του Amesim [Πηγή: Amesim]

3.4 Δημιουργία μοντέλων

Η δημιουργία μοντέλων στο Amesim είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία αποτελείται από μια σειρά βημάτων την οποία πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης προκειμένου να καταλήξει στο τελικό αποτέλεσμα και να μπορεί να τρέξει μια προσομοίωση.

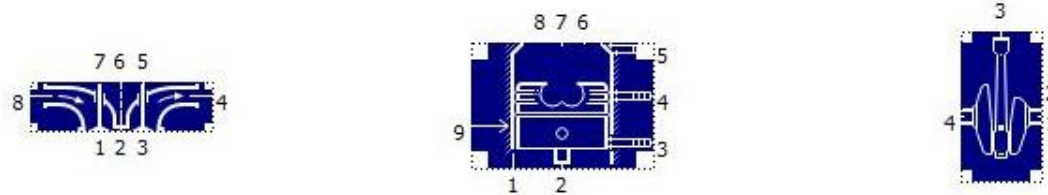


Εικόνα 5: Περιβάλλον χρήση του Amesim [Πηγή: Amesim]

Παραπάνω βλέπουμε το περιβάλλον χρήση του Amesim. Παρατηρούμε ότι στη δεξιά πλευρά υπάρχουν οι βιβλιοθήκες και δίπλα από τις βιβλιοθήκες υπάρχουν τα εξαρτήματα που περιέχονται στη βιβλιοθήκη που έχουμε επιλέξει.

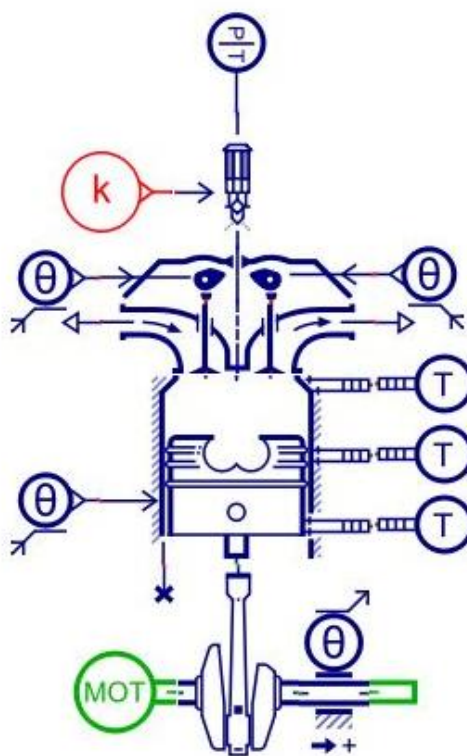
Αρχικά ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τα εξαρτήματα που θέλει να χρησιμοποιήσει και να τα τοποθετήσει στη λευκή επιφάνεια όπου εκεί θα κατασκευαστεί το τελικό μοντέλο.

Το κάθε εξάρτημα έχει κάποιες εισόδους ή εξόδους οι οποίες πρέπει να συνδεθούν προκειμένου να μπορεί να λειτουργήσει το μοντέλο. Παρακάτω βλέπουμε τρία εξαρτήματα από την βιβλιοθήκη IFP-Engine, τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ένα έμβολο για κινητήρα diesel και τον διωστήρα. Τα νούμερα που υπάρχουν γύρω από κάθε εξάρτημα είναι οι εισοδοι και οι έξοδοι. Για την λειτουργία κάθε εξαρτήματος θα πρέπει όλες οι εισοδοι και οι έξοδοι να είναι συνδεδεμένες με κάποιο εξάρτημα αλλιώς δεν θα μπορεί ο χρήστης να προχωρήσει στο επόμενο βήμα.



Εικόνα 6: Εξαρτήματα από την βιβλιοθήκη IFP-Engine [Πηγή: Amesim]

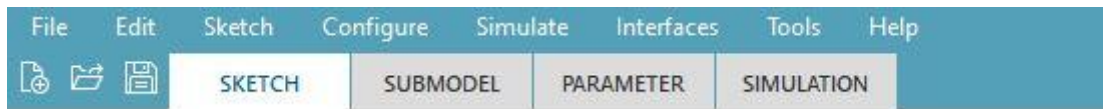
Ενώνοντας τα βασικά εξαρτήματα μπορεί να κατασκευαστεί ένα απλό μοντέλο ενός απλού μονοκύλινδρου κινητήρα όπως αυτό που βλέπουμε παρακάτω.



Εικόνα 7: Μοντέλο μονοκύλινδρου κινητήρα [Πηγή: Amesim]

Για την κατασκευή αυτού του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν εξαρτήματα από τρεις βιβλιοθήκες, την IFP-Engine στην οποία υπάρχουν τα εξαρτήματα που είναι μπλε, την 1D mechanical, πράσινα εξαρτήματα και την βιβλιοθήκη Signal, control κόκκινα εξαρτήματα.

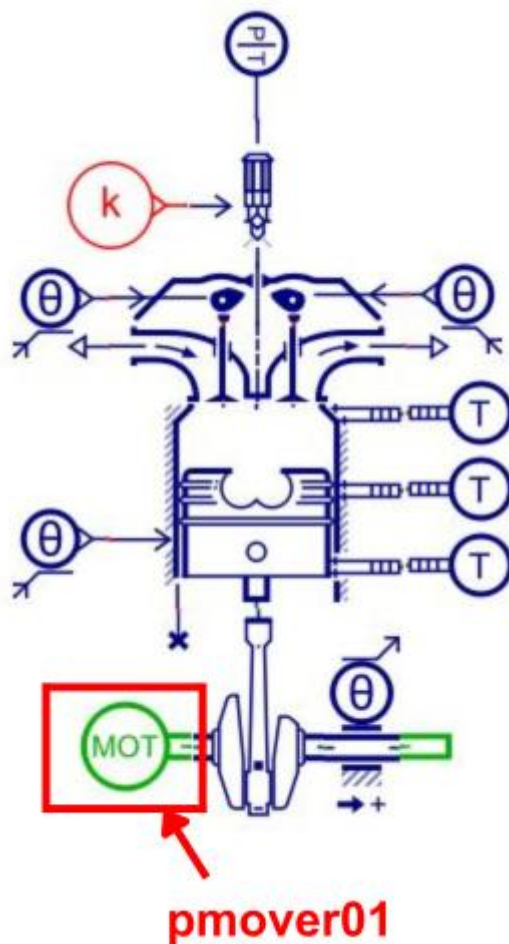
Στο Amesim υπάρχουν τέσσερις επιλογές λειτουργίας τις οποίες βλέπουμε παρακάτω.



Εικόνα 8: Επιλογές λειτουργίας Amesim [Πηγή: Amesim]

Η πρώτη επιλογή SKETCH είναι αυτή που χρησιμοποιούμε για τη σχεδίαση των μοντέλων, αυτήν η επιλογή χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του παραπάνω μοντέλου. Στη συνέχεια η επιλογή SUBMODEL χρησιμοποιείται για να οριστεί ο τρόπος λειτουργίας κάθε εξαρτήματος.

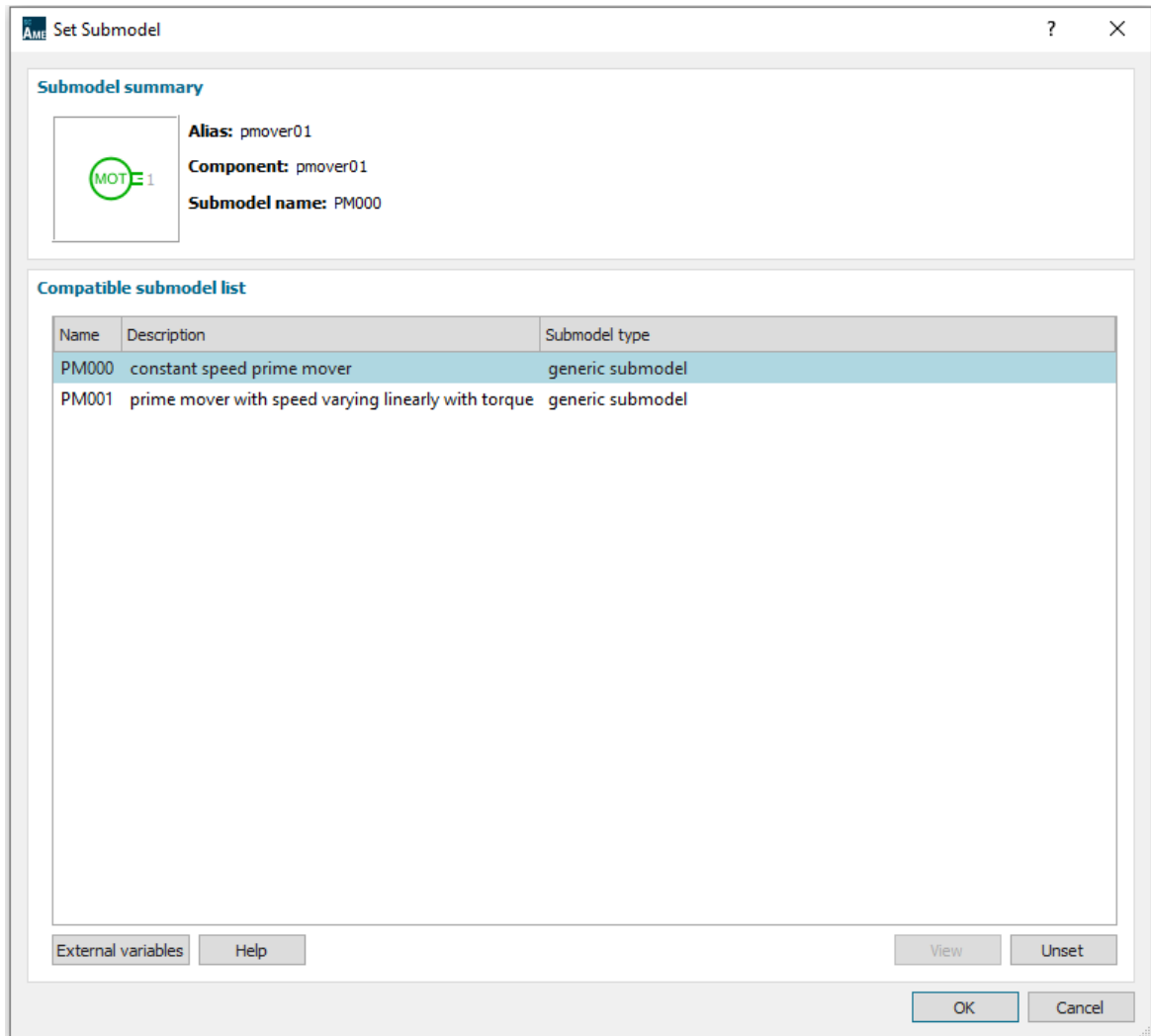
Για παράδειγμα στο μοντέλο του μονοκύλινδρου κινητήρα υπάρχει το παρακάτω εξάρτημα το οποίο ονομάζεται `pmover01` και είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας ο οποίος περιστρέφεται από τον στρόφαλο.



Εικόνα 9: Εξάρτημα `pmover01` [Πηγή: Amesim]

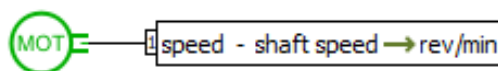
Το συγκεκριμένο εξάρτημα που ανήκει στη βιβλιοθήκη 1D mechanical έχει δύο Submodel, δηλαδή μπορεί να λειτουργεί με δύο τρόπους.

Το ένα submodel είναι το PM000 και το άλλο είναι το PM001 όπως βλέπουμε και παρακάτω



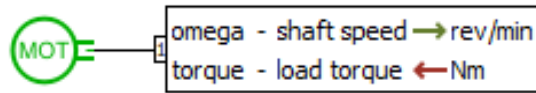
Εικόνα 10: Submodels του εξαρτήματος pmover01 [Πηγή: Amesim]

Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιεί. Στο submodel PM000 όπως βλέπουμε και παρακάτω, χρησιμοποιείται μόνο η περιστροφική ταχύτητα του άξονα.



Εικόνα 11: Submodel PM000 [Πηγή: Amesim]

Ενώ στο submodel PM001 λαμβάνεται υπόψιν και η ροπή που εμφανίζεται στον άξονα.



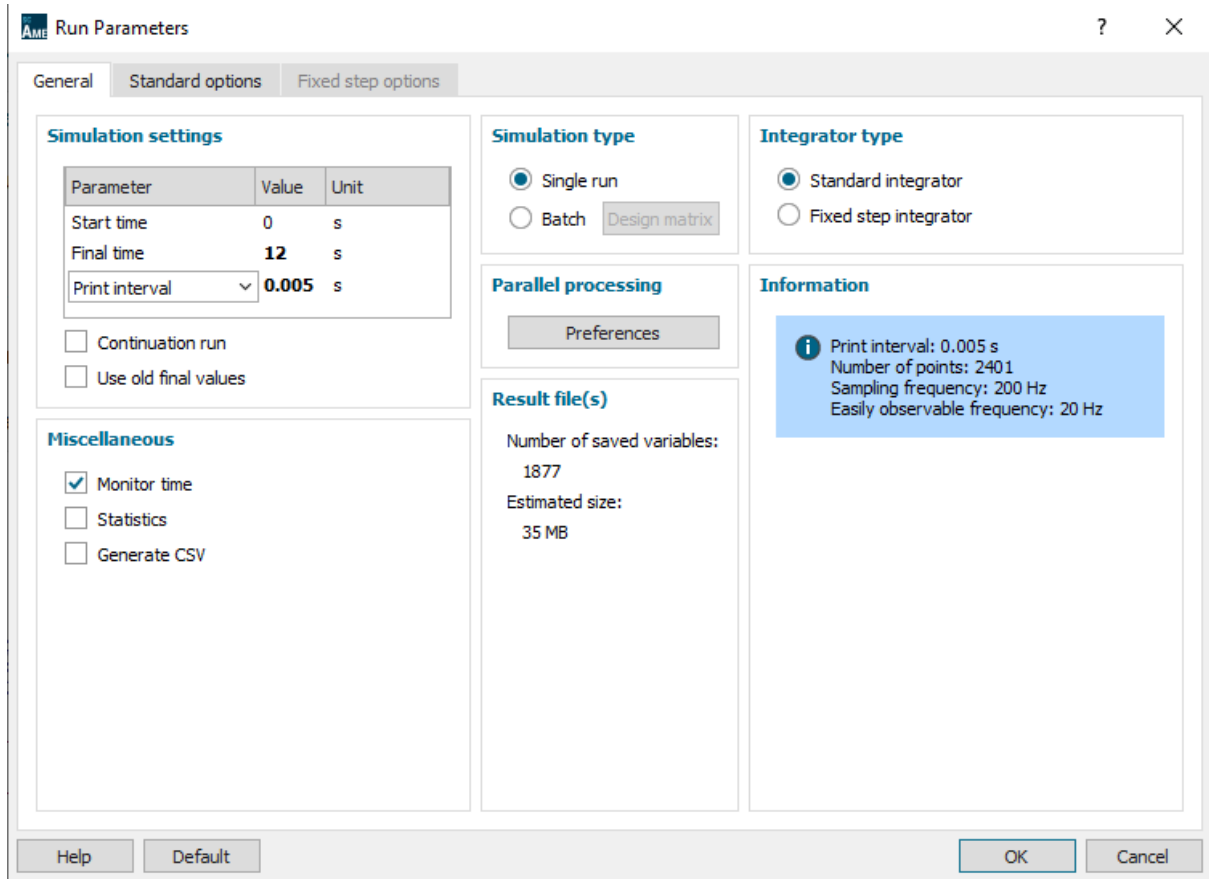
Εικόνα 12: Submodel PM001 [Πηγή: Amesim]

Στη συνέχεια, αφού έχουν ορισθεί submodels για όλα τα εξαρτήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να οριστούν και παράμετροι μέσω της επιλογής PARAMETER. Παρακάτω βλέπουμε κάποιες από τις παραμέτρους που μπορούμε να αλλάξουμε για το έμβολο που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο του μονοκύλινδρου κινητήρα.

Title	Value	Unit	Tags	Name
number of the cylinder	1			nb
mixture index	1			mixt
▼ initial conditions				
Ⓜ pressure in the cylinder	1.013	barA		press
# temperature in the cylinder	293.15	K		temp0
# fresh air mass fraction	1	null		xinitair
# fuel mass fraction	0	null		xinitfu
# burned gas mass fraction	0	null		xinitbg
▼ geometric parameters				
geometric parameters mode	global			flaginit
▼ injector nozzle parameters				
nozzle injector hole number	6			nhole
injector nozzle hole diameter	0.15	mm		dinj
injector nozzle hole flow coefficient	0.8	null		K
▶ vaporization parameters				
▼ auto-ignition delay parameters				
auto-ignition model	without			IGActi
▼ combustion parameters				
Cmode: combustion gain	350	kJ/kg/degree		Cmode

Εικόνα 13: Παράμετροι εμβόλου eng_combustion_Diesel_BB [Πηγή: Amesim]

Αφού οριστούν και οι παράμετροι για όλα τα εξαρτήματα, το τελευταίο βήμα είναι η επιλογής της λειτουργίας SIMULATION στην οποία υπάρχουν επιλογές για την προσομοίωση του μοντέλου οι οποίες φαίνονται παρακάτω και αφού οριστούν μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.



Εικόνα 14: Επιλογές προσομοίωσης [Πηγή: Amesim]

3.5 Ανάλυση της βιβλιοθήκης IFP-Engine

3.5.1 Εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει μελέτη της απόδοσης των ναυτικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά πλοία επομένως θα γίνει ευρεία χρήση της βιβλιοθήκης IFP-Engine ως κύρια βιβλιοθήκη, θα χρησιμοποιηθούν όμως και εξαρτήματα από άλλες βιβλιοθήκες και συγκεκριμένα από τις βιβλιοθήκες: Thermal, Thermal hydraulic, 1D mechanical, Pneumatic και Signal, control.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί ανάλυση της θεωρία που χρησιμοποιεί η κύρια βιβλιοθήκη, η IFP-Engine καθώς επίσης και των μαθηματικών μοντέλων.

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι στη βιβλιοθήκη αυτή υπάρχουν και κάποια «εξαρτήματα» χωρίς εισόδους και εξόδους τα οποία χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να δώσουν στο μοντέλο τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 15: Εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους [Πηγή: Amesim]

Τα παραπάνω εξαρτήματα είναι τα εξής:



Ιδιότητες ρευστών (3 αέρια) (ENGMD02), το συγκεκριμένο εξάρτημα χρησιμοποιείται για να δώσει στο μοντέλο τις ιδιότητες των ρευστών σε έναν κινητήρα. Όταν χρησιμοποιείται αυτό το εξάρτημα λαμβάνεται υπόψιν ότι στον κινητήρα υπάρχουν τρία αέρια, ο αέρας, το καύσιμο σε κατάσταση ατμού και τα αέρια που παράγονται από την καύση, τα οποία θεωρούνται ως ένα. Στο συγκεκριμένο εξάρτημα μπορούν να επιλεγούν οι ιδιότητες των ρευστών, υπάρχουν τέσσερις επιλογές:

- Σταθερές ιδιότητες (constant properties)
- Γραμμικές ιδιότητες (linear properties)
- Πολυώνυμα δεύτερης τάξης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (second order polynomial as a function of the temperature)
- και Janaf-Yaws

Η επιλογή Janaf-Yaws είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις προσομοιώσεις επομένως αξίζει να αναφερθεί ο τρόπος λειτουργίας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς που εκτελεί η επιλογή Janaf-Yaws.

M	Μοριακό βάρος (g/mol)
	Άνω εύρος
cp2c	σταθερός συντελεστής για ειδική θερμότητα Cp
cp2t	συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp2t2	τετραγωνικός συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp2t3	κυβικός συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp2t4	τετάρτου βαθμού συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp2h	σταθερός συντελεστής ενθαλπίας
cp2s	σταθερός συντελεστής εντροπίας
	Κάτω εύρος
cp1c	σταθερός συντελεστής για ειδική θερμότητα Cp
cp1t	συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp1t2	τετραγωνικός συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp1t3	κυβικός συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp1t4	τετάρτου βαθμού συντελεστής θερμοκρασίας για ειδική θερμότητα Cp
cp1h	σταθερός συντελεστής ενθαλπίας
cp1s	σταθερός συντελεστής εντροπίας
cpH0	ενθαλπία σχηματισμού (J/mol)
μC	σταθερός συντελεστής για απόλυτο ιξώδες
μt	συντελεστής θερμοκρασίας για απόλυτο ιξώδες
μt2	τετραγωνικός συντελεστής θερμοκρασίας για απόλυτο ιξώδες
λc	σταθερός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
λt	συντελεστής θερμοκρασίας για θερμική αγωγιμότητα
λt2	τετραγωνικός συντελεστής θερμοκρασίας για θερμική αγωγιμότητα

Πίνακας 3: Μεταβλητές υπολογισμών Janaf-Yaws

Τα αέρια καθορίζονται χρησιμοποιώντας το μοριακό βάρος και τέσσερις πολυωνυμικές συναρτήσεις, οι οποίες δίνουν το απόλυτο ιξώδες, την ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση και τη θερμική αγωγιμότητα.

$$\mu(T) = \mu_c + \mu_t * T + \mu_{t2} * T^2$$

$$\lambda(T) = \lambda_c + \lambda_t * T + \lambda_{t2} * T^2$$

Για την ειδική θερμότητα σταθερής πίεσης χρησιμοποιείται ο παρακάτω ορισμός Janaf:

$$T_{min} < T < T_{mid} \quad C_p = r * (C_{p1c} + C_{p1t} * T + C_{p1t2} * T^2 + C_{p1t3} * T^3 + C_{p1t4} * T^4)$$

$$T_{mid} < T < T_{max} \quad C_p = r * (C_{p2c} + C_{p2t} * T + C_{p2t2} * T^2 + C_{p2t3} * T^3 + C_{p2t4} * T^4)$$

Για την πυκνότητα και για την ειδική θερμότητα σε σταθερό όγκο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι

$$\rho = \frac{p}{r * T}$$

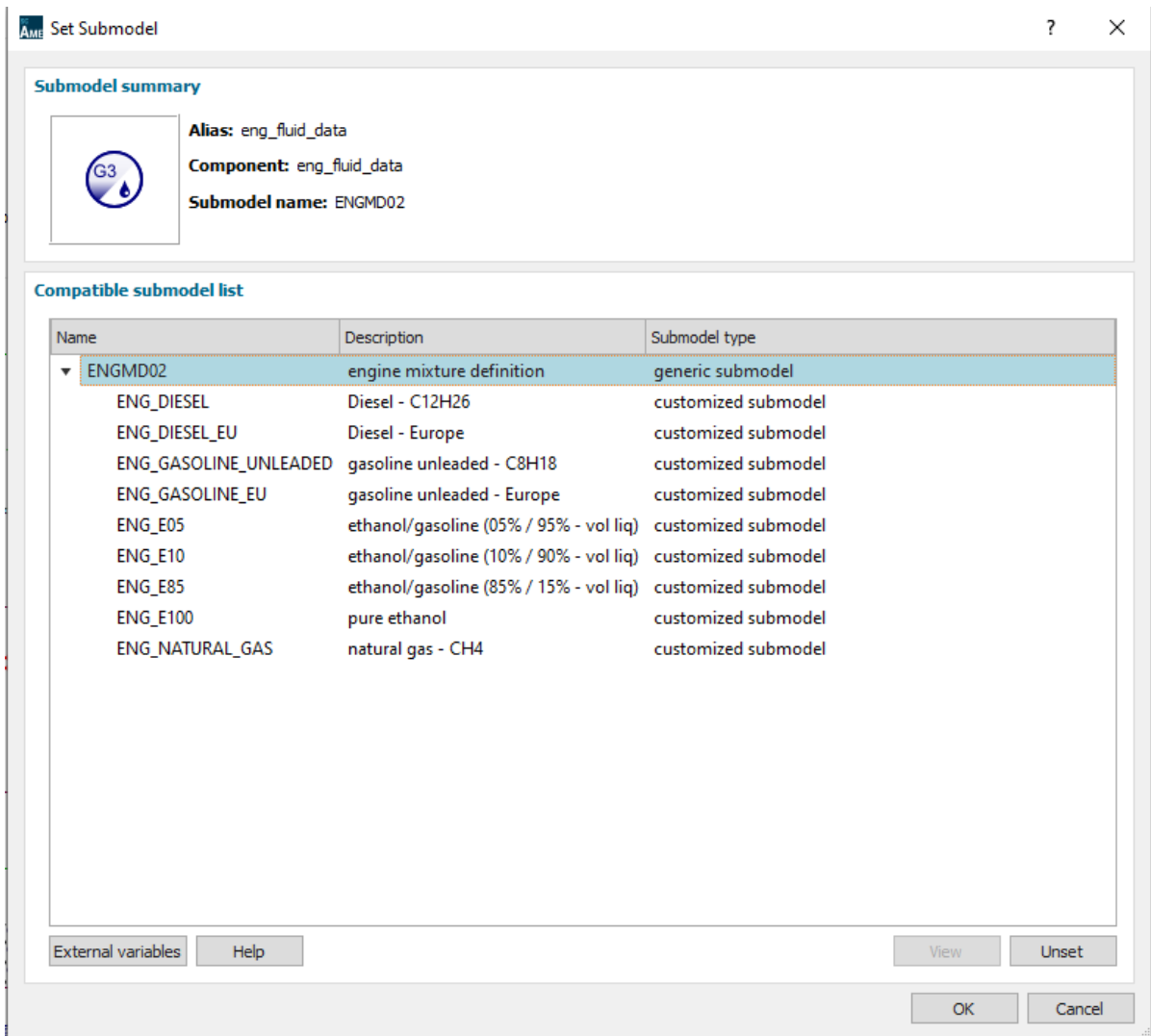
$$C_v = C_p - r$$

Επίσης στο συγκεκριμένο εξάρτημα ορίζεται και το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον κινητήρα. Το καύσιμο έχει τον γενικό χημικό τύπο $C_x H_y O_z$, και η στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου δίνεται από τον τύπο

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{stoichio} = \frac{\left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right) * (M_{O_2} + x_{N_2} O_2 * M_{N_2})}{x * M_C + y * M_H + z * M_O}$$

Όπου $x_{N_2 O_2}$ το μοριακό κλάσμα $\frac{N_2}{O_2}$ στον αέρα και το M_i είναι η μοριακή μάζα των διαφόρων στοιχείων.

Τέλος στο συγκεκριμένο εξάρτημα υπάρχουν διαφορετικά Submodels όπου το καθένα είναι ένα προκαθορισμένο καύσιμο όπου μπορεί να επιλεγθεί για χρήση στον εκάστοτε κινητήρα.



Εικόνα 16: Submodels του εξαρτήματος ENGMD02 [Πηγή: Amesim]

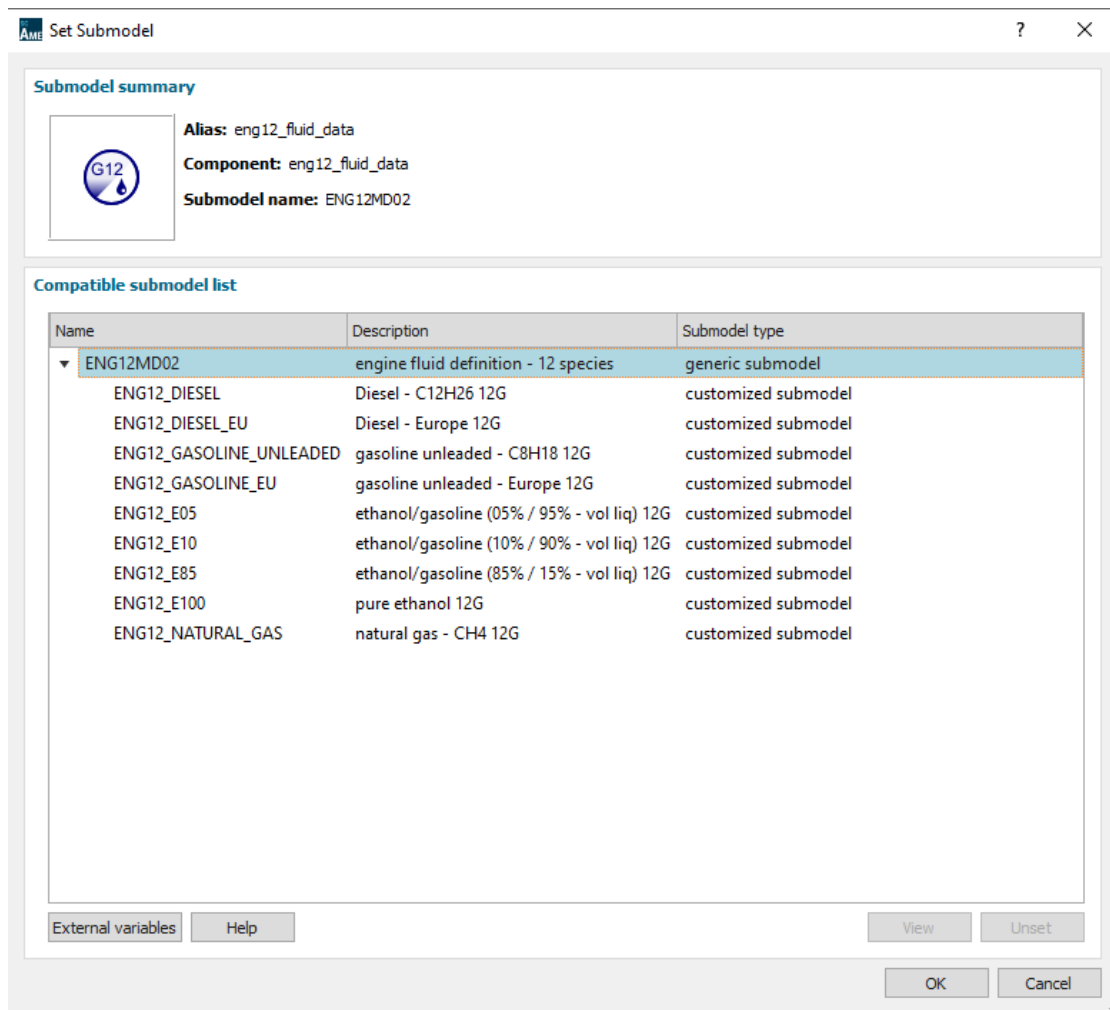


Ιδιότητες ρευστών (12 αέρια) (ENG12MD02), το συγκεκριμένο εξάρτημα θεωρεί 12 αέρια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με τη βιβλιοθήκη IFP-Exhaust για προσομοίωση των καυσαερίων σε έναν κινητήρα.

Συγκεκριμένα τα αέρια από τα οποία αποτελείται είναι:

- Καύσιμο
- N_2
- O_2
- H_2
- H_2O
- NO
- NO_2
- CO
- CO_2
- HC
- NH_3
- C (soot)

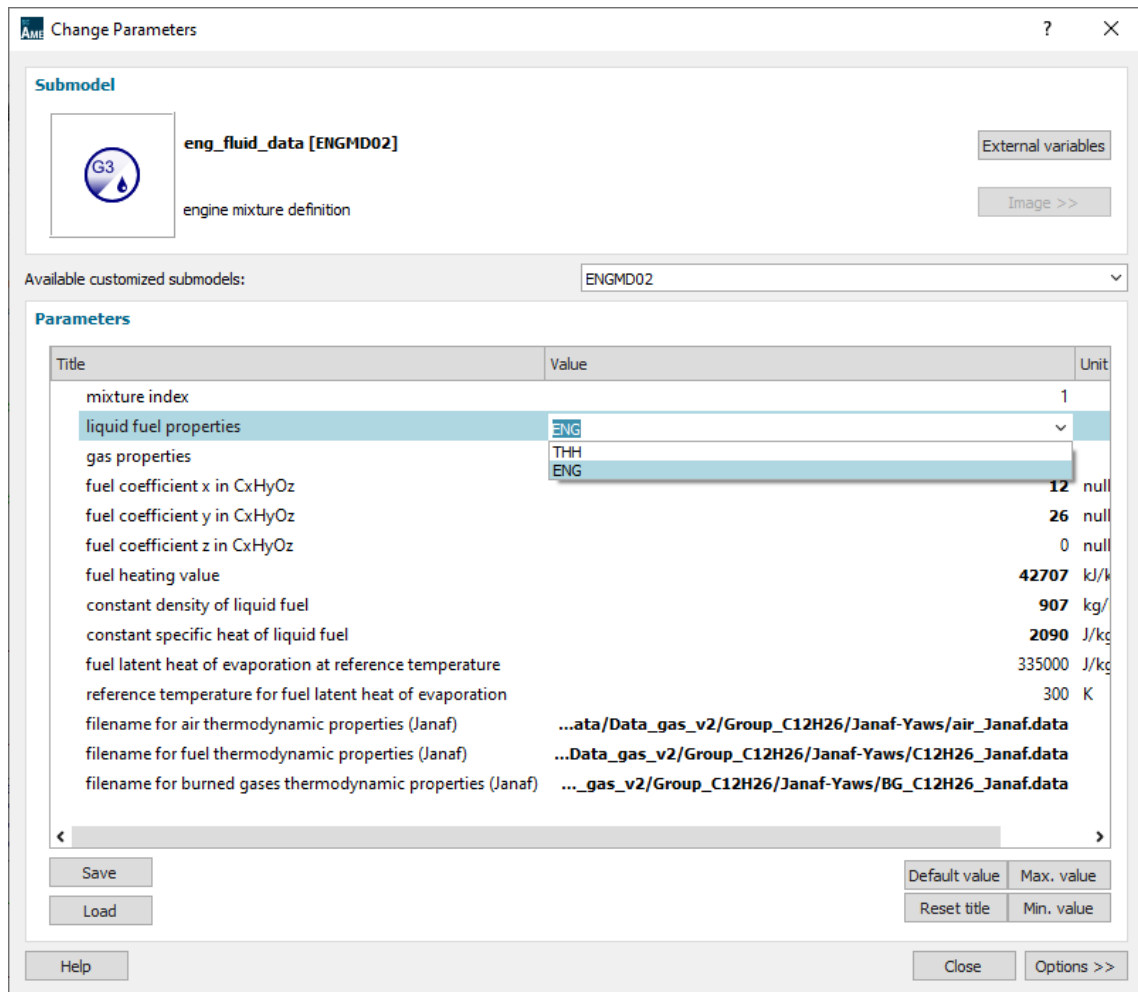
Οι επιλογές σε Submodels για το συγκεκριμένο εξάρτημα φαίνονται παρακάτω



Εικόνα 17: Submodels του εξαρτήματος ENG12MD02 [Πηγή: Amesim]

Τέλος τα δύο εξαρτήματα που αφορούν τις ιδιότητες των ρευστών για 3 αέρια και 12 αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά για πιο σύνθετη μελέτη συστημάτων.

Αφού προστεθεί στο σύστημα κάποιο από τα δύο εξαρτήματα για τις ιδιότητες των ρευστών στη συνέχεια στην επιλογή Parameters μπορούν να επιλεγούν οι ιδιότητες του υγρού καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα για τα δύο εξάρτημα ENGMD02 (3 αέρια) και ENG12MD02 (12 αέρια) υπάρχουν δύο επιλογές: ENG και THH.



Εικόνα 18: Ιδιότητες υγρού καυσίμου [Πηγή: Amesim]

Αν επιλεγεί το ENG τότε οι ιδιότητες του υγρού καυσίμου (πυκνότητα, ειδική θερμότητα, θερμότητα ατμοποίησης) ορίζονται στο Parameters του συγκεκριμένου εξαρτήματος και έτσι δημιουργείται ένα βασικό μοντέλο καυσίμου για υπολογισμό της ενθαλπίας ως συνάρτηση της πίεσης και της θερμοκρασίας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$h_{liq} = h_{ref} + C_p * (T - T_{ref}) + \frac{p - 1.0e5}{\rho_{liq}}$$

$$h_{ref} = h_{gas} * (T_{ref}) - L_{vap} * (T_{ref})$$

Αν επιλεγεί το THH τότε οι ιδιότητες του καυσίμου δεν ορίζονται στην βιβλιοθήκη IFP-Engine αλλά μέσω της βιβλιοθήκης Thermal-Hydraulic. Για να γίνει αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί το παρακάτω εξάρτημα

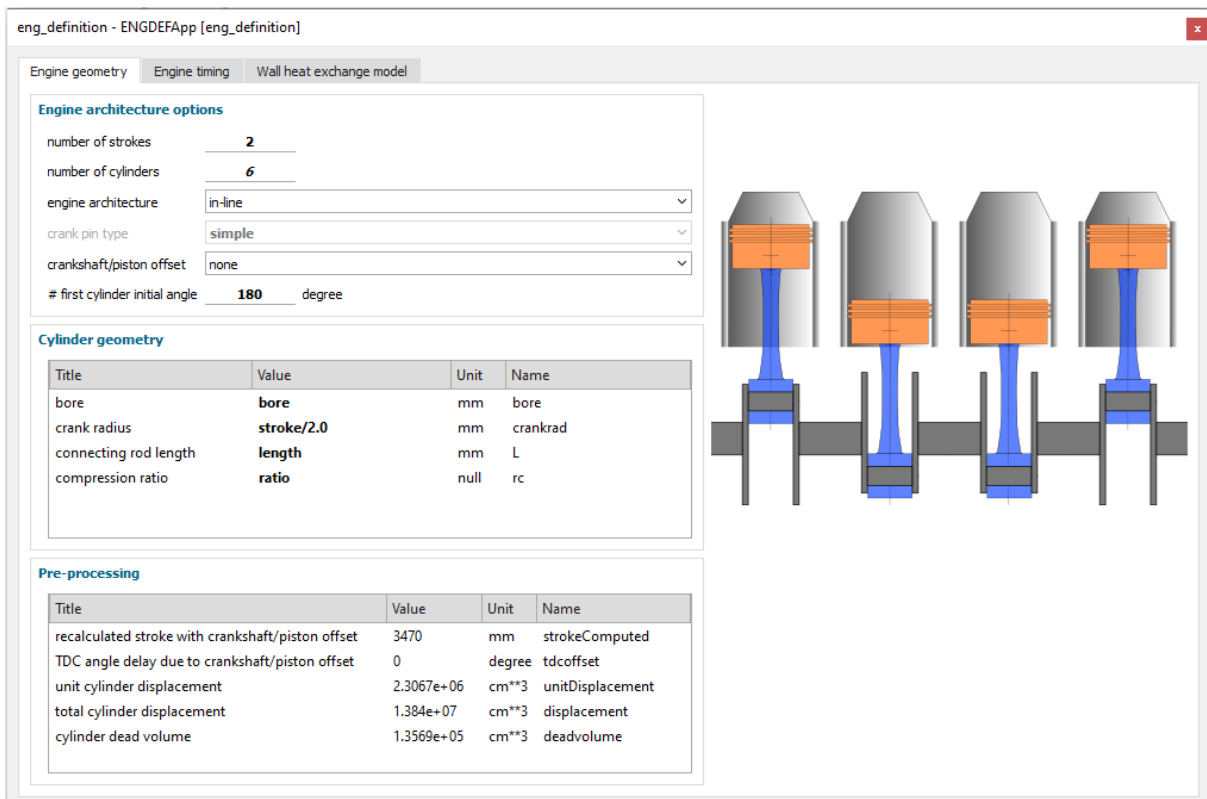


Εικόνα 19: Εξάρτημα για καθορισμό ιδιοτήτων καυσίμου, βιβλιοθήκη *Thermal-Hydraulic* [Πηγή: *Amesim*]

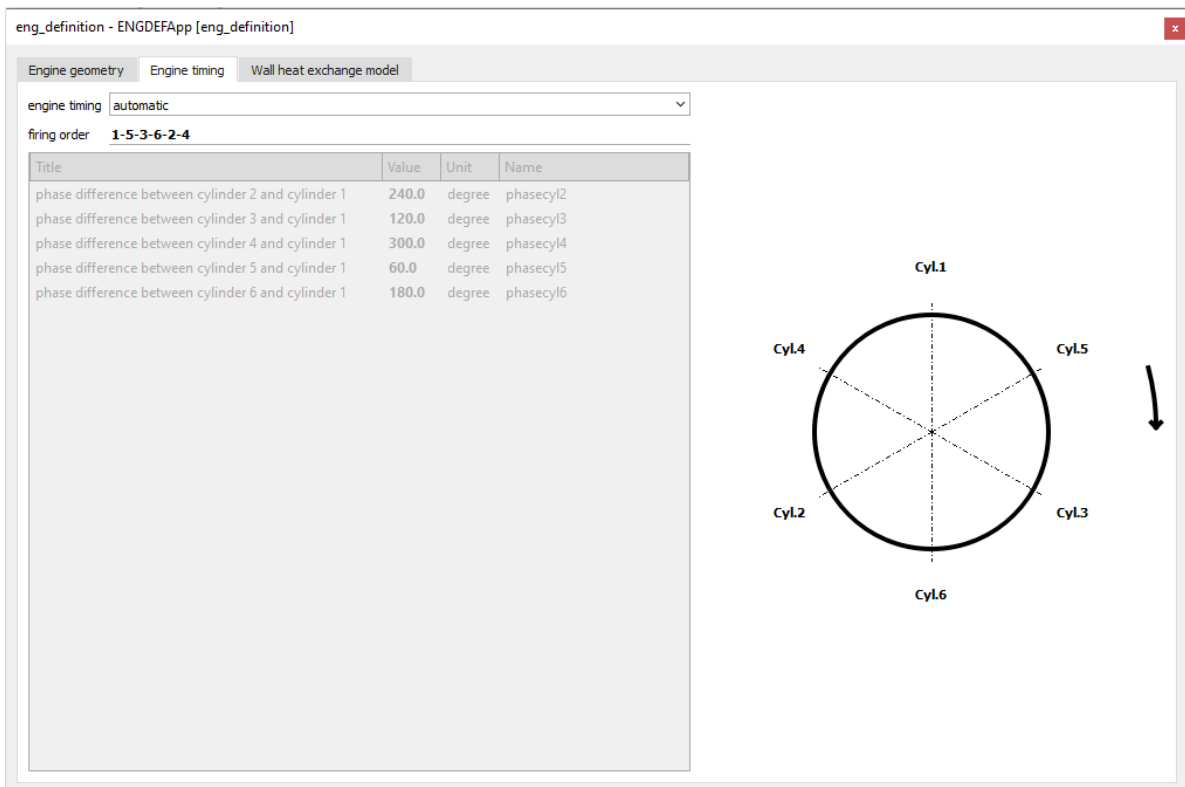
Τα παρακάτω εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους που θα αναλυθούν έχουν να κάνουν με την αρχιτεκτονική του κινητήρα:



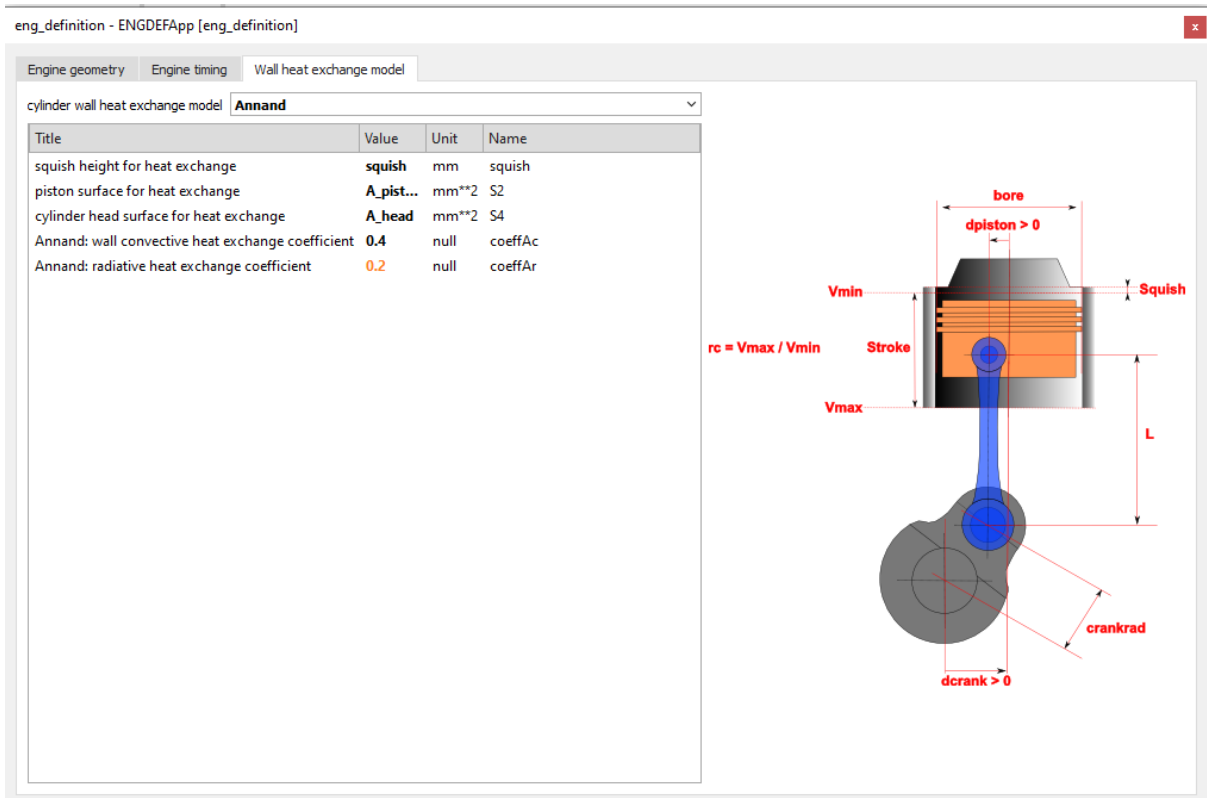
Το συγκεκριμένο εξάρτημα (ENGDEF02) είναι το βασικό εξάρτημα στο οποίο ορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα όπως τον αριθμό των κυλίνδρων, τους χρόνους της μηχανής (2 ή 4), αν οι κύλινδροι είναι σε σειρά ή αν είναι τύπου V. Επίσης σε αυτό το εξάρτημα ορίζονται οι βασικές διαστάσεις του κινητήρα, δηλαδή η διάμετρος των εμβόλων, η διαδρομή των εμβόλων, το μήκος του διωστήρα καθώς επίσης και η σειρά ανάφλεξης του κινητήρα. Υπάρχουν ακόμα πολλές επιλογές που μπορούν να οριστούν στο συγκεκριμένο εξάρτημα όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες,



Εικόνα 20: Επιλογές γεωμετρίας κινητήρα [Πηγή: Amesim]



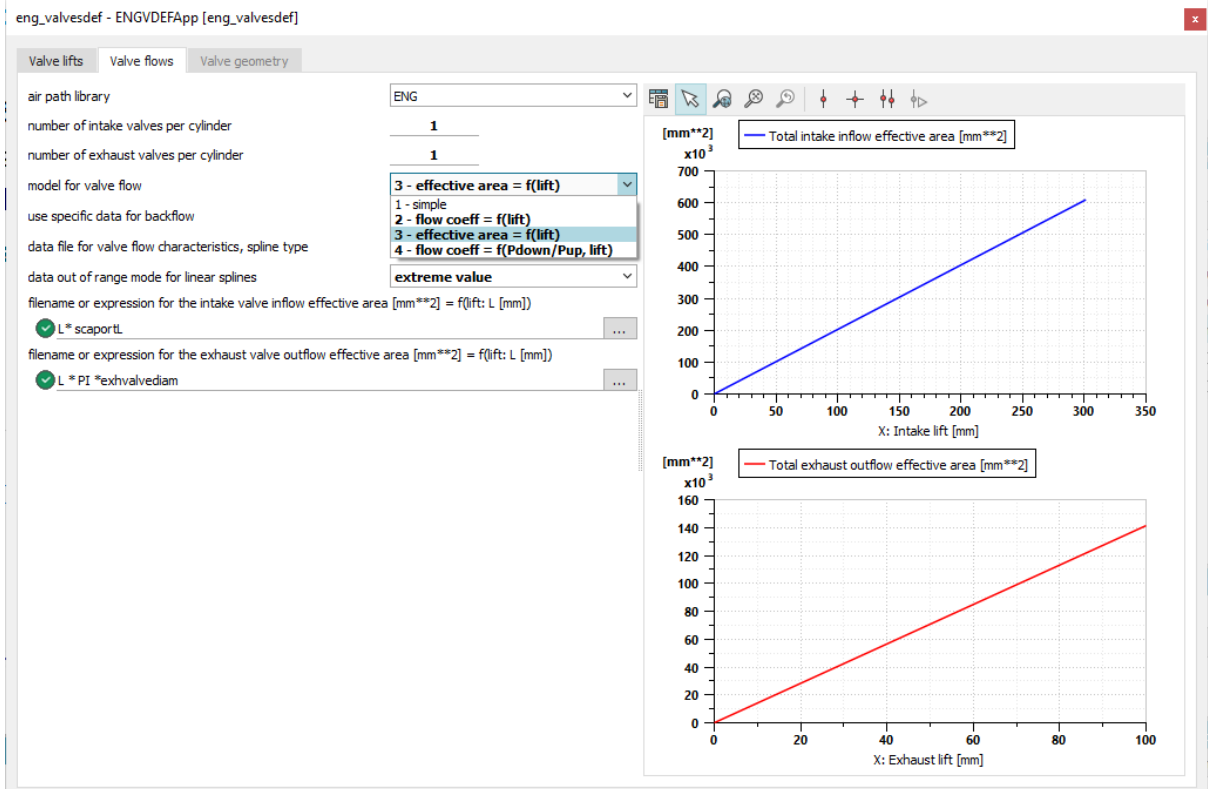
Εικόνα 21: Επιλογές χρονισμού κινητήρα [Πηγή: Amesim]



Εικόνα 22: Επιλογές ανταλλαγής θερμότητας κινητήρα [Πηγή: Amesim]

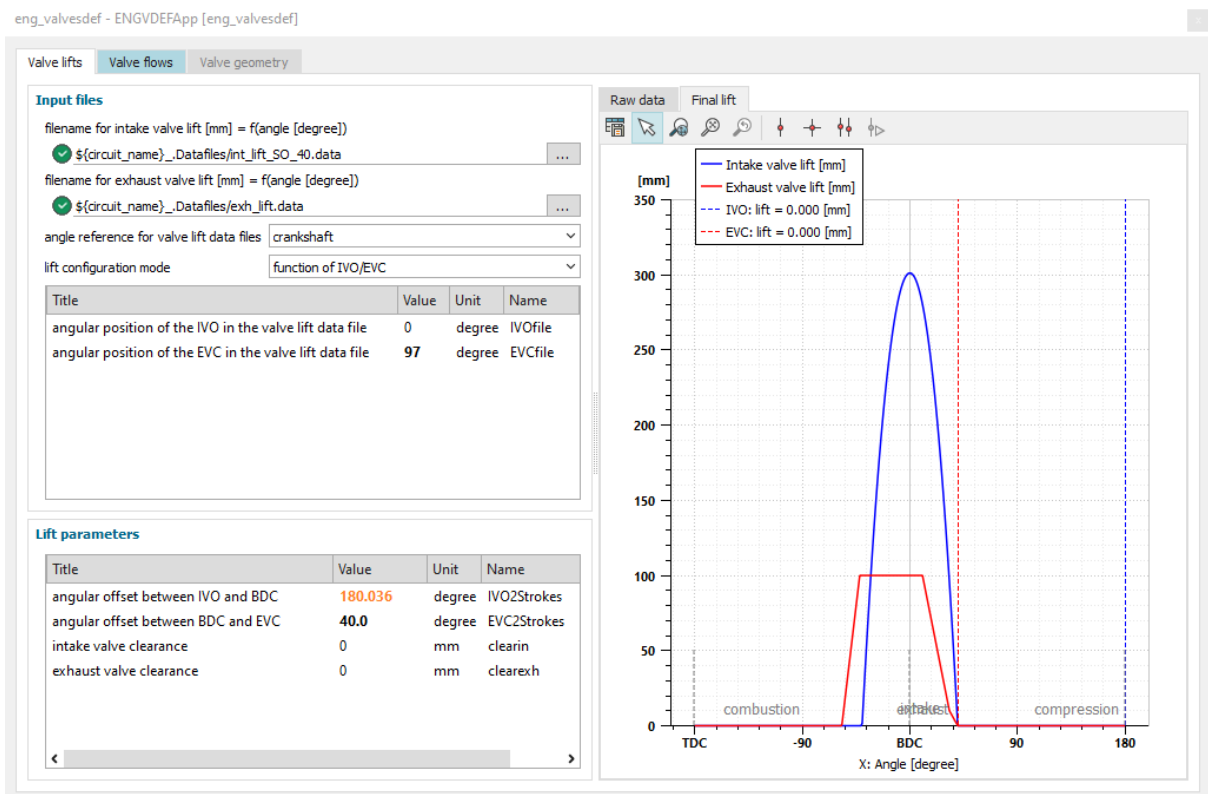


Το επόμενο εξάρτημα είναι το αυτό που καθορίζει τις ιδιότητες των βαλβίδων (ENGVDEF03). Υπάρχει η επιλογή αριθμού βαλβίδων για εισαγωγή και εξαγωγή, υπάρχουν 4 επιλογές για τη ροή στις βαλβίδες (simple, flow coeff= f(lift), effective area, flow coeff= f(Pdown/Pup, lift)) όπως φαίνονται και παρακάτω,



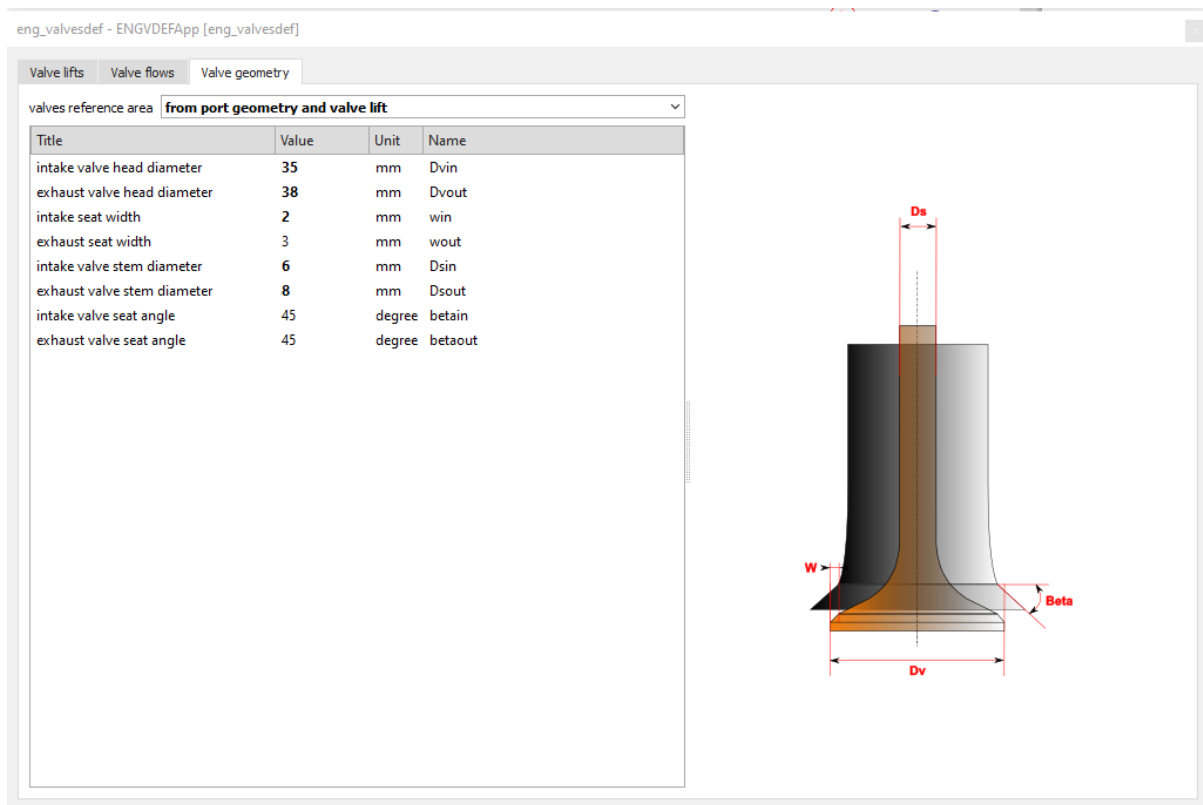
Εικόνα 23: Επιλογές ροής στις βαλβίδες [Πηγή: Amesim]

Επίσης υπάρχουν επιλογές στην ανύψωση των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής,



Εικόνα 24: Επιλογές ανύψωσης βαλβίδων [Πηγή: Amesim]

Οι τελευταίες επιλογές που υπάρχουν για τις βαλβίδες είναι η γεωμετρία των βαλβίδων

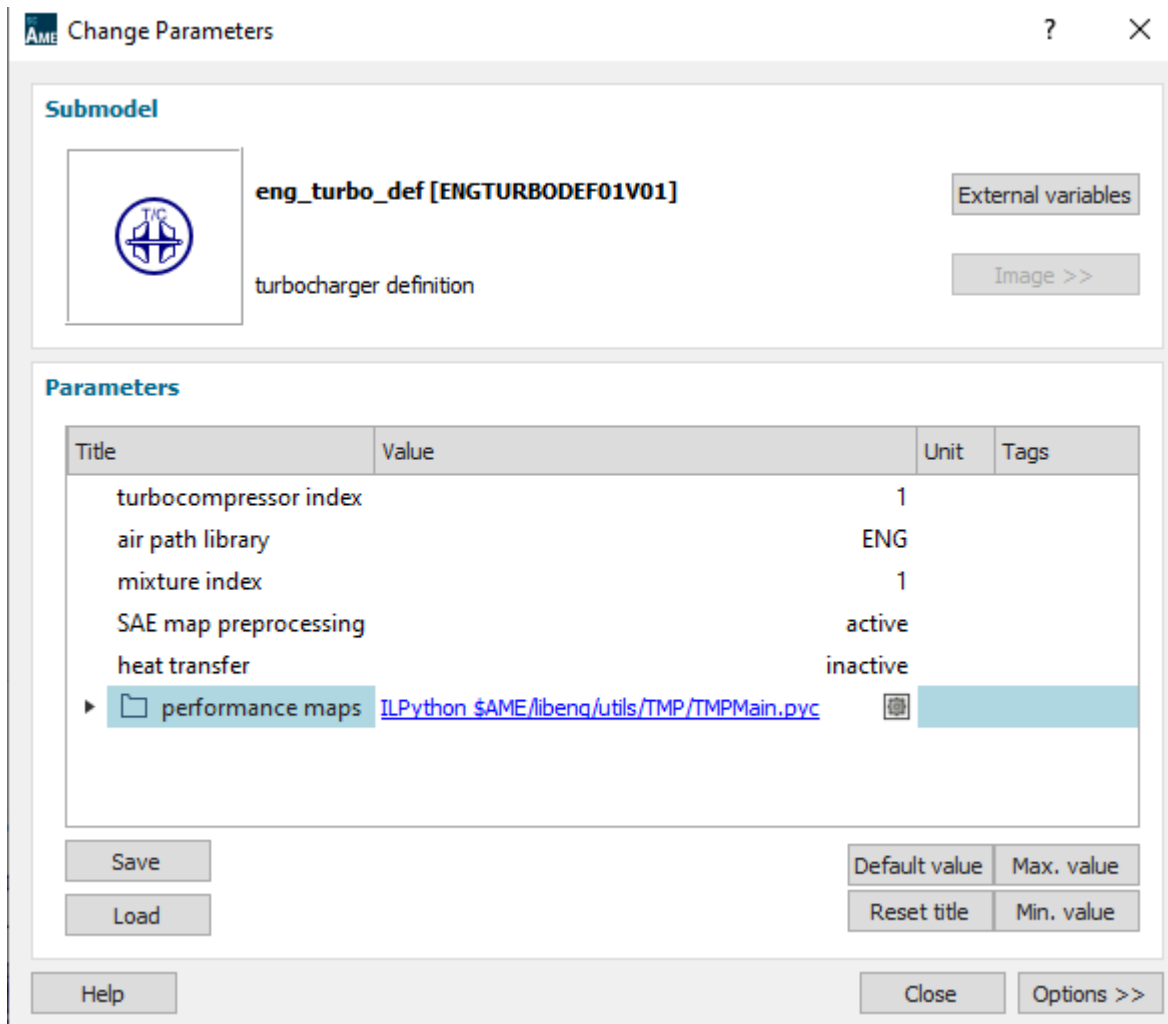


Εικόνα 25: Επιλογές γεωμετρία βαλβίδων [Πηγή: Amesim]



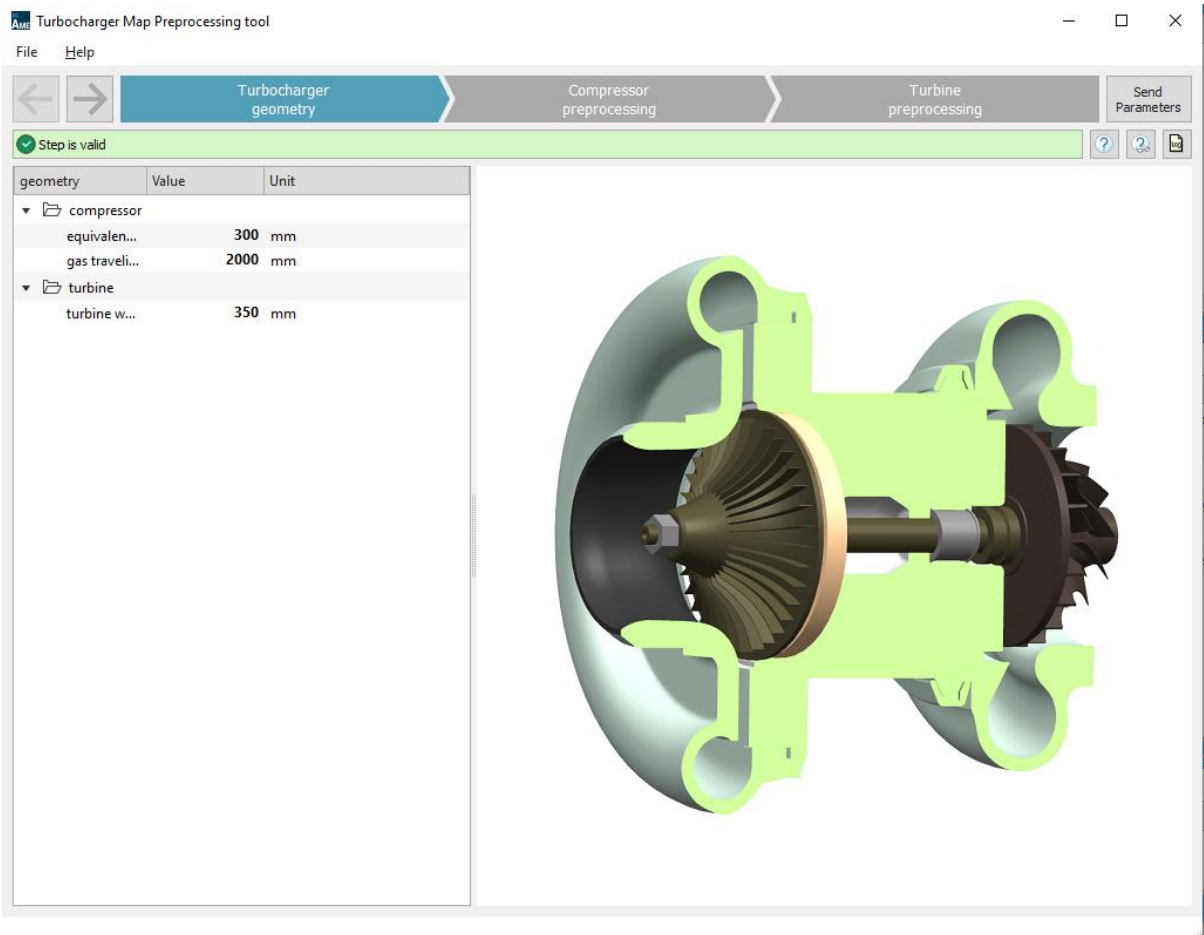
τούρμπο.

Το τελευταίο εξάρτημα χωρίς εισόδους και εξόδους είναι αυτό για τον ορισμό του στροβιλοσυμπιεστή ή τούρμπο (ENGTURBODEF01V01). Αρχικά στην επιλογή Parameters υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές το

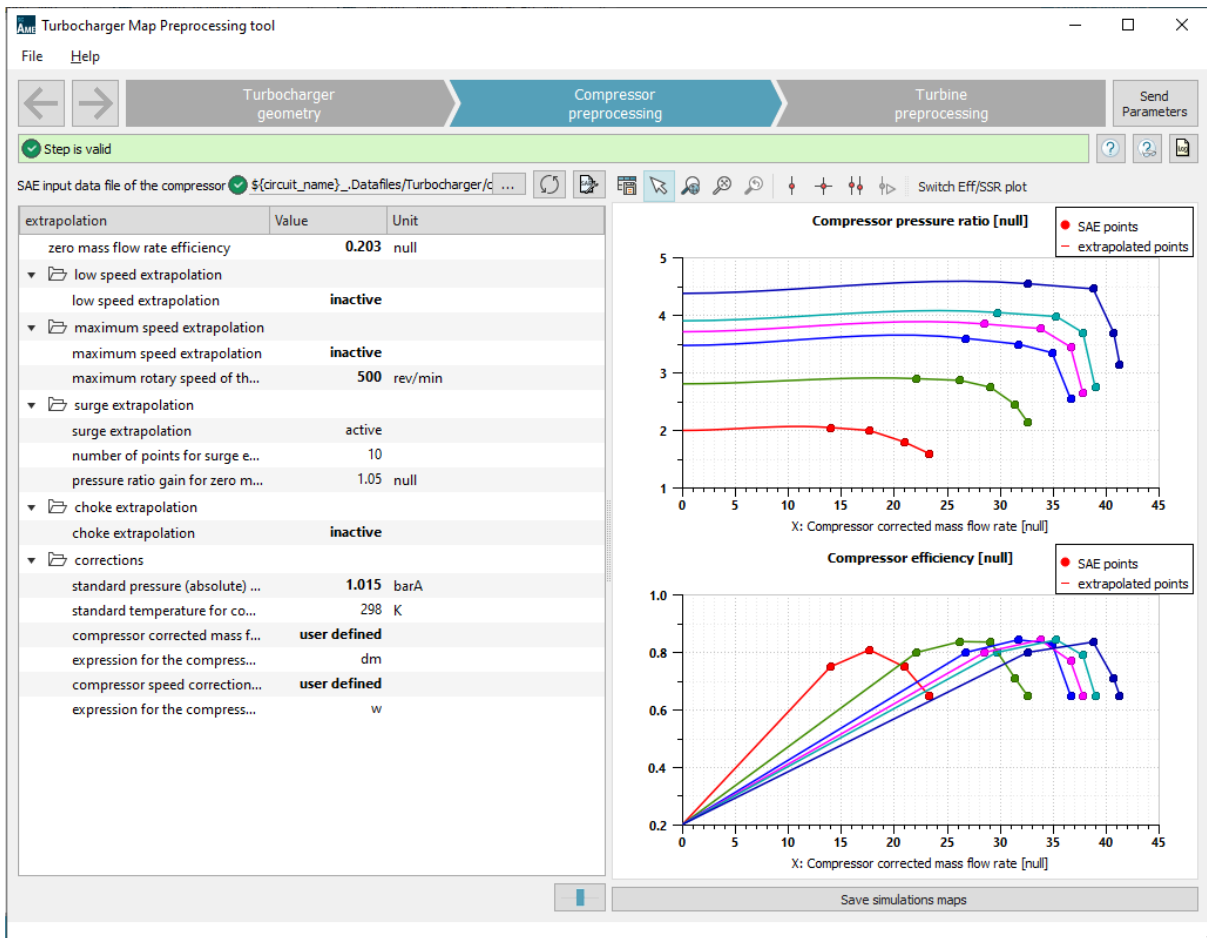


Εικόνα 26: Παράμετροι για το τούρμπο [Πηγή: Amesim]

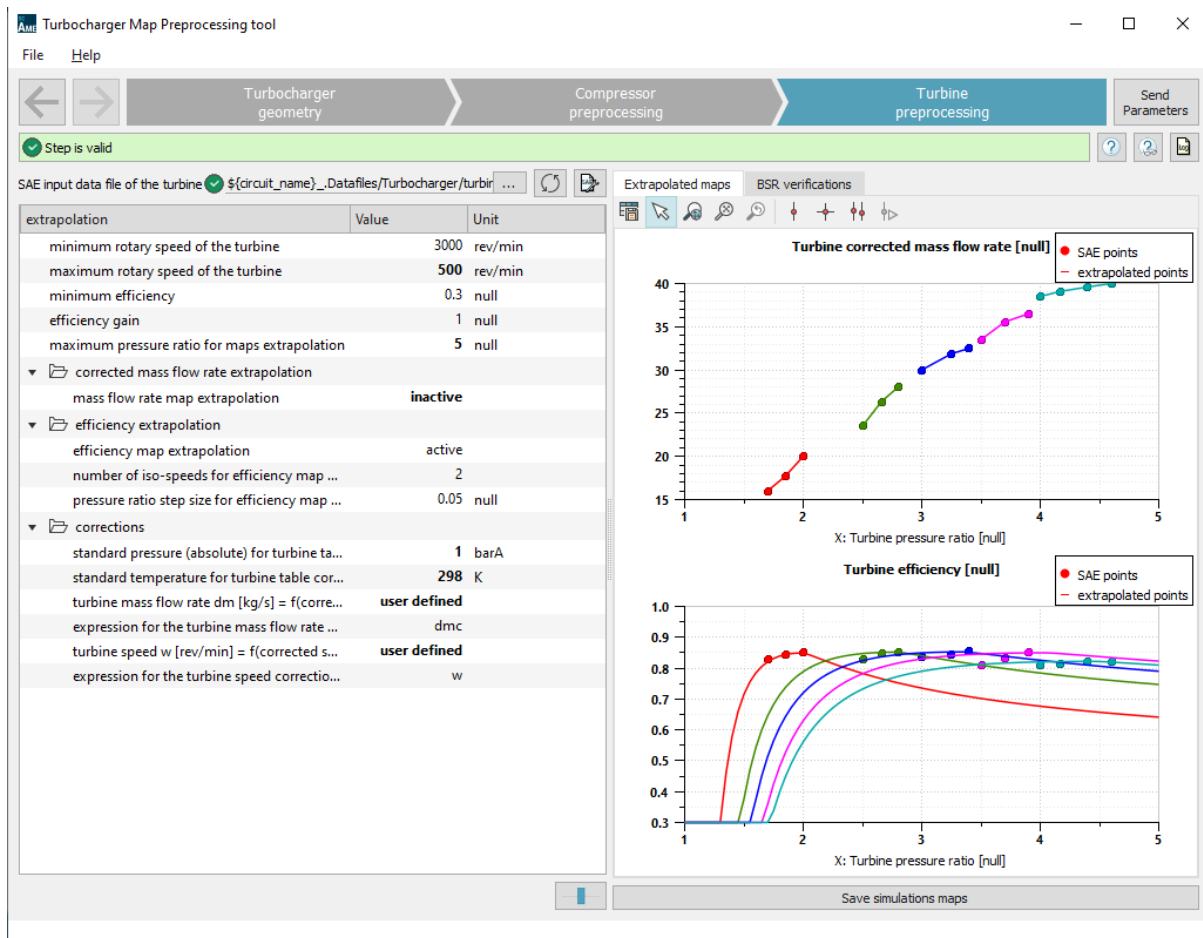
Και επιλέγοντας το performance maps εμφανίζεται νέο παράθυρο στο οποίο ορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τούρμπο, οι παράμετροι που αφορούν την επεξεργασία των δεδομένων της συμπίεσης καθώς και δεδομένα που αφορούν την επεξεργασία δεδομένων του στροβίλου.



Εικόνα 27: Επιλογές γεωμετρία του τούρμπο [Πηγή: Amesim]



Εικόνα 28: Επιλογές δεδομένων συμπιεστή τούρμπο [Πηγή: Ameism]



Εικόνα 29: Επιλογές δεδομένων συμπιεστή τούρμπο [Πηγή: Amesim]

3.5.2 Βασικά εξαρτήματα κινητήρα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία αναφορά στα βασικά εξαρτήματα που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός κινητήρα, καθώς και οι επιλογές που υπάρχουν για τον τρόπο λειτουργίας αυτών των εξαρτημάτων. Αρχικά για να μπορέσει να λειτουργήσει ένα μοντέλο κινητήρα στο Amesim θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποια από τα εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους που είδαμε παραπάνω. Συγκεκριμένα θα πρέπει να έχει γίνει χρήση:

α) τουλάχιστον ενός από τα δύο εξαρτήματα που αφορούν τις ιδιότητες των ρευστών για 3 αέρια (ENGMD02) ή 12 αέρια ENG12MD02



β) του εξαρτήματος που προσδίδει τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα (ENGDEF02)



γ) του εξαρτήματος που καθορίζει τις ιδιότητες των βαλβίδων (ENGVDEF03)



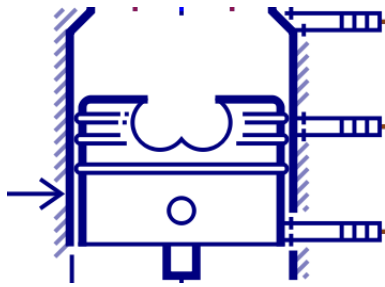
δ) σε περίπτωση χρήσης στροβιλοσυμπιεστή στον κινητήρα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και το εξάρτημα ορισμού του στροβιλοσυμπιεστή (ENGTURBODEF01V01)



Χωρίς αυτά τα εξαρτήματα δεν θα είναι δυνατή η πραγματοποίηση προσομοίωσης στο Amesim.

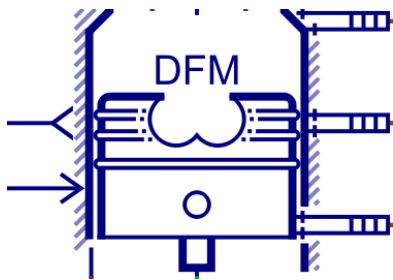
3.5.2.1 Επιλογές εμβόλων

Για τη μοντελοποίηση ενός κινητήρα αρχικά θα πρέπει να γίνει χρήση εμβόλων, υπάρχουν 4 επιλογές εμβόλων οι οποίες φαίνονται παρακάτω



(eng_combustion_Diesel_BB)

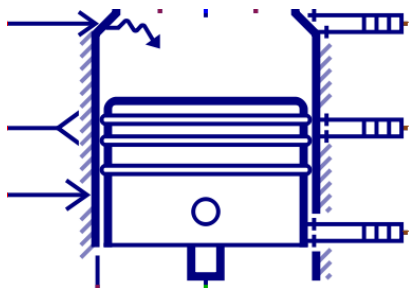
Το οποίο έχει ένα Submodel το ENGCHMELA13



(eng_combustion_DFM)

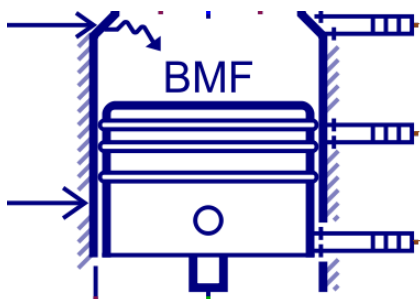
Το οποίο έχει δύο Submodel τα: ENGDFM05 και ENGDFM2S05

Τα παραπάνω εξαρτήματα χρησιμοποιούνται σε κινητήρες πετρελαίου, δηλαδή ανάφλεξης με συμπίεση CI (compression ignition).



(eng_combustion_CFM)

Το οποίο έχει τρία Submodels τα: ENGWIEBE03, ENGCFM53 και ENGCFM2S53



(eng_combustion_SI_BB)

Το οποίο έχει ένα Submodel το ENGCBMF24

Τα παραπάνω εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες βενζίνης ή CNG ή LPG ή κινητήρες αιθανόλης, δηλαδή ανάφλεξης με μπουζί SI (spark ignition).

Ο λόγος ύπαρξης τόσων επιλογών για τα έμβολα έχει να κάνει με την δυνατότητα που προσφέρει το Amesim στο χρήστη να κατασκευάσει οποιαδήποτε σύνθεση επιθυμεί καθώς επίσης να γίνει μοντελοποίηση και της θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την καύση. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης της εμπειρικής μεθόδου Wiebe και σε κινητήρες CI και SI. Επίσης άλλα μοντέλα που είναι διαθέσιμα είναι το DFM (Dual Flame Model) δηλαδή μοντέλο διπλής φλόγας, για κινητήρες CI. Και το μοντέλο CFM (Coherent Flame Model) δηλαδή μοντέλο συνεκτικής φλόγας για κινητήρες SI.

Για κινητήρες ανάφλεξης με μπουζί είναι διαθέσιμα τρία μοντέλα

- το BMF (burned mass fraction), το οποίο είναι το πιο απλό μοντέλο
- το WIEBE, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έγχυση υγρού ή αέριου καυσίμου
- και το CFM (coherent flame model), το οποίο βασίζεται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο CFD και δίνει καλύτερα αποτελέσματα από το εμπειρικό μοντέλο Wiebe

Για τους κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση τα μοντέλα είναι τέσσερα

- το BMF (burned mass fraction), όπως και παραπάνω
- το twin-Wiebe model, το οποίο σε αντίθεση με το απλό μοντέλο Wiebe που χρησιμοποιείται σε κινητήρες ανάφλεξης με μπουζί, έχει διπλή προσέγγιση στους κινητήρες πετρελαίου για να λαμβάνει υπόψιν και την λειτουργία προ ανάμιξης και τη λειτουργία διάχυσης,
- το extended Chmela-based το οποίο ενσωματώνει φυσικές θεωρήσεις για την απελευθέρωση θερμότητας
- και το DFM (dual flame model) το οποίο μπορεί να υπολογίσει τη διαδικασία της καύσης σε κινητήρες άμεσου ψεκασμού.

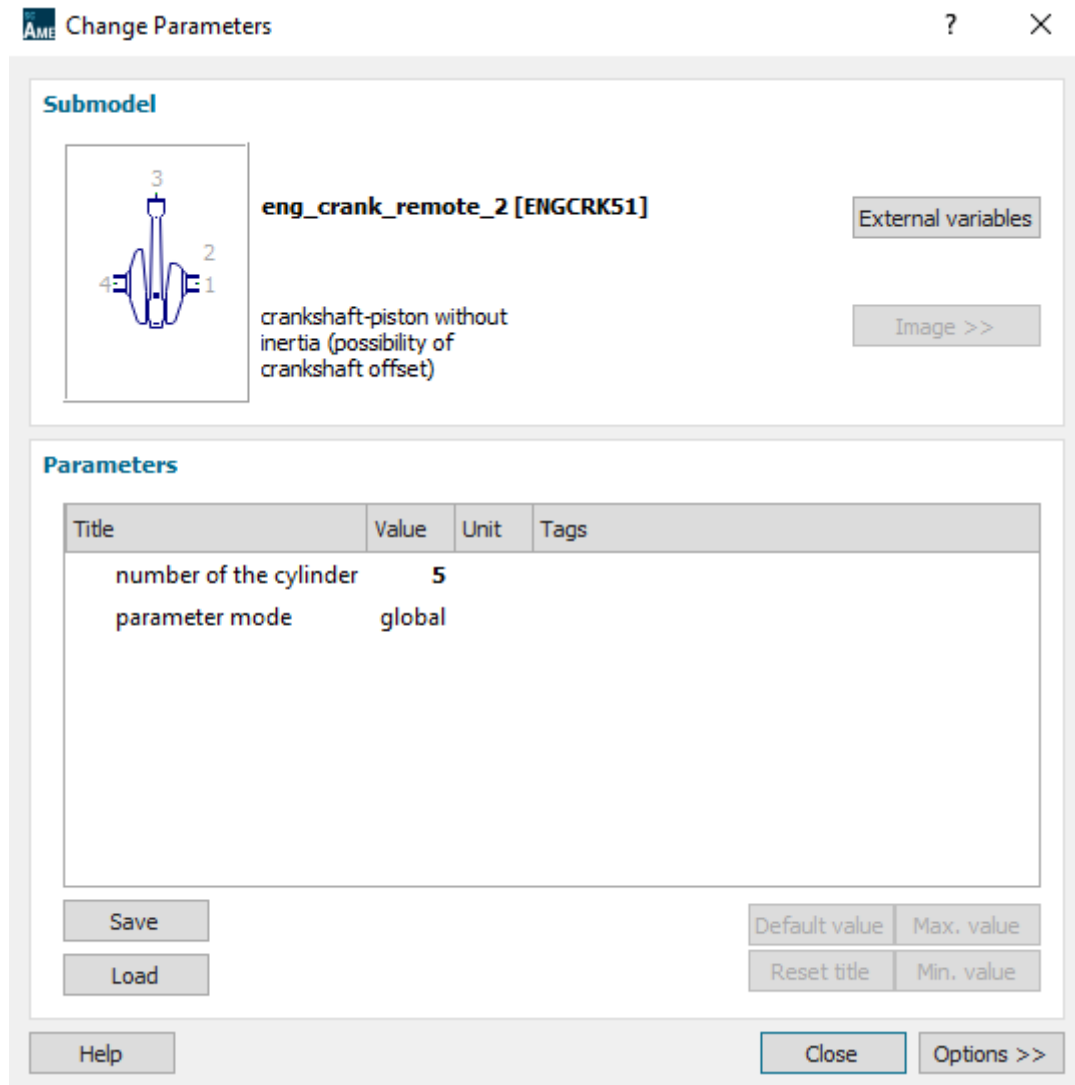
3.5.2.2 Επιλογές διωστήρα - στροφάλου

Ο στρόφαλος με το διωστήρα έχουν πολύ απλή μοντελοποίηση στο Amesim και γίνεται χρησιμοποιώντας το παρακάτω εικονίδιο



(eng_crank_remote)

Το συγκεκριμένο εξάρτημα έχει μόνο ένα Submodel το ENGCRK51. Επίσης οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν από τον χρήστη είναι μόνο δύο όπως φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 30: Παράμετροι στροφάλου [Πηγή:Amesim]

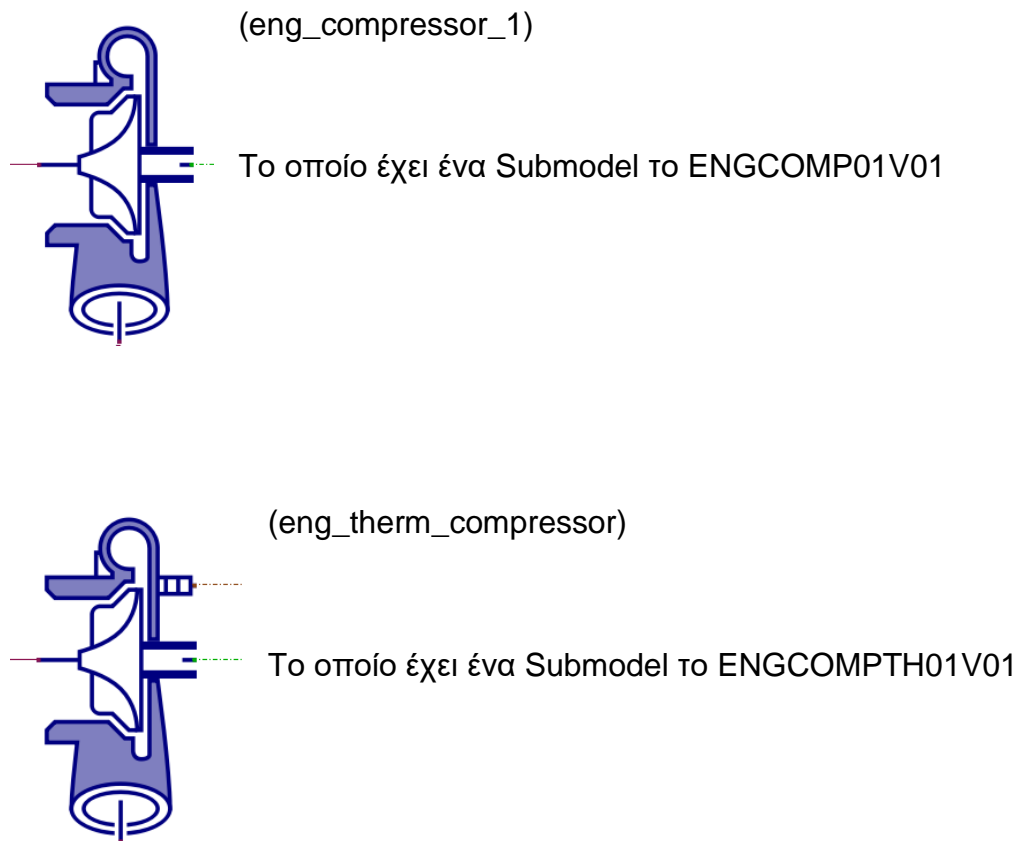
Η πρώτη παράμετρος που πρέπει να οριστεί είναι ο αριθμός του κυλίνδρου και η δεύτερη έχει να κάνει με τη γεωμετρία του διωστήρα. Στην παραπάνω φωτογραφία έχει γίνει η επιλογή global. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις διαστάσεις του διωστήρα μία φορά και στη συνέχεια όλοι οι διωστήρες του κινητήρα που έχουν την παράμετρο global θα πάρουν τις διαστάσεις που έχει ορίσει αρχικά ο χρήστης. Δεν χρειάζεται δηλαδή να τροποποιεί τις παραμέτρους σε κάθε διωστήρα ξεχωριστά.

3.5.2.3 Επιλογές στροβιλοσυμπιεστή

Ο στροβιλοσυμπιεστής αποτελεί ένα βασικό εξάρτημα ενός ναυτικού κινητήρα καθώς προσφέρει αύξηση της απόδοσης του.

Το AMESIM περιέχει πλήθος εξαρτημάτων για τη μοντελοποίηση ενός στροβιλοσυμπιεστή. Αρχικά για τη μοντελοποίηση ενός στροβιλοσυμπιεστή στο AMESIM πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο εξαρτήματα, το ένα εξάρτημα είναι ο συμπιεστής (compressor) και το άλλο εξάρτημα είναι η τουρμπίνη (turbine). Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφορες επιλογές που έχει ο χρήστης για αυτά τα δύο εξαρτήματα.

Οι επιλογές του συμπιεστή σταθερής γεωμετρίας είναι οι παρακάτω



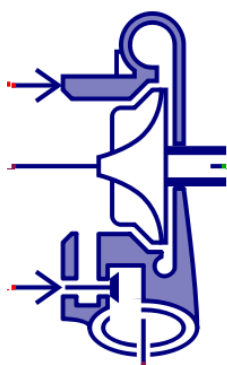
Για την τουρμπίνα υπάρχουν δύο επιλογές η Single scroll turbine και η Twin scroll turbine. Η διαφορά αυτών των δύο εμφανίζεται στη δίοδο του αέρα, στη Single scroll υπάρχει ενιαία διαδρομή ενώ στη Twin scroll υπάρχει διαχωρισμός σε δύο διαδρομές. Η παρακάτω φωτογραφία απεικονίζει το κέλυφος μια twin scroll και μίας single scroll τουρμπίνας και η διαφορά τους είναι εμφανής.



Εικόνα 31: Twin scroll turbine αριστερά και Single scroll turbine δεξιά [Πηγή: DSPORTMAG]

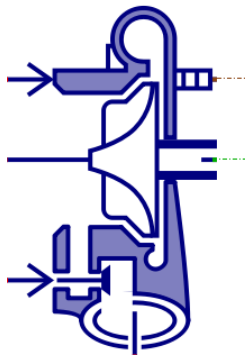
Ωστόσο η Twin scroll turbine δεν βρίσκει εφαρμογή σε ναυτικούς κινητήρες αλλά κυρίως σε κινητήρες αυτοκινήτων, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης.

Οι επιλογές για Single scroll turbine σταθερής γεωμετρίας είναι οι παρακάτω



(eng_ss_turbine_pulse)

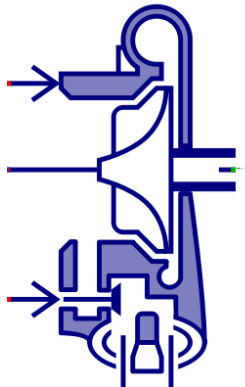
Υπάρχει διαθέσιμο ένα Submodel, το ENGTURBSS01V01



(eng_therm_ss_turbine_pulse)

Στο οποίο υπάρχει ένα Submodel, το ENGTURBTHSS01V01

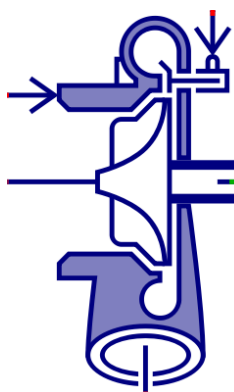
Για twin scroll turbine υπάρχει διαθέσιμη μία επιλογή



(eng_ts_turbine_pulse)

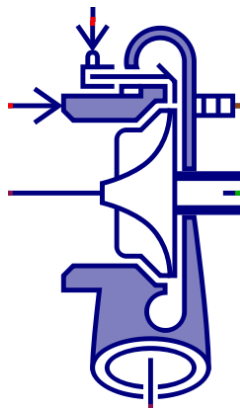
Στο οποίο υπάρχει διαθέσιμο ένα Submodel, το ENGTURBTS01V01

Και τέλος οι διαθέσιμες επιλογές τουρμπίνας μεταβλητής γεωμετρίας είναι οι παρακάτω



(eng_vg_turbine2_pulse)

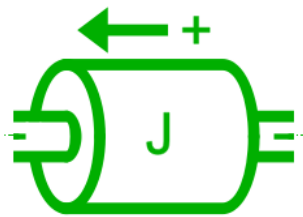
Με διαθέσιμο ένα Submodel, το ENGTURBVG01V01



(eng_therm_vg_turbine_pulse)

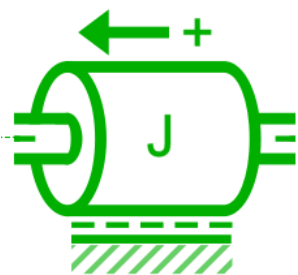
Στο οποίο υπάρχει διαθέσιμο ένα Submodel, το ENGTURBTHVG01V01

Επίσης για τη μοντελοποίηση ενός στροβιλοσυμπιεστή εκτός από την επιλογή ενός εξαρτήματος συμπιεστή και ενός εξαρτήματος τουρμπίνας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένα εξάρτημα το οποίο προσδίδει τις ιδιότητες της περιστροφικής αδράνειας του στροβιλοσυμπιεστή. Δύο εξαρτήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό είναι τα παρακάτω



(rotaryload2_1)

Το οποίο έχει δύο διαθέσιμα Submodels το RL02 και το RL02A



(rotaryload2ports)

Το οποίο έχει διαθέσιμα τέσσερα Submodels τα MECRL0, MECRL0A, RL03 και RL03A

Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο αυτών εξαρτημάτων είναι ότι στο δεύτερο υπάρχει η δυνατότητα μοντελοποίησης των τριβών κατά την περιστροφή του στροβιλοσυμπιεστή.

Όλες αυτές οι επιλογές υπάρχουν με σκοπό τη δυνατότητα μοντελοποίησης οποιουδήποτε συστήματος στροβιλοσυμπιεστή επιθυμεί ο χρήστης καθώς και τη δυνατότητα επιλογής για το αν θα λαμβάνονται υπόψιν τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας.

Αυτή ήταν μία σύντομη περιγραφή του AMESIM και κάποιων λειτουργιών τις οποίες διαθέτει καθώς επίσης και κάποια από τα βασικά εξαρτήματα που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν από έναν χρήστη προκειμένου να σχεδιάσει έναν κινητήρα στο AMESIM, εννοείται ότι απαιτούνται πολλά ακόμα εξαρτήματα προκειμένου να λειτουργήσει το AMESIM και να μπορέσει να πραγματοποιήσει προσομοίωση λειτουργίας του κινητήρα. Παραπάνω πληροφορίες σχετικά με τα υπόλοιπα εξαρτήματα που διαθέτει η βιβλιοθήκη IFP-Engine και όχι μόνο, καθώς και επιπλέον επιλογές στον τρόπο λειτουργίας και μοντελοποίησης ενός κινητήρα υπάρχουν διαθέσιμες στα εγχειρίδια χρήσης του AMESIM και στα εγχειρίδια χρήσης της κάθε βιβλιοθήκης.

Κεφάλαιο 4: MAN CEAS Engine calculations

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης, εκτός από το λογισμικό AMESIM Simcenter, χρησιμοποιήθηκε και μια εφαρμογή η οποία έχει δημιουργηθεί από την εταιρεία MAN Energy Solutions, η οποία αποτελεί μια από τις δύο μεγαλύτερες εταιρείες κατασκευής ναυτικών δίχρονων κινητήρων πρόωσης. Η εφαρμογή αυτή ονομάζεται CEAS (Computerised Engine Application System) Engine calculations και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο με το οποίο μπορεί να γίνει επιλογή χαρακτηριστικών ενός ναυτικού κινητήρα ο οποίος να είναι κατάλληλος για ένα συγκεκριμένο πλοίο. Μέσω της εφαρμογής αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί τεχνική και οικονομική μελέτη με αποτέλεσμα την εύρεση του βέλτιστου κινητήρα, για χρήση σε κάποιο πλοίο.

4.1 Λειτουργία της εφαρμογής CEAS Engine calculations

Η εφαρμογή CEAS είναι μια ιστοσελίδα στην οποία υπάρχουν διάφορες επιλογές για τον κινητήρα. Αρχικά μπαίνοντας στην ιστοσελίδα η εικόνα που βλέπει ο χρήστης είναι η παρακάτω.

The screenshot displays the CEAS Engine configuration interface. On the left, a 'Summary' panel shows engine details for a Tier III, 12G95ME-C10.6-LPSCR, LS, 82440 kW @ 80 rpm. The summary includes parameters like Turbocharger efficiency (High), Scrubber type (Not installed), Cooling system (Fresh water), Propeller type (FPP), and various backpressure and sulphur content values. The right side of the interface features three main sections: 'Catalogue' with options for 'Diesel' and 'Replaced', 'IMO NO_x compliance level' with 'Tier II' selected, 'Fuel injection concept' with 'DI' selected, 'Engine category' with 'ME' selected, 'Engines' with a grid of engine models (e.g., G95ME-C10.5, S80ME-C10.7), and 'Cylinders' with a grid of cylinder counts (12, 11, 10, 9).

Εικόνα 32: CEAS Σελίδα 1 - Διαμόρφωση κινητήρα [Πηγή: MAN, CEAS]

Οι πρώτες επιλογές που πρέπει να πραγματοποιήσει ο χρήστης στη σελίδα 1 είναι οι παρακάτω

Catalogue						Engines	
Official		Replaced				G95ME-C10.6	S60ME-C10.7
IMO NO _x compliance level						G95ME-C10.5	G60ME-C10.7
Tier III		Tier II				G90ME-C10.5	S50ME-C10.7
Fuel injection concept						G80ME-C10.6	S46ME-C8.6
DI	GI	GA	LGIM	LGIP	GIE	G80ME-C10.5	G45ME-C9.7
Engine category						G70ME-C10.7	S40ME-C9.5
ME		ME-B				S70ME-C10.5	S35ME-C9.7
						G60ME-C10.5	
						Cylinders	
						12	8
						11	7
						10	6
						9	

Εικόνα 33: Επιλογές σελίδας 1 [Πηγή: MAN, CEAS]

Στην αριστερή στήλη υπάρχουν διάφορες επιλογές οι οποίες αναλύονται παρακάτω, ενώ στη δεξιά στήλη υπάρχουν οι διαθέσιμοι τύποι κινητήρων και ο αριθμός των κυλίνδρων.

Η πρώτη επιλογή που πρέπει να γίνει από το χρήστη είναι στο πεδίο Catalogue, όπου οι επιλογές είναι Official και Replaced. Στην επιλογή Official υπάρχουν διαθέσιμοι οι πιο πρόσφατοι κινητήρες, ενώ στο Replaced υπάρχουν παλαιότερες εκδόσεις κινητήρων οι οποίες πλέον έχουν αντικατασταθεί.

Η επόμενη επιλογή είναι το επίπεδο του IMO για τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (IMO NO_x compliance level), Tier III ή Tier II.

Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγεί το σύστημα έγχυσης καυσίμου (fuel injection concept)

- DI: για κινητήρες μονού καυσίμου που χρησιμοποιούν υγροποιημένο καύσιμο όπως MDO/HFO ή υγροποιημένα βιοκαύσιμα,
- GI: για κινητήρες διπλού καυσίμου ME-GI που χρησιμοποιούν αέριο (GI=Gas injection) μεθάνιο/LNG και συμβατικό υγροποιημένο καύσιμο,
- GA: για κινητήρες διπλού καυσίμου ME-GA που χρησιμοποιούν αέριο (GA=Gas admission) και συμβατικό υγροποιημένο καύσιμο,
- LGIM: για κινητήρες διπλού καυσίμου ME-LGIM που χρησιμοποιούν μεθανόλη (LGIM=Liquid Gas Injection Methanol) και συμβατικό υγροποιημένο καύσιμο),

- LGIP: για κινητήρες διπλού καυσίμου ME-LGIP που χρησιμοποιούν LPG (μείγμα προπανίου και βουτανίου) (LGIP=Liquid Gas Injection Propane) και συμβατικό υγροποιημένο καύσιμο,
- GIE: για κινητήρες διπλού καυσίμου ME-GIE που χρησιμοποιούν αιθάνιο (GIE=Gas Injection Ethane) καθώς και LNG και συμβατικό υγροποιημένο καύσιμο,

Στο πεδίο Engine category υπάρχουν οι επιλογές ME και ME-B, όπου η επιλογή ME αφορά κινητήρες ME-C στους οποίους υπάρχει ηλεκτρονικός έλεγχος για τις διεργασίες του κυλίνδρου, όπως για παράδειγμα χρονισμός ψεκασμού καυσίμου και ενεργοποίηση των βαλβίδων εξαγωγής, ενώ η επιλογή ME-B αφορά κινητήρες που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ελεγχόμενους ενισχυτές πίεσης για τον ψεκασμό του καυσίμου, ενώ η ενεργοποίηση των βαλβίδων εξαγωγής γίνεται με εκκεντροφόρο αλλά με ηλεκτρονικά ελεγχόμενο κλείσιμο αυτών.

Στην επόμενη σελίδα μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά πεδία με διαφορετικές επιλογές ανάλογα με το τι έχει επιλεγεί στην πρώτη σελίδα. Για παράδειγμα αν στην πρώτη σελίδα στο πεδίο IMO NO_x compliance level έχει επιλεγεί το Tier III, τότε η δεύτερη σελίδα θα έχει τα πεδία που εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα.

Turbocharger efficiency	
High	

Tier III technology	
SCR	EGR

SCR system	
High pressure	

Fuel sulphur content	
Low sulphur	High sulphur

Max sulphur content: Tier II: 0.5% Tier III: 0.1%

Scrubber type	
Not installed	

Cooling system	
Fresh water	Sea water

Propeller type	
FPP	CPP

Scrubber specification	
Tier II total backpressure 30 - 30 [mbar]	Tier III total backpressure 30 - 30 [mbar]
30	30

Engine layout	
SMCR speed 82 - 105 [rpm]	SMCR power 11280 - 14940 [kW]
105	14940
NCR 50 - 100 [%]	NCR power 7470 - 14940 [kW]
100	14940

Εικόνα 34: Επιλογές σελίδας 2 για κινητήρες Tier III [Πηγή: MAN, CEAS]

Επίσης διαφορές υπάρχουν και σε διαφορετική επιλογή στο πεδίο Fuel injection concept. Ενώ αν στην πρώτη σελίδα είναι επιλεγμένο το Tier II τα πεδία της δεύτερης σελίδας θα είναι αυτά που φαίνονται παρακάτω.

<p>Turbocharger efficiency</p> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">High</div>	<p>Scrubber specification</p> <p>Tier II total backpressure 30 - 30 [mbar]</p> <p>30</p>								
<p>SFOC load range</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">High load</div> <div style="background-color: #ccc; text-align: center; padding: 2px;">Low load</div> </div>	<p>Engine layout</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">SMCR speed 82 - 105 [rpm]</td> <td style="padding: 2px;">SMCR power 11280 - 14940 [kW]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">105</td> <td style="padding: 2px;">14940</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">NCR 50 - 100 [%]</td> <td style="padding: 2px;">NCR power 7470 - 14940 [kW]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">100</td> <td style="padding: 2px;">14940</td> </tr> </table>	SMCR speed 82 - 105 [rpm]	SMCR power 11280 - 14940 [kW]	105	14940	NCR 50 - 100 [%]	NCR power 7470 - 14940 [kW]	100	14940
SMCR speed 82 - 105 [rpm]	SMCR power 11280 - 14940 [kW]								
105	14940								
NCR 50 - 100 [%]	NCR power 7470 - 14940 [kW]								
100	14940								
<p>Fuel sulphur content</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">Low sulphur</div> <div style="background-color: #ccc; text-align: center; padding: 2px;">High sulphur</div> </div> <p>Max sulphur content: 0.5%</p>									
<p>Scrubber type</p> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">Not installed</div>									
<p>Cooling system</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">Fresh water</div> <div style="background-color: #ccc; text-align: center; padding: 2px;">Sea water</div> </div>									
<p>Propeller type</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="background-color: #e91e63; color: white; text-align: center; padding: 2px;">FPP</div> <div style="background-color: #ccc; text-align: center; padding: 2px;">CPP</div> </div>									

Εικόνα 35: Επιλογές σελίδας 2 για κινητήρες Tier II [Πηγή: MAN, CEAS]

Παρακάτω υπάρχει μια περιγραφή όλων των πιθανών πεδίων και των επιλογών τους που μπορεί να υπάρχουν στη δεύτερη σελίδα διαμόρφωσης του κινητήρα.

Στο πρώτο πεδίο Turbocharger efficiency στις παραπάνω εικόνες υπάρχει μόνο η επιλογή High, η οποία αναφέρεται σε στροβιλοσυμπιεστές που έχουν ελάχιστη απόδοση 67% στο 100% λειτουργίας του κινητήρα, μπορεί όμως να υπάρχει και η επιλογή Conn. και αναφέρεται σε στροβιλοσυμπιεστές που έχουν ελάχιστη απόδοση 64% στο 100% λειτουργίας του κινητήρα.

Τα δύο επόμενα πεδία αφορούν μόνο τους κινητήρες Tier II, αυτά είναι το SFOC load range το οποίο έχει τις παρακάτω επιλογές

- High load: βελτιστοποίηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) στο 100% λειτουργίας του κινητήρα,
- Part load: βελτιστοποίηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) σε μερικό φορτίο 50%-85% λειτουργίας του κινητήρα,

- Low load: βελτιστοποίηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) σε χαμηλό φορτίο 25%-70% λειτουργίας του κινητήρα,

Στην περίπτωση που έχει επιλεγεί το Part load ή το Low load θα πρέπει να συμπληρωθεί και το επόμενο πεδίο το οποίο είναι το Tuning method. Σε αυτό το πεδίο υπάρχουν οι εξής τρεις επιλογές

- EGB (Exhaust Gas Bypass): η επιλογή αυτή είναι διαθέσιμη για τους περισσότερους κινητήρες ME-C και ME-B,
- EPT (Engine Process Tuning): η επιλογή αυτή είναι διαθέσιμη μόνο για τους κινητήρες G95ME-C10.5, G80ME-C10.5 και G60ME-C10.5. Η τεχνολογία EPT χρησιμοποιεί παραμέτρους ελέγχου κινητήρα έτσι ώστε να βελτιώσει της ειδική κατανάλωση καυσίμου σε μερικό ή χαμηλό φορτίο,
- SEQ (Sequential): η συγκεκριμένη επιλογή είναι η βασική για τον κινητήρα G95ME-C10.6. Περιλαμβάνει διαδοχικό ψεκασμό καυσίμου και εφαρμογή στροβιλοσυμπιεστή παρόμοια με την τεχνολογία EGRTC Tier III και είναι διαθέσιμη για χαμηλό φορτίο.

Αν ο κινητήρας που έχει επιλεγεί είναι Tier III τότε θα υπάρχει το πεδίο Tier III technology στο οποίο υπάρχουν δύο επιλογές, το SCR και το EGR.

- SCR (Selective Catalytic Reduction): εξασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO Tier III χρησιμοποιώντας «επιλεκτική καταλυτική αναγωγή», δηλαδή χρησιμοποιεί ένα σύστημα καταλύτη μετά την καύση για τη μείωση των εκπομπών NO_x, μετατρέποντας τα NO_x σε N₂ και νερό,
- EGR (Exhaust Gas Re-circulation): εξασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς IMO Tier III, χρησιμοποιώντας την επανακυκλοφορία καυσαερίων. Το σύστημα αυτό λειτουργεί ανακυκλώνοντας ένα μέρος των καυσαερίων πίσω στη διαδικασία της καύσης, αναμειγνύοντας το με τον αέρα. Αυτή η διαδικασία αραιώνει το O₂ στον εισερχόμενο αέρα καύσης και παρέχει αδρανή αέρια τα οποία απορροφούν θερμότητα μειώνοντας έτσι τις μέγιστες θερμοκρασίες μέσα στον κύλινδρο.

Το επόμενο πεδίο συνδέεται με την τεχνολογία EGR, το οποίο είναι το Matching strategy και υπάρχουν τρεις επιλογές

- TC cut-out: η τεχνολογία αυτή χαρακτηρίζεται και ως EGRTC και χρησιμοποιείται σε κινητήρες ME-C με διάμετρο εμβόλου ίση και μεγαλύτερη από 80 cm και με τη χρήση αυτού του συστήματος μπορεί να ανακυκλωθεί έως και 40% των καυσαερίων,
- Bypass: η τεχνολογία αυτή EGRBP χρησιμοποιείται σε κινητήρες ME-C/ME-B με διάμετρο εμβόλου ίση και μικρότερη από 70 cm. Το σύστημα αυτό μπορεί να ανακυκλώσει το 40% των καυσαερίων,
- ECO: EcoEGR είναι μια τεχνολογία βελτιστοποίησης της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου η οποία είναι διαθέσιμη στους περισσότερους κινητήρες ME-C. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία επιτυγχάνουν ανακυκλοφορία καυσαερίων περίπου 10-15% σε κινητήρες Tier II και λίγο παραπάνω σε κινητήρες Tier III.

Στη συνέχεια υπάρχει το πεδίο SCR (Selective Catalytic Reduction) system, στο οποίο υπάρχουν οι επιλογές High pressure και Low pressure. Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι στο High pressure ο καταλύτης βρίσκεται μεταξύ του της εξαγωγής και του στροβιλοσυμπιεστή ενώ στο Low pressure βρίσκεται μετά τον στροβιλοσυμπιεστή.

Το επόμενο πεδίο που πρέπει να συμπληρωθεί είναι το Fuel sulphur content, δηλαδή η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο (S). Οι επιλογές που υπάρχουν διαθέσιμες είναι οι δύο παρακάτω:

- Low sulphur: καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο χαμηλότερη από 0,5% για τις περιοχές εκτός ECA και 0,1% για περιοχές ECA,
- High sulphur: καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη από 0,5%.

Η επιλογή σχετικά με το είδος του καυσίμου σχετίζεται και με το επόμενο πεδίο το οποίο αφορά τη χρήση Scrubber. Συγκεκριμένα οι επιλογές που υπάρχουν είναι:

- Standard: το οποίο είναι το συνηθισμένο scrubber το οποίο χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό ή γλυκό νερό ή ξηρό απορροφητικό υλικό, το οποίο μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για κινητήρες Tier III σε επιλογή λειτουργίας Tier III mode καθώς και Tier II mode,

- Tier II mode: αυτή η επιλογή υπάρχει για κινητήρες Tier III σε επιλογή λειτουργίας μόνο Tier II mode. Για περιοχές Tier III είναι απαραίτητη η χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα θείου (low sulphur fuel),
- Not installed: σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται scrubber.

Τα επόμενα δύο πεδία αφορούν μόνο τους κινητήρες διπλού καυσίμου, το πρώτο είναι το Pilot oil fraction, στο οποίο πρέπει να συμπληρωθεί το ποσοστό % του πιλοτικού καυσίμου για τη λειτουργία της μηχανής σε LFF mode (low flashpoint fuel). Το δεύτερο πεδίο που αφορά τους κινητήρες διπλού καυσίμου είναι το Gas tuning method. Σε αυτό το πεδίο υπάρχουν δύο διαθέσιμες επιλογές:

- Standard: για κινητήρες όπου η κατανάλωση σε μαζούτ και LFF mode είναι η ίδια,
- Gas optimized: για κινητήρες όπου το LFF mode είναι βελτιστοποιημένο για την κατανάλωση καυσίμου.

Αφού γίνουν οι παραπάνω επιλογές από το χρήστη στη συνέχεια θα πρέπει να επιλέξει το σύστημα ψύξης, συγκεκριμένα στο πεδίο Cooling system θα πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ Fresh water και Sea water. Στην επιλογή Fresh water το ψυγείο της μηχανής (air cooler) χρησιμοποιεί γλυκό νερό ενώ στην επιλογή Sea water το νερό που χρησιμοποιείται στο ψυγείο είναι θαλασσινό.

Η επόμενη επιλογή αφορά τον τύπο της προπέλας και συγκεκριμένα:

- FPP (fixed pitch propeller): δηλαδή προπέλα σταθερού βήματος,
- CPP (controllable pitch propeller): για προπέλα μεταβλητού βήματος.

Η επόμενη επιλογή αφορά το σημείο λειτουργίας του κινητήρα, Engine layout:

- SMCR speed: Specified Maximum Continuous Rating της μηχανής σε rpm, δηλαδή μέγιστη συνεχής ισχύ σε στροφές,

- SMCR power: Specified Maximum Continuous Rating της μηχανής σε kW, μέγιστη συνεχής ισχύς σε kW,
- NCR: Nominal Continuous Rating, ως ποσοστό του SMCR το οποίο θα κυμαίνεται από 50% έως 100%,
- NCR power: Nominal Continuous Rating σε kW.

Τα επόμενα δύο πεδία αφορούν το σύστημα λίπανσης, Hydraulic system oil και Turbocharger lubrication. Και για τα δύο αυτά πεδία οι επιλογές είναι ίδιες, common και separate. Για το πεδίο Hydraulic system oil, το common σημαίνει ότι το σύστημα λίπανσης του υδραυλικού συστήματος είναι ενοποιημένο με το κεντρικό σύστημα λίπανσης, ενώ στο separate τα δύο συστήματα λίπανσης είναι ξεχωριστά. Το ίδιο ισχύει και για το Turbocharger lubrication καθώς στο common, το σύστημα λίπανσης του στροβιλοσυμπιεστή είναι ενοποιημένο με το κεντρικό σύστημα λίπανσης ενώ στο separate αυτά είναι ξεχωριστά.

Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγεί ο τρόπος λειτουργίας των αντλιών, Hydraulic power supply, όπου υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

- Mechanical: δηλαδή οι αντλίες λειτουργούν με αλυσίδα ή με γρανάζια συνδεδεμένα με το στρόφαλο,
- Electrical: δηλαδή οι αντλίες λειτουργούν με ηλεκτρικά μοτέρ.

Στο επόμενο πεδίο το οποίο υπάρχει μόνο μία επιλογή είναι το Cylinder lubrication και η επιλογή είναι η MAN B&W ALPHA, το οποίο είναι το σύστημα λίπανσης των κυλίνδρων που χρησιμοποιεί η MAN σε όλους τους κινητήρες της.

Τέλος υπάρχουν άλλα τρία πεδία, τα οποία είναι τα παρακάτω:

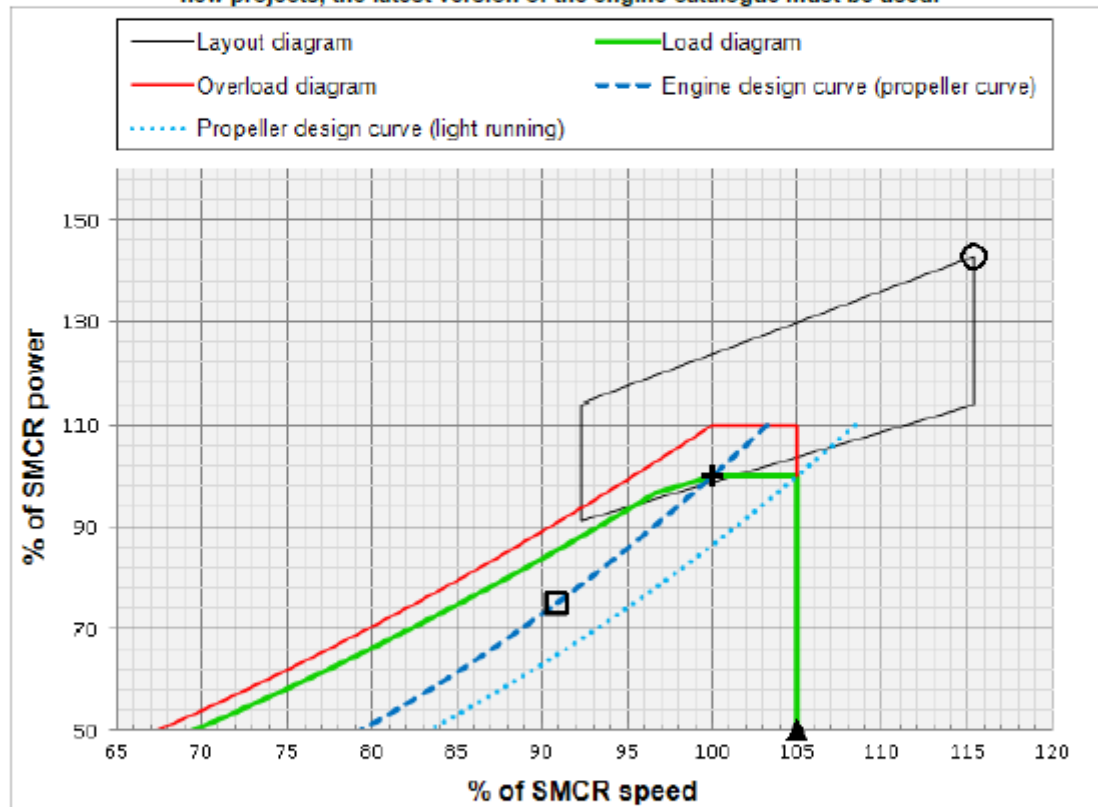
- Custom ambient condition: στο οποίο πρέπει να οριστεί η θερμοκρασία περιβάλλοντος (10-45 °C) και η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού (10-36/32 °C),
- Fuel specification: στο οποίο μπορούν να οριστούν περιεκτικότητες καυσίμου σε θείο εκτός των συνηθισμένων,
- Turbochargers: στο οποίο γίνεται επιλογή του στροβιλοσυμπιεστή που θα χρησιμοποιηθεί στον κινητήρα.

4.2 Αποτελέσματα της εφαρμογής CEAS

Αφού πραγματοποιηθεί η επιλογή όλων των απαραίτητων πεδίων στην εφαρμογή CEAS, δημιουργείται μια τεχνική έκθεση σε μορφή pdf ή σε μορφή excel. Για την παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση μόνο της μορφής pdf, καθώς σε αυτήν υπάρχουν περισσότερες λεπτομέρειες. Παρακάτω θα γίνει μια ανάλυση των βασικών δεδομένων που υπάρχουν σε αυτή την τεχνική έκθεση. Η τεχνική έκθεση σε μορφή pdf έχει έκταση έντεκα σελίδες αν έχει επιλεγεί κινητήρας Tier II και δεκαπέντε σελίδες αν έχει επιλεγεί κινητήρας Tier III. Αρχικά στην πρώτη σελίδα υπάρχει η ονομασία του κινητήρα, το διάγραμμα στρωφών – ισχύς του κινητήρα καθώς και αναλυτικός πίνακας με την ισχύ, την ταχύτητα καθώς και την πίεση του κινητήρα σε κάθε σημείο λειτουργίας (SMCR, NCR κτλ.) όπως φαίνεται παρακάτω,

CEAS Engine Data report 6S60ME-C8.5 HL

DISCLAIMER: This engine has been replaced by a newer and more efficient engine. Data from replaced engines should only be used for comparison and processing existing or repeat orders. For new projects, the latest version of the engine catalogue must be used.



The Light Running Margin (LRM) shown is 5%. Recommended value is 4-7%, for special cases up to 10%. The LRM should be evaluated for each ship project depending on for example: In-service increase of vessel resistance, ship manoeuvring requirements, additional engine load due to power take-out (PTO) and possible requirements related to a barred speed range (short passing time).

Point		Power kW	Speed r/min	MEP bar
+	SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (70.0% of NMCR)	10,000	91.0	16.2
□	NCR: Normal Continuous Rating (75.00% of SMCR)	7,500	82.7	13.4
	Maximum over load (110% of SMCR)	11,000	-	-
▲	Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	95.8	-
○	L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	14,280	105.0	20.0

Further reading: [Basic principles of ship propulsion](#)

Εικόνα 36: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 1 [Πηγή: MAN CEAS]

Στη δεύτερη σελίδα υπάρχουν τα δεδομένα του κινητήρα που επιλέχθηκαν στα αντίστοιχα πεδία,

Report created by
6S60ME-C8.5 HL
SMCR: 10,000 kW at 91.0 r/min, 1 x MAN TCA66-21.



Specified Main Engine and Other Parameters

Specified parameters	
Type of propeller	Fixed pitch propeller
Cooling system	Central water cooling system
Hydraulic control oil system	Common (system oil)
Hydraulic power supply	Mechanical
Cylinder oil lubricator type	Alpha lubricator
Fuel sulphur content for engine design	Low sulphur
Sulphur in fuel (Tier II)	max 0.5% sulphur
NOx emission compliance	Tier II

Turbocharger specifications	
Turbocharger efficiency	High efficiency
Exhaust gas bypass	Without EGB ¹⁾
Number of turbochargers and make/type	1 x MAN TCA66-21
Turbocharger lubricating	Common (system oil)
Exhaust gas scrubber for high sulphur	Not installed
Exhaust back pressure (Tier II)	30 mbar

Εικόνα 37: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 2 [Πηγή: MAN CEAS]

Στην τρίτη σελίδα η οποία είναι και η πιο βασική για τη συγκεκριμένη διπλωματική υπάρχουν τα αποτελέσματα σχετικά με την ειδική κατανάλωση καυσίμου καθώς και ο όγκος των εκπεμπόμενων καυσαερίων, η θερμοκρασία τους και η κατανάλωση αέρα από το στροβιλοσυμπιεστή.

Fuel Consumption and Gas Figures

SFOC	Tier II	
	SMCR g/kWh	NCR g/kWh
ISO	163.3	159.4
Tropical	165.0	161.1
Specified	161.5	157.7

SFOC: Specific Fuel Oil Consumption (LCV: 42,700 kJ/kg)

Exhaust gas amount	Tier II	
	SMCR kg/s	NCR kg/s
ISO	22.9	18.7
Tropical	21.2	17.3
Specified	23.3	19.0

Exhaust gas temperature	Tier II	
	SMCR °C	NCR °C
ISO	225	205
Tropical	258	236
Specified	208	189

Turbocharger air consumption	Tier II	
	SMCR kg/s	NCR kg/s
ISO	22.4	18.4
Tropical	20.7	17.0
Specified	22.8	18.7

ISO, tropical and specified conditions are listed in the References and tolerances section.

Expected lubricating oil consumption

Fuel sulphur	Cylinder oil consumption	Lubricating oil consumption
0.1%-0.5%	minimum 0.6 g/kWh	from negligible to 0.1 g/kWh

Εικόνα 38: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 3 [Πηγή: MAN CEAS]

Στις σελίδες 4 και 5 υπάρχουν στοιχεία για τα περιφερειακά συστήματα της μηχανής όπως το σύστημα λίπανσης και ψύξης, η παροχή λαδιού και η πίεση του και άλλα,

Capacities of Pumps and Coolers

Pump	Flow capacity m ³ /h	Pump head bar
Fuel oil circulation	5.7	6.0
Fuel oil supply	2.7	4.0
Jacket cooling water	70	3.0
Lubricating oil	290	4.0
Central fresh water	230	2.5
Sea water for central cooling	280	2.0

The pump heads stated are for guidance only, and depend on the actual pressure drop across coolers, filters, etc. in the systems. The capacities do not account for any components other than the engine itself.

Flow capacities of cooler(s) on engine	Central water flow m ³ /h
Total flow capacity for scavenge air-coolers(s)	125

Capacities of auxiliary heat exchangers		Central water flow m ³ /h	Heat dissipation kW
Central cooler	Sea water flow	280	5,800
Jacket water cooler	Jacket water flow	70	1,310
Lubricating oil cooler	Oil flow	290	950

All flows are stated as minimum required flows.

The heat capacity of the central cooler (including 5% safety margin) is calculated as the sum of the 100% SMCR heat dissipation from all coolers in the worst case of each of the engine operational modes (fuel type, emission mode and ambient condition).

The heat capacity of the jacket water cooler and lubricating oil cooler (including 10% safety margin) is based on the highest heat dissipation of each of the engine operational modes (fuel type, emission mode and tropical condition).

Pertaining cooling water flow diagram, temperatures, viscosities and pressures for pumps and coolers, see "Engine Project Guide".

Εικόνα 39: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 4 [Πηγή: MAN CEAS]

Capacities of Auxiliary Systems

Air cooler cleaning unit	
Air cooler cleaning tank	0.60 m ³
Capacity of pump	2.0 m ³ /h

Cylinder oil system	
Storage tanks, 2 x 90 days ^{*)}	2 x 23 m ³
Service tanks, 2 x 1 day ^{*)}	2 x 0.3 m ³

^{*)} Based on average feed rate of 0.8 g/kWh.

Fuel oil system	
Distillate marine fuel service tank, 12 h	22.9 m ³
Residual marine fuel settling tanks, 2 x 12 h	2 x 21.4 m ³
Residual marine fuel service tank, 12 h/95 °C	22 m ³
Residual marine fuel separator, 98 °C	2,300 l/h
Distillate marine fuel oil circulation cooler	27 kW
Fuel oil pre-heater	79 kW

Lubricating oil system	
Storage tanks, 2 x 90 days	2 x 4.1 m ³
Separator, 90 °C	1,940 l/h
Recommended lubricating oil bottom tank ^{*)}	18 m ³

^{*)} Based on an oil circulation rate between 15 and 18, above calculation is based on 16.5 times per hour.

Miscellaneous	
Jacket water expansion tank ^{*)}	10 %
Recommended engine room ventilation flow ^{**)}	40 m ³ /s
Motor rating, auxiliary blowers	2 x 56 kW

^{*)} Jacket water expansion tank volume given in percent of the total jacket water volume.

^{**)} This air flow is given as 200% of the main engine combustion air flow. Besides the combustion air flow (100%), it includes cooling air for main engine radiation heat (50%), an estimate of combustion air for gensets/boilers and cooling air for their radiation heat (25%) and an estimate of radiated heat from other equipment (25%). Please check with ISO 8861:1998(E) for details.

Starting air system, 30 bar ^{*)}	
Receiver volume (12 starts)	2 x 5.0 m ³
Compressors (total)	300 m ³ /h

^{*)} Compressor capacity is based on ISO 1217 FAD. Starting air system capacities do not include air consumption for ventilation of double wall pipe or Tier III air consumers. An assessment is to be performed to determine whether the above needs to be increased.

Various drain tanks	
Stuffing box drain tank	0.30 m ³
Scavenge air drain tank	0.50 m ³

Εικόνα 40: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 5 [Πηγή: MAN CEAS]

Στην επόμενη σελίδα οι διαστάσεις του κινητήρα καθώς και τα απαιτούμενα ύψη έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η επισκευή του κινητήρα.

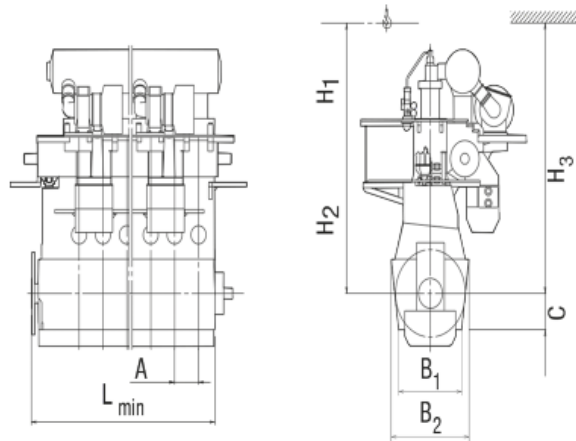
Engine Dimensions, Masses and Overhaul Heights

Dimensions	
A: Cylinder distance	1,020 mm
B1: Width of bedplate at foot flange	3,770 mm
B2: Width of bedplate at top flange	3,840 mm
C: Distance from foot to crankshaft	1,300 mm
L min: Minimum length of engine	7,688 mm

Overhaul heights	
H1: Normal lifting procedure	10,800 mm
H2: Reduced height lifting procedure	10,000 mm
H3: Tilted lifting with double jib crane	9,775 mm

Crane capacities	
Normal lifting procedure	4.0 t
With electrical double jib crane	2 x 2.0 t

Masses	
Mass of main engine, dry	350 t
Mass of water and oil in engine	3.1 t

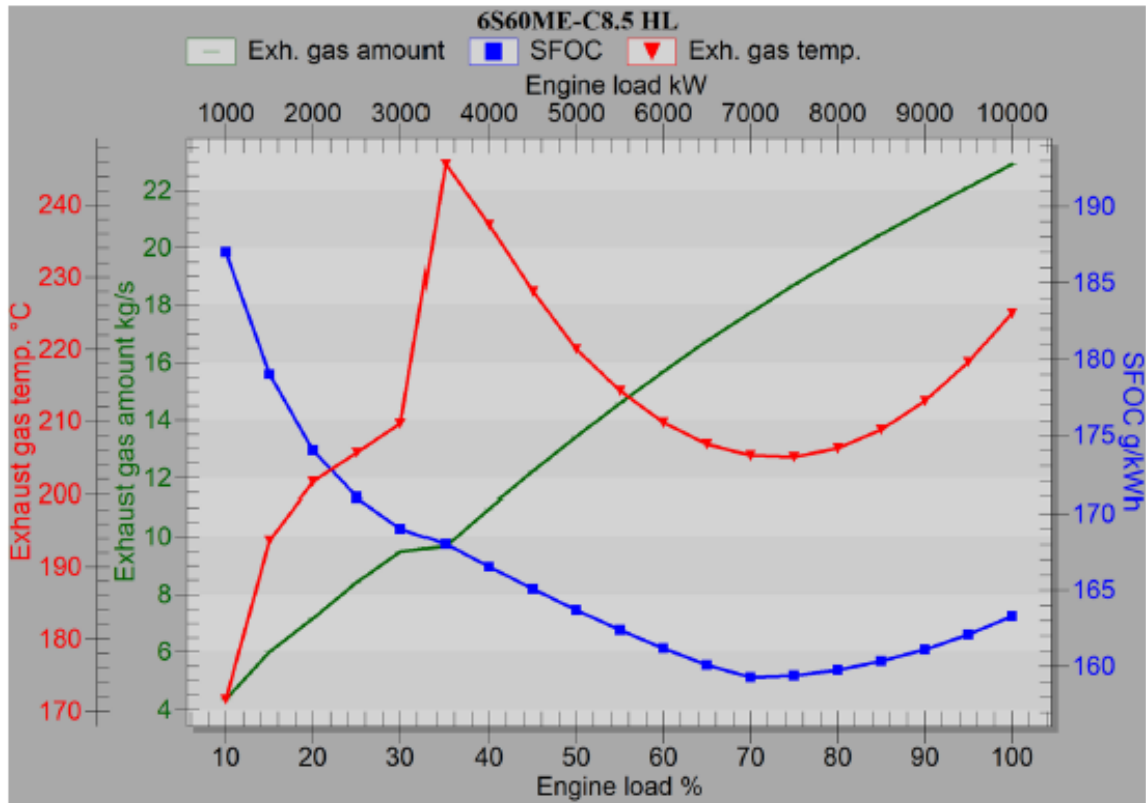


The real engine length at crankshaft centreline level may be larger than the minimum length of the engine, as it depends on the vibration conditions of the main engine and shaft system, i.e. on whether a vibration damper and/or moment compensator needs to be installed. Indicated values are for guidance only and are not binding.

Εικόνα 41: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 6 [Πηγή: MAN CEAS]

Αν έχει επιλεγεί κινητήρας Tier II, στις σελίδες 7 έως 9 υπάρχουν αναλυτικά η κατανάλωση καυσίμου, ο όγκος των καυσαερίων, η θερμοκρασία των καυσαερίων η παραγωγή ατμού, καθώς και θερμοκρασίες και ισχύς διαφόρων συστημάτων σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα και όχι μόνο στο SMCR ή στο NCR που είδαμε προηγουμένως. Αν έχει επιλεγεί κινητήρας Tier III τα παραπάνω δεδομένα υπάρχουν στις σελίδες 7 έως 12 καθώς αναγράφονται αποτελέσματα σε λειτουργία του κινητήρα και σε Tier II mode και σε Tier III mode.

Fuel Consumption and Exhaust Gas Data Fuel Oil, Tier II mode



ISO ambient conditions (ambient air: 25 °C, scavenge air coolant: 25 °C)

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ^{*)} °C	Steam ^{**)} kg/h
100	10,000	91.0	163.3	22.9	225	1,290
95	9,500	89.5	162.1	22.1	218	1,110
90	9,000	87.9	161.1	21.3	213	960
85	8,500	86.2	160.3	20.5	209	850
80	8,000	84.5	159.8	19.6	206	780
75	7,500	82.7	159.4	18.7	205	730
70	7,000	80.8	159.3	17.7	205	700
65	6,500	78.8	160.1	16.7	207	700
60	6,000	76.8	161.2	15.7	210	720
55	5,500	74.6	162.4	14.6	214	750
50	5,000	72.2	163.7	13.4	220	800
45	4,500	69.7	165.1	12.2	228	860
40	4,000	67.0	166.5	11.0	237	910
35	3,500	64.1	168.0	9.7	246	930
30	3,000	60.9	169.0	9.5	210	490
25	2,500	57.3	171.0	8.4	206	400
20	2,000	53.2	174.0	7.2	202	310
15	1,500	48.4	179.0	6.0	194	190
10	1,000	42.2	187.0	4.4	172	0

Εικόνα 42: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 7 [Πηγή: MAN CEAS]

Fuel Consumption and Exhaust Gas Data Fuel Oil, Tier II mode

Tropical ambient conditions (ambient air: 45 °C, scavenge air coolant: 36 °C)

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ^{*)} °C	Steam ^{**)} kg/h
100	10,000	91.0	165.0	21.2	258	1,850
95	9,500	89.5	163.8	20.5	250	1,880
90	9,000	87.9	162.8	19.7	245	1,540
85	8,500	86.2	162.0	19.0	240	1,420
80	8,000	84.5	161.5	18.2	238	1,330
75	7,500	82.7	161.1	17.3	236	1,280
70	7,000	80.8	161.0	16.4	236	1,220
65	6,500	78.8	161.8	15.5	238	1,200
60	6,000	76.8	162.9	14.5	241	1,190
55	5,500	74.6	164.1	13.5	246	1,200
50	5,000	72.2	165.4	12.4	252	1,220
45	4,500	69.7	166.8	11.3	261	1,250
40	4,000	67.0	168.3	10.2	271	1,270
35	3,500	64.1	169.8	9.0	280	1,250
30	3,000	60.9	170.8	8.8	241	810
25	2,500	57.3	172.8	7.8	237	690
20	2,000	53.2	175.9	6.6	233	570
15	1,500	48.4	180.9	5.6	224	420
10	1,000	42.2	189.0	4.0	201	160

Specified ambient conditions (ambient air: 15 °C, scavenge air coolant: 10 °C)

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ^{*)} °C	Steam ^{**)} kg/h
100	10,000	91.0	161.5	23.3	208	910
95	9,500	89.5	160.3	22.5	201	750
90	9,000	87.9	159.3	21.6	196	620
85	8,500	86.2	158.6	20.8	192	520
80	8,000	84.5	158.0	19.9	190	450
75	7,500	82.7	157.7	19.0	189	410
70	7,000	80.8	157.5	18.0	189	400
65	6,500	78.8	158.3	17.0	190	410
60	6,000	76.8	159.4	15.9	193	440
55	5,500	74.6	160.6	14.8	197	490
50	5,000	72.2	161.9	13.6	203	550
45	4,500	69.7	163.3	12.4	211	620
40	4,000	67.0	164.7	11.1	220	690
35	3,500	64.1	166.2	9.8	228	720
30	3,000	60.9	167.2	9.6	193	290
25	2,500	57.3	169.1	8.6	189	220
20	2,000	53.2	172.1	7.3	185	140
15	1,500	48.4	177.0	6.1	178	0
10	1,000	42.2	185.0	4.4	156	0

Comments / details:

SFOC: Specific Fuel Oil Consumption (LCV: 42,700 kJ/kg)
Loads below 50% are associated with larger tolerances.

*) Mixed exhaust gas temperature after turbocharger.

**) Guiding steam production capacity at 7.0 bar(a) with variable pinch point temperature, matched to 15°C at 85% load in Tier II and ISO. Contact boiler maker for actual steam production.

Εικόνα 43: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 8 [Πηγή: MAN CEAS]

Tables of Capacities - Tier II

1 Engine load (% SMCR)	4 Scavenge air receiver temp. (°C)	7 Lubricating oil heat diss. (kW) +/-10%
2 T/C air consumption (kg/s) +/-5%	5 Scavenge air heat diss. (kW)	8 Condensed water (t/24h)
3 Scavenge air pressure (bara)	6 Jacket water heat diss. (kW) +10/-15%	

Loads below 50% are associated with larger tolerances.

	1	2	3	4	5	6	7	8
ISO ambient conditions (ambient air: 25.0 °C, scavenge air coolant: 25.0 °C)								
100	22.4	3.67	37	3,480	1,180	850	0.0	
95	21.7	3.50	36	3,210	1,140	820	0.0	
90	20.9	3.34	35	2,950	1,090	780	0.0	
85	20.1	3.17	34	2,700	1,050	750	0.0	
80	19.3	3.05	33	2,480	1,000	720	0.0	
75	18.4	2.93	32	2,270	960	680	0.0	
70	17.4	2.75	31	2,010	920	650	0.0	
65	16.5	2.57	30	1,780	870	620	0.0	
60	15.4	2.38	30	1,510	830	590	0.0	
55	14.3	2.20	29	1,280	790	560	0.0	
50	13.2	2.02	28	1,030	740	530	0.0	
45	12.0	1.88	27	820	700	500	0.0	
40	10.8	1.71	26	640	650	470	0.0	
35	9.5	1.58	33	480	610	440	0.0	
30	9.3	1.46	32	390	570	410	0.0	
25	8.3	1.35	32	270	520	380	0.0	

Tropical ambient conditions (ambient air: 45.0 °C, scavenge air coolant: 36.0 °C)								
100	20.7	3.49	48	3,470	1,190	860	34.1	
95	20.0	3.33	47	3,210	1,150	820	33.3	
90	19.3	3.18	46	2,950	1,100	790	32.2	
85	18.6	3.02	45	2,700	1,060	760	30.8	
80	17.8	2.90	44	2,490	1,020	720	29.5	
75	17.0	2.79	43	2,280	970	690	28.1	
70	16.1	2.62	42	2,020	930	660	25.9	
65	15.2	2.44	41	1,770	880	630	23.6	
60	14.3	2.27	41	1,520	840	600	21.2	
55	13.3	2.09	40	1,280	790	570	18.7	
50	12.2	1.92	39	1,050	750	540	16.1	
45	11.1	1.77	38	840	710	510	13.6	
40	10.0	1.63	37	660	660	480	11.2	
35	8.8	1.50	44	500	620	450	8.8	
30	8.6	1.39	43	410	570	420	7.5	
25	7.7	1.28	43	290	530	380	5.4	

Specified ambient conditions (ambient air: 15.0 °C, scavenge air coolant: 10.0 °C)								
100	22.8	3.66	22	3,520	1,170	840	4.9	
95	22.0	3.50	21	3,260	1,120	810	4.8	
90	21.2	3.34	20	3,000	1,080	770	4.7	
85	20.4	3.17	19	2,750	1,040	740	4.5	
80	19.6	3.05	18	2,530	990	710	4.4	
75	18.7	2.93	17	2,320	950	680	4.2	
70	17.7	2.75	16	2,060	910	650	3.8	
65	16.7	2.57	15	1,810	860	620	3.4	
60	15.7	2.38	15	1,560	820	590	3.0	
55	14.6	2.20	14	1,310	780	560	2.6	
50	13.4	2.02	13	1,080	730	530	2.2	
45	12.2	1.88	12	870	690	500	1.8	
40	11.0	1.71	11	680	650	470	1.4	
35	9.7	1.58	18	520	600	440	1.0	
30	9.5	1.46	17	430	560	410	0.8	
25	8.4	1.35	17	310	520	380	0.4	

Εικόνα 44: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 9 [Πηγή: MAN CEAS]

Στις δύο τελευταίες σελίδες υπάρχουν τα επίπεδα θορύβου και δονήσεων που δημιουργούνται από τον κινητήρα και κάποια γενικά στοιχεία για τον κινητήρα.

Typical Noise and Vibration Levels

SMCR

Octave band centre freq. in Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Avg.	Avg.	Max.
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(lin)	dB(A)	dB(A)
A) Exhaust gas noise	121.4	115.9	108.2	103.7	102.0	97.6	86.7	76.8	68.4	122.7	103.0	-
B) Spatial noise, standard NR	96.4	95.6	96.3	95.8	96.1	97.4	97.6	92.5	84.5	105.2	102.6	107.8
C) Spatial noise, additional NR	96.4	94.6	93.9	94.1	94.2	95.5	95.4	87.8	80.8	103.5	100.3	104.6
D) Structure borne vibrations	75.3	73.2	70.3	68.6	66.1	60.4	54.1	46.0	39.5	-	-	-

NCR (75.00% of SMCR)

Octave band centre freq. in Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Avg.	Avg.	Max.
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(lin)	dB(A)	dB(A)
A) Exhaust gas noise	118.2	112.4	104.9	101.1	99.0	94.0	83.1	73.2	65.2	119.5	99.8	-
B) Spatial noise, standard NR	94.1	93.7	94.1	93.5	93.6	94.2	92.7	87.1	81.1	102.4	98.6	102.6
C) Spatial noise, additional NR	94.0	92.3	91.9	91.8	91.7	92.2	90.4	82.5	77.4	100.7	96.4	99.4
D) Structure borne vibrations	73.0	70.7	67.8	66.4	63.3	57.6	51.0	43.0	36.7	-	-	-

A) Sound pressure levels from exhaust gas system (2×10^{-5} Pa).

The expected sound pressure level at 1 metre from the edge of the exhaust gas pipe opening at an angle of 30 degrees to the direction of the gas flow and valid for a normal exhaust gas system - but without a boiler and silencer.

B) Airborne sound pressure levels - with standard noise reduction (NR) countermeasures (2×10^{-5} Pa).

Expected mean sound pressure octave spectrum levels, i.e. the average spatial noise values at a distance of 1 metre from the engine. Prescribed measuring surface area is 403.8 m².

C) Air-borne sound pressure levels - with additional noise reduction (NR) countermeasures (2×10^{-5} Pa).

Expected mean sound pressure octave spectrum levels, i.e. the average spatial noise values at a distance of 1 metre from the engine. Prescribed measuring surface area is 403.8 m².

Additional noise reduction countermeasures, e.g.:

- Extra good turbocharger air intake silencer(s)
- External sound insulation of scavenge air receiver
- External sound insulation of scavenge air cooler(s).

Supplementary reduction of 0.0 dB is needed.

Other additional noise reduction countermeasures are also available. The noise figures given are in accordance with the CIMAC recommendations for measurements of the overall noise for reciprocating engines. The average levels will, depending on the actual engine room configuration, be 1-5 dB higher when the engine is installed in the engine room.

D) Structure borne vibration levels (5×10^{-8} Pa).

Expected mean velocity octave spectrum levels at the engine base plate as installed on board the ship. Based on an average engine foundation of a ship, and may only be used as a rough estimate as the velocity levels will depend on the actual foundation used. If the vibration velocity levels are referred to 10⁻⁹ m/s instead of 5x10⁻⁸ m/s, the calculated dB figures will be 34.0 dB higher than above stated.

Εικόνα 45: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 10 [Πηγή: MAN CEAS]

Reference Data

Ambient condition	Scavenge air coolant temp. ^{*)} °C	Ambient air temp. °C	Rel. air humidity %	Barometric pressure mbar
ISO ^{**)}	25	25	30	1,000
Tropical	36	45	60	1,000
Specified	10	15	60	1,000

*) With a central cooling system, the sea water will be 4 °C lower than these temperatures.

**) Refers to ISO 3046-1 2002(E) and ISO 15550:2016(E).

Tolerances	
Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) tolerance at SMCR	+/- 5%
Exhaust gas amount tolerance	+/- 5%
Exhaust gas temperature tolerance	+/- 15°C

Guarantee point	
Guarantee point (same as NCR)	75.00% of SMCR
Guarantee point SFOC tolerance	6%

Values for EEDI	
Engine type	6S60ME-C8.5 HL
SMCR power	10,000 kW
SMCR RPM	91.0 r/min
Ambient condition	ISO
Reference LCV of fuel oil	42,700 kJ/kg
Fuel Oil mode	
SFOC at SMCR	163.3 g/kWh
SFOC at 75% SMCR	159.4 g/kWh
SFOC at 75% SMCR incl. 6% tolerance	169.0 g/kWh

CEAS ID for Design Specification Order (DSO)
bc57a26f-bfeb-4ec6-a400-47817bd49913

This ID must be used by an MAN-ES licensee when creating a DSO.

Εικόνα 46: Τεχνική έκθεση MAN CEAS, σελίδα 11 [Πηγή: MAN CEAS]

4.3 Ονοματολογία κινητήρων της MAN

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε μια ανάλυση των διάφορων επιλογών που υπάρχουν για έναν κινητήρα της MAN. Ανάλογα με κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά που επιλέγονται για τον κινητήρα αλλάζει και ο κωδικός ονομασίας του. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια επεξήγηση των αριθμών και των γραμμάτων που μπορεί να έχει ο κωδικός ονομασίας ενός κινητήρα της MAN.

Ένα παράδειγμα ονομασίας κινητήρα της MAN είναι το **12S90ME-C10.X**, αρχικά το πρώτο νούμερο, στη συγκεκριμένη περίπτωση το 12 είναι ο αριθμός των κυλίνδρων

του κινητήρα. Η MAN έχει στη γκάμα της κινητήρες με 5 έως 12 κυλίνδρους. Ο δεύτερος χαρακτήρας είναι το S το οποίο σημαίνει Super long, αντί για S μπορεί να υπάρχει K ή L ή G. Το K σημαίνει Short, το L σημαίνει Long και το G σημαίνει Green ή Ultra long. Το γράμμα αυτό έχει να κάνει με το λόγο διαδρομής του εμβόλου προς τη διάμετρο του εμβόλου και συγκεκριμένα αν στην ονομασία του κινητήρα υπάρχει το γράμμα K (short) τότε ο λόγος $\frac{S(stroke)}{B(bore)}$ είναι 2.8. Αν υπάρχει το γράμμα L (long) τότε $\frac{S}{B} = 3.2$, αν υπάρχει το S ισχύει ότι $3.8 \leq \frac{S}{B} \leq 4.0$ και αν υπάρχει το G τότε $\frac{S}{B} > 4.0$.

Το επόμενο νούμερο όπου στην περίπτωση αυτή είναι το 90 είναι η διάμετρος του εμβόλου δηλαδή 90cm. Η MAN έχει κινητήρες με διάφορες διαμέτρους εμβόλων από 35cm έως και 95cm. Στη συνέχεια υπάρχουν δύο γράμματα τα ME, όπου εναλλακτικά αντί για ME μπορεί να υπάρχει το MC. Η διαφορά μεταξύ του C και του E είναι ότι το C προέρχεται από το mechanical και υποδεικνύει ότι κάποιες λειτουργίες του κινητήρα γίνονται με μηχανικό τρόπο, ενώ αντίθετα το E προέρχεται από το electronic και σημαίνει ότι οι λειτουργίες του κινητήρα γίνονται ηλεκτρονικά, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής, αυτές είναι και οι λεγόμενες ηλεκτρονικές μηχανές. Στη συνέχεια υπάρχει το γράμμα C ή μπορεί να υπάρξει το γράμμα B, την διαφορά μεταξύ αυτών των δύο γραμμάτων την είδαμε και στο πεδίο πεδίο Engine category της ενότητας (4.2).

Το επόμενο νούμερο, το οποίο στην περίπτωσή μας είναι το 10 μας δείχνει τη γενιά του κινητήρα και το X είναι και αυτός ένας αριθμός ο οποίος μας δείχνει την έκδοση του κινητήρα.

Επομένως ανάλογα με τα χαρακτηριστικά ο κάθε κινητήρας έχει μια συγκεκριμένη ονομασία από την οποία μπορεί να γίνει κατανοητό για τι είδους κινητήρα πρόκειται.

Κεφάλαιο 5: Μελέτη επιλογής κινητήρα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το κύριο αντικείμενο μελέτης είναι η σύγκριση και τελικά η επιλογή του βέλτιστου κινητήρα για ένα συγκεκριμένο πλοίο. Η σύγκριση έγινε μεταξύ διαφορετικών κινητήρων της MAN δίνοντας έμφαση στην κατανάλωση του κάθε κινητήρα (SFOC) σε δύο σημεία λειτουργίας του, στο SMCR και στο NCR. Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης προέκυψαν από την εφαρμογή της MAN, CEAS και συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λειτουργικό AMESIM Simcenter.

5.1 Χαρακτηριστικά πλοίου

Το πλοίο το οποίο επιλέχθηκε για να γίνει η συγκεκριμένη μελέτη είναι ένα bulk carrier κατηγορίας Kamsarmax. Πρόκειται για μια κατηγορία πλοίου η οποία υπάρχει στις περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες στις μέρες μας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μπορούν τα πλοία να εισέρχονται στο λιμάνι Kamsar, το οποίο βρίσκεται στη δημοκρατία της Γουινέας, το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό κέντρο για το παγκόσμιο εμπόριο βωξίτη. Επίσης ένα ακόμα θετικό που έχει η συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων είναι το γεγονός ότι το μέγεθος τους είναι λίγο μεγαλύτερο από τα πλοία της κατηγορίας Panamax, κάτι το οποίο προσδίδει στα πλοία μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα.

Τα πλοία Kamsarmax έχουν μήκος 229 με 230 μέτρα, πλάτος από 32 έως 33 μέτρα και μέγιστο βύθισμα περίπου 20 μέτρα. Το DWT κυμαίνεται από 80000 έως 82000 τόνους περίπου και μερικά από τα πιο συνηθισμένα φορτία που μεταφέρονται σε τέτοια πλοία είναι το σιδηρομέταλλευμα (iron ore), κάρβουνο, σιτηρά, βωξίτης, λιπάσματα, ορυκτά, τσιμέντο και πολλά άλλα.

Τα πλοία κατηγορίας Kamsarmax είναι εφοδιασμένα με κινητήρες όπου η ιπποδύναμή τους κυμαίνεται από 7500 kW έως και 10000 kW. Με αυτούς τους κινητήρες τα πλοία μπορούν να ταξιδεύουν με ταχύτητες που κυμαίνονται από 13 έως και 15 κόμβους έχοντας ταχύτητα κινητήρα από 79 έως 97 rpm.

5.2 Επιλογή κινητήρα

Αναζητώντας τα Kamsarmax τα οποία υπάρχουν σήμερα σε πολλές ναυτιλιακές, ο πιο συνηθισμένος κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιείται σε αυτά τα πλοία είναι ο 6S60, ο οποίος λειτουργεί σε ένα εύρος ιπποδύναμης και στροφών, επομένως αυτός είναι και ο πρώτος κινητήρας στον οποίο θα μελετηθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Αρχικά θα πρέπει να κάνουμε κάποιες παραδοχές έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι κάτω από τις ίδιες συνθήκες και να μπορεί να γίνει η σύγκριση τους.

Παραδοχές για MAN CEAS

- 1) Στο πεδίο Catalogue όπου υπάρχουν οι επιλογές Official και Replaced, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή replaced για υπολογισμούς σε παλαιότερους κινητήρες οι οποίοι υπάρχουν σήμερα σε κάποια πλοία αλλά και κινητήρες από την επιλογή official οι οποίοι είναι οι πιο πρόσφατοι κινητήρες που έχει κατασκευάσει η MAN και χρησιμοποιούνται σε νεότευκτα πλοία σήμερα,
- 2) Το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι Low sulphur με περιεκτικότητα σε θείο 0.5% για κινητήρες Tier II και 0.1% για κινητήρες Tier III και επομένως δεν απαιτείται η χρήση scrubber,
- 3) Η θερμοκρασία του αέρα (Air temperature) θα είναι για όλους τους κινητήρες 20 °C και η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού θα είναι 15 °C.

Παραδοχές για AMESIM Simcenter

- 1) Για τη σχεδίαση του κινητήρα στο AMESIM χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο ένα ενδεικτικό σχέδιο κινητήρα το οποίο υπάρχει μέσα στο AMESIM ως Demo. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρότυπο κινητήρα και τροποποιώντας όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά κατασκευάστηκαν όλοι οι κινητήρες όπου θα συγκριθούν παρακάτω,
- 2) Το λειτουργικό AMESIM Simcenter κατά την σχεδίαση ενός κινητήρα παρέχει πολλές επιλογές γύρω από τη γεωμετρία των εξαρτημάτων. Πολλά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται στο AMESIM για έναν κινητήρα δεν είναι διαθέσιμα από τη MAN καθώς τα σχέδια των κινητήρων δεν είναι

προσβάσιμα, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο σχεδιασμός του κινητήρα όπως αυτός είναι στην πραγματικότητα. Για το λόγο αυτό πολλές διαστάσεις στο AMESIM επιλέχθηκαν με εμπειρικό τρόπο και με διαδοχικές δοκιμές, επομένως οι διαφορές στα μεγέθη του κινητήρα στο AMESIM και του πραγματικού κινητήρα μπορεί να επηρεάσουν και την απόδοση του. Δηλαδή είναι αρκετά πιθανό να υπάρχουν αποκλίσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων οι οποίες να οφείλονται στις διαφορές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών,

- 3) Ο χημικός τύπος του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε είναι $C_{16}H_{34}$ με LCV (lower calorific value) 42700 kJ/kg , το οποίο χρησιμοποιεί και η εφαρμογή MAN CEAS,

5.2.1 Κινητήρας 6S60

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο πρώτος κινητήρας που θα μελετηθεί είναι ο 6S60 καθώς αποτελεί τον βασικό κινητήρα τον οποίο χρησιμοποιούν τα περισσότερα Kamsarmax σήμερα, και συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί μια από τις παλαιότερες εκδόσεις αυτού του κινητήρα καθώς αυτή συναντιέται στα πλοία.

5.2.1.1 MAN CEAS – 6S60

Για τον κινητήρα 6S60 θα οριστεί ισχύς 10000 kW και 91 rpm, καθώς σε αυτά τα σημεία λειτουργούν τα περισσότερα Kamsarmax αυτόν τον κινητήρα και το NCR θα οριστεί στο 75% της πλήρους ισχύς δηλαδή στα 7500 kW. Οι επιλογές κάθε πεδίου στην εφαρμογή MAN CEAS για το συγκεκριμένο κινητήρα είναι οι εξής:

1. Engine configuration

- **Catalogue:** Replaced
- **IMO NO_x compliance level:** Tier III
- **Fuel injection concept:** DI
- **Engine category:** ME
- **Engines:** S60ME-C8.5
- **Cylinders:** 6
- **Turbocharger efficiency:** High
- **Tier III technology:** SCR

- **SCR system:** High pressure
- **Fuel sulphur content:** Low sulphur
- **Scrubber type:** Not installed
- **Cooling system:** Fresh water
- **Propeller type:** FPP
- **SMCR speed:** 91 rpm
- **SMCR power:** 10000 kW
- **NCR:** 75%
- **NCR power:** 7500 kW
- **Hydraulic system oil:** Common
- **Turbocharger lubrication:** Common
- **Hydraulic power supply:** Mechanical
- **Cylinder lubrication:** MAN B&W ALPHA
- **Custom ambient condition:** Air temperature: 20 °C, Scavenge air water coolant temp.: 15 °C.

2. Turbocharger selction

- MAN: 1xTCA66-21

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, (η εφαρμογή MAN CEAS παράγει τα αποτελέσματα σε τρεις συνθήκες: ISO, Tropical και Specified, η διαφορά μεταξύ αυτών των τριών συνθηκών είναι οι θερμοκρασίες που ορίζονται στο πεδίο custom ambient condition. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις θερμοκρασίες που έχουν οριστεί από το χρήστη είναι αυτές που υπάρχουν στο πεδίο specified και αυτές λήφθηκαν υπόψιν ως τελικά αποτελέσματα.)

SMCR: 10000 kW, 91 rpm

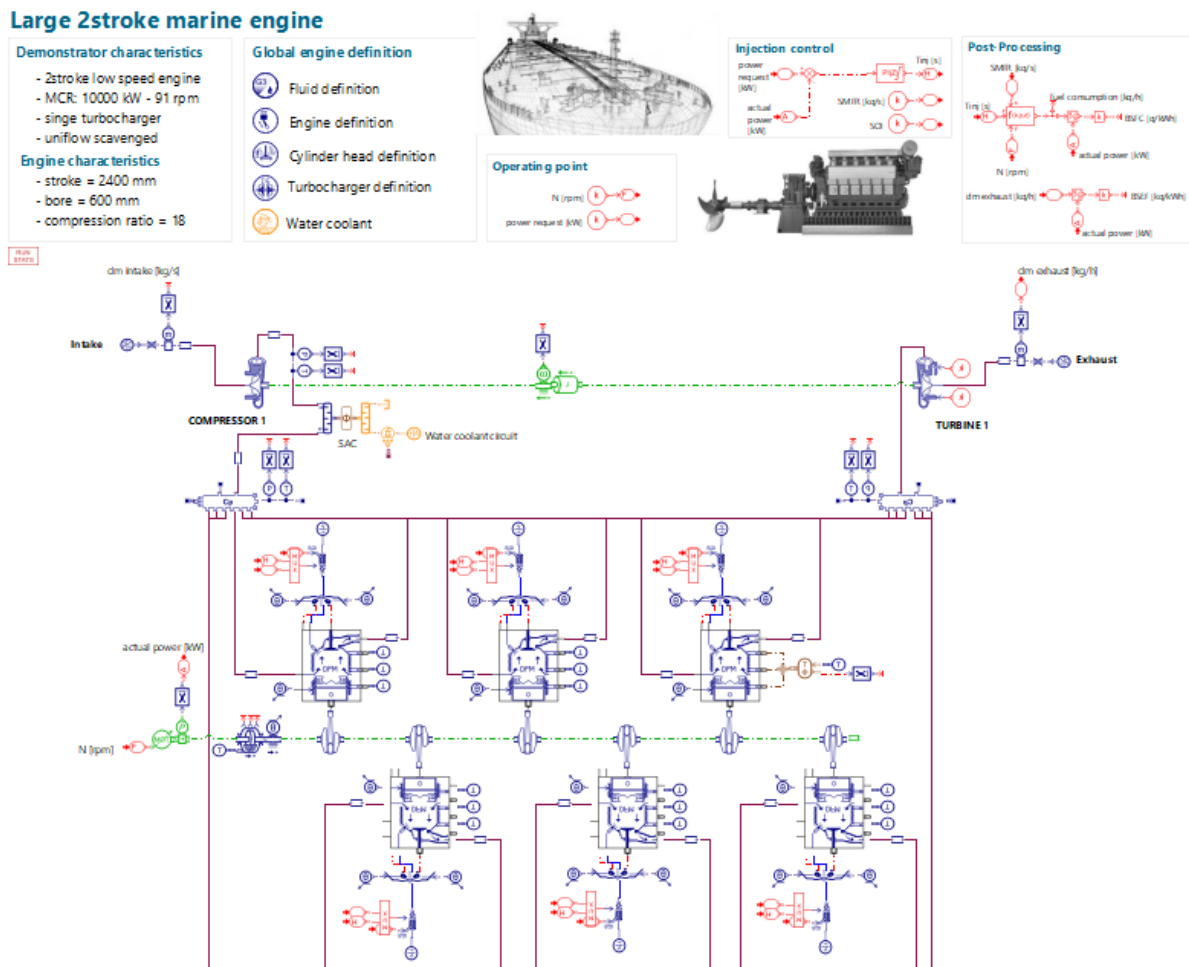
NCR: 7500 kW, 82.7 rpm

6S60	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	164.1	158.8

Πίνακας 4: Αποτελέσματα MAN CEAS για κινητήρα 6S60 [Πηγή: MAN CEAS]

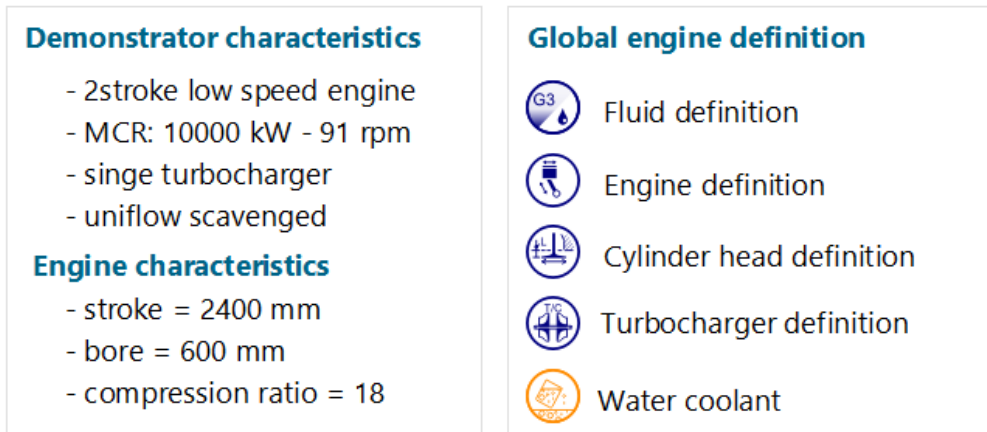
5.2.1.2 AMESIM Simcenter – 6S60

Στο λειτουργικό AMESIM ο κινητήρας 6S60 έχει σχεδιαστεί όπως φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 47: AMESIM Simcenter, κινητήρας 6S60 [Πηγή: Amesim]

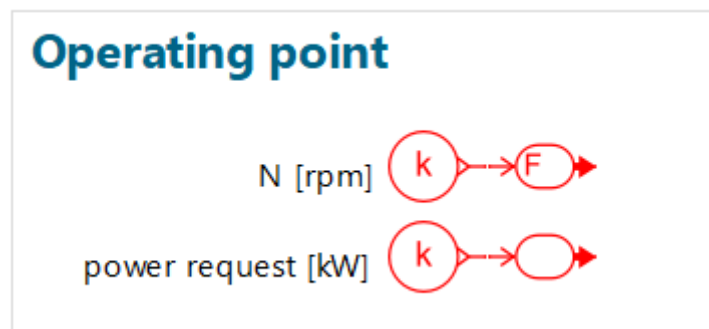
Στο επάνω αριστερό μέρος εμφανίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα όπως το σημείο λειτουργίας, η διαδρομή των εμβόλων και η διάμετρός τους. Δίπλα υπάρχουν τα εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους τα οποία χρειάζονται προκειμένου να λειτουργήσει η προσομοίωση του κινητήρα.



Εικόνα 48: Χαρακτηριστικά του κινητήρα και εξαρτήματα χωρίς εισόδους και εξόδους για κινητήρα 6S60 [Πηγή: Amesim]

Επίσης υπάρχουν και άλλα τρία πεδία, το operating point, το injection control και το post-processing, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του κινητήρα και για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων.

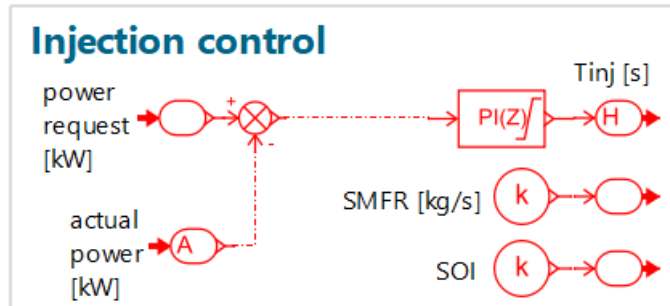
Αρχικά το πεδίο operating point το οποίο φαίνεται παρακάτω χρησιμοποιείται για να οριστεί το σημείο λειτουργίας του κινητήρα.



Εικόνα 49: Operating point [Πηγή: Amesim]

Στο πεδίο N ορίζονται οι στροφές στις οποίες θα λειτουργήσει ο κινητήρας και στο πεδίο power request, ορίζεται η επιθυμητή ισχύς λειτουργίας του κινητήρα.

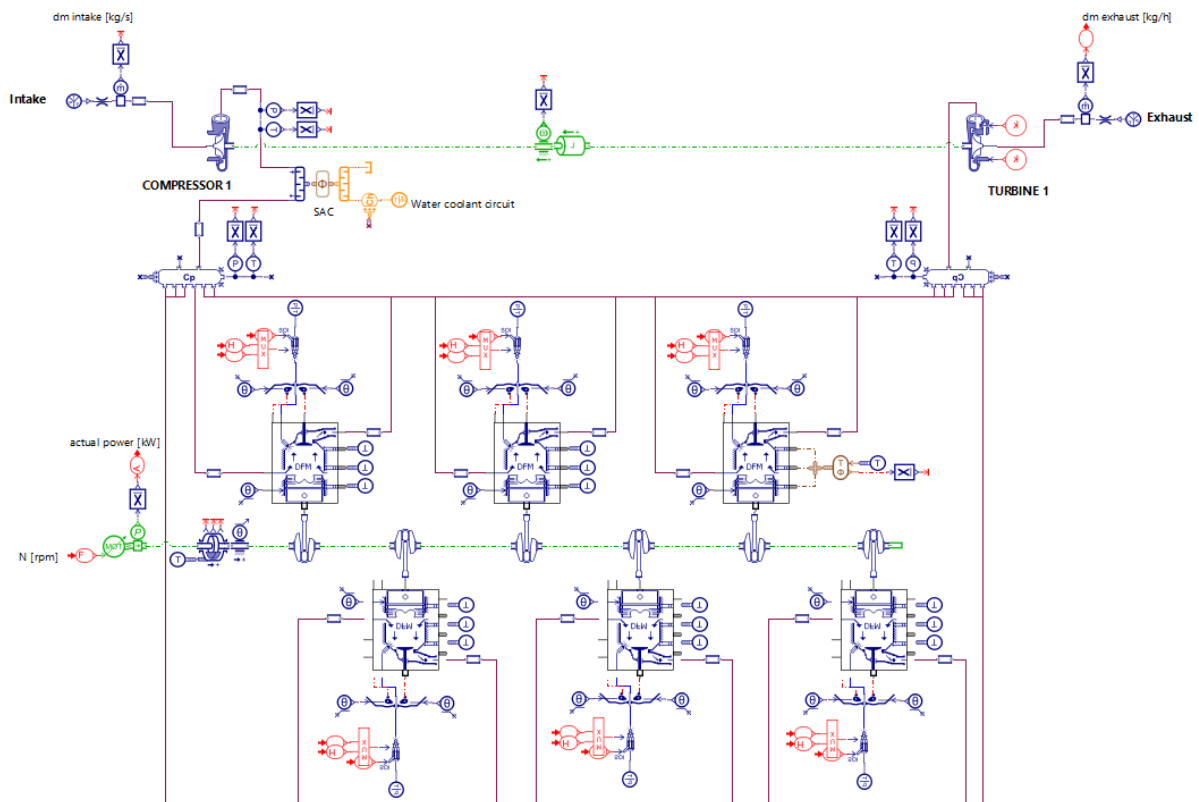
Στο πεδίο injection control πραγματοποιείται η απαραίτητη διεργασία ελέγχου της ισχύς του κινητήρα και στη συνέχεια η προσαρμογή της έγχυσης καυσίμου στον κινητήρα. Δηλαδή γίνεται σύγκριση σε κάθε χρονική στιγμή της παραγόμενης ισχύς του κινητήρα με την απαιτούμενη ισχύ και γίνεται η αντίστοιχη αυξομείωση στο καύσιμο.



Εικόνα 50: Injection control [Πηγή: Amesim]

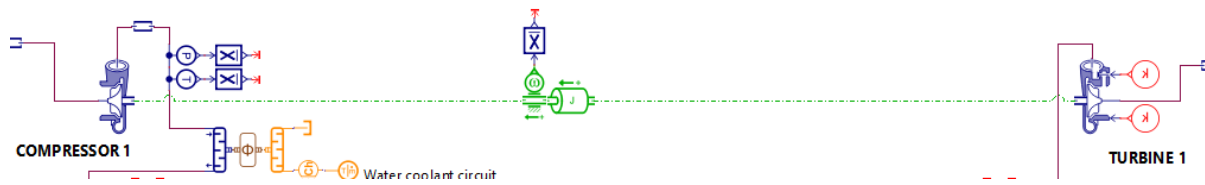
Και το τελευταίο πεδίο είναι αυτό στο οποίο γίνεται η επεξεργασία και τελικά η εμφάνιση των τελικών αποτελεσμάτων. Σε αυτό το πεδίο υπάρχει το BSFC (brake specific fuel consumption) σε g/kWh, δηλαδή η ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα η οποία θα συγκριθεί με τα αποτελέσματα του λειτουργικού MAN CEAS.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο του κινητήρα έχουν τοποθετηθεί 6 κύλινδροι με τα απαραίτητα περιφερειακά εξαρτήματα και ο στροβιλοσυμπιεστής.



Εικόνα 51: Σχέδιο κινητήρα 6S60 [Πηγή: Amesim]

Στο πάνω μέρος υπάρχει ο στροβιλοσυμπιεστής και συγκεκριμένα φαίνεται στα αριστερά ο συμπιεστής (compressor) και δεξιά η τουρμπίνα (turbine).



Εικόνα 52: Σχέδιο στροβιλοσυμπιεστή [Πηγή: Amesim]

Το σχέδιο του κάθε κυλίνδρου είναι αυτό που φαίνεται παρακάτω, στο οποίο υπάρχει ο εγχυτήρας του καυσίμου στο πάνω μέρος, οι εκκεντροφόροι οι οποίοι σε πραγματικούς ναυτικούς κινητήρες μπορεί να μην υπάρχουν, αλλά στο Amesim είναι απαραίτητοι για την προσομοίωση της βαλβίδας εξαγωγής. Επίσης υπάρχει ο διωστήρας ο οποίος ενώνεται με τον στρόφαλο και κάποια άλλα εξαρτήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του μοντέλου στο Amesim, όπως οι αισθητήρες θερμοκρασίας που υπάρχουν στο δεξί μέρος του εμβόλου καθώς και εξαρτήματα που δίνουν το σήμα είτε για το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής είτε για την έγχυση του καυσίμου.

Για όλους τους κινητήρες που θα συγκριθούν έχουν χρησιμοποιηθεί τα ίδια Submodels για όλα τα εξαρτήματα με διαφορετικές παραμέτρους. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί οι ιδιότητες ρευστών για 3 αέρια καθώς στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν γίνεται μελέτη των καυσαερίων.

Για το εξάρτημα των ιδιοτήτων των ρευστών έχει γίνει χρήση του μοναδικού διαθέσιμου Submodel ENGMD02.



Για τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα έχει χρησιμοποιηθεί το Submodel ENGDEF02.



Για τις ιδιότητες των βαλβίδων έχει χρησιμοποιηθεί το Submodel ENGVDEF03.



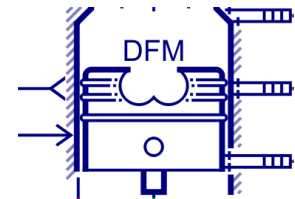
Για τον στροβιλοσυμπιεστή έχει χρησιμοποιηθεί το Submodel ENGTURBODEF01V01.



Και για το ψυκτικό υγρό έχει χρησιμοποιηθεί το Submodel TFFD3_PURE_WATER, το οποίο χρησιμοποιεί ως ψυκτικό υγρό το νερό και λαμβάνει υπόψιν τις αντίστοιχες θερμοδραυλικές ιδιότητες.



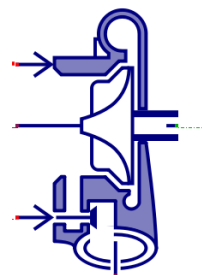
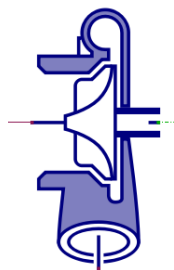
Για τους κυλίνδρους το Submodel που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το ENGDFM2S05



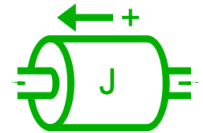
Για το διωστήρα το Submodel που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το ENGCRK51



Και για το στροβιλοσυμπιεστή τα Submodel που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι για το συμπιεστή το ENGCOMP01V01 και για την τουρμπίνα το ENGTURBSS01V01.



Ενώ για την αδράνεια του στροβιλοσυμπιεστή έχει χρησιμοποιηθεί το Submodel RL02.



Οι παράμετροι που έχουν οριστεί για τον κινητήρα 6S60 είναι οι εξής,

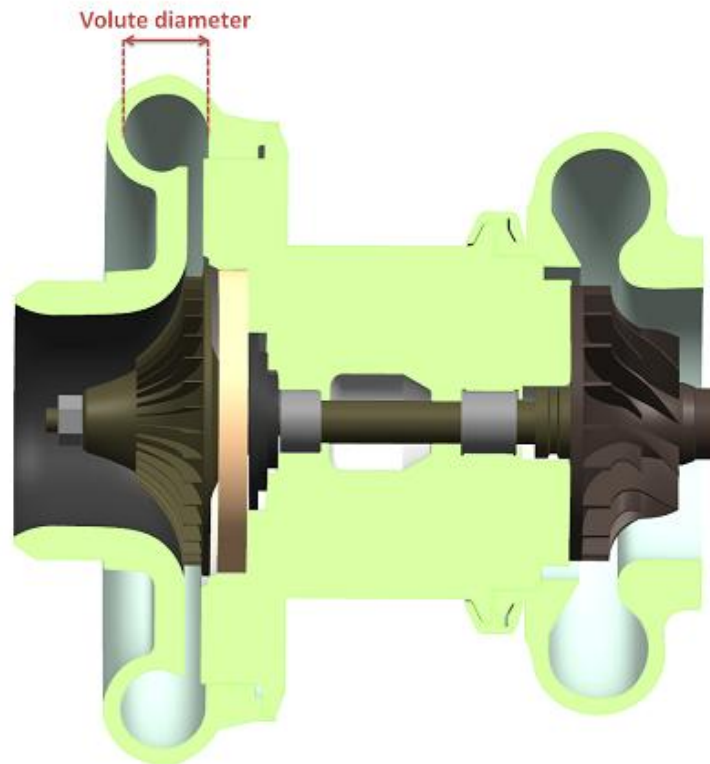
Στο πεδίο engine definition έχει οριστεί ο αριθμός των χρόνων του κινητήρα σε 2, δηλαδή δίχρονος κινητήρας, και για ο αριθμός των κυλίνδρων είναι 6. Η σειρά ανάφλεξης των κυλίνδρων έχει οριστεί ως 1-5-3-6-2-4.

Για τις ιδιότητες των βαλβίδων το μοντέλο της ροής είναι το effective area.

Για το στροβιλοσυμπιεστή στο συγκεκριμένο κινητήρα έχει χρησιμοποιηθεί ο στροβιλοσυμπιεστής TCA66-21, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στροβιλοσυμπιεστή που έχουν οριστεί στο Amesim είναι τα εξής:

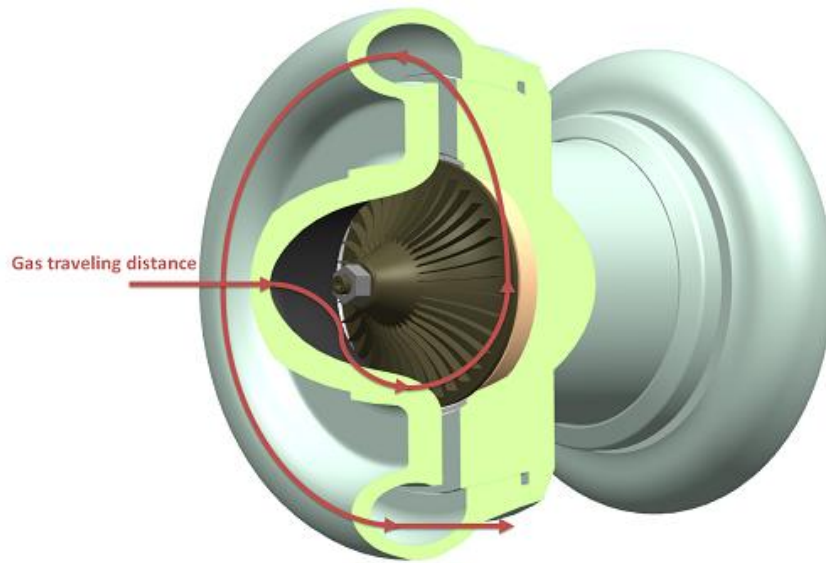
Για το συμπιεστή,

- **Equivalent volute diameter:** 450mm



Εικόνα 53: Volute diameter, στροβιλοσυμπιεστή [Πηγή: Amesim]

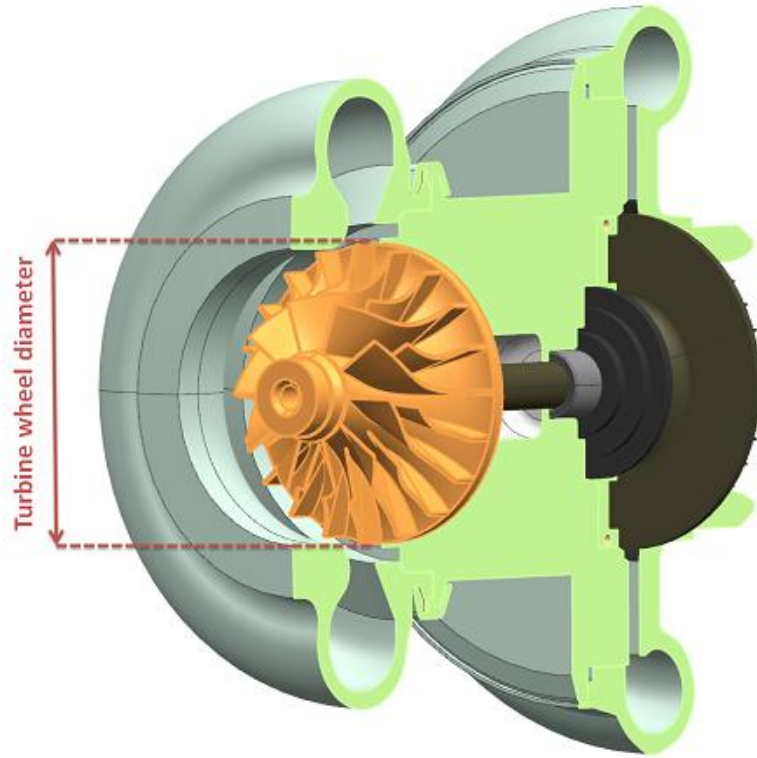
- **Gas traveling distance:** 1500mm



Εικόνα 54: Gas traveling distance, στροβιλοσυμπιεστή [Πηγή: Amesim]

Για την τουρμπίνα,

- **Turbine wheel diameter:** 660mm



Εικόνα 55: Turbine wheel diameter, στροβιλοσυμπιεστή [Πηγή: Amesim]

Ο συγκεκριμένος κινητήρας ανήκει στη σειρά S της MAN, όπου όπως έχει προαναφερθεί στη σειρά S, ο λόγος $\frac{S}{B}$ κυμαίνεται από 3.8 έως 4.0. Έχει θεωρηθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση $\frac{S}{B} = 4.0$, άρα από αυτό το λόγο και ξέροντας ότι η διάμετρος των εμβόλων (B) είναι 600 mm, υπολογίζεται ότι η διαδρομή των εμβόλων (S) είναι 2400 mm. Επομένως οι παράμετροι (global parameters) που έχουν οριστεί στο Amesim για το συγκεκριμένο κινητήρα είναι:

- **Connecting rod length:** 3200 mm
- **Stroke:** 2400 mm
- **Bore:** 600 mm
- **Compression ratio:** 18
- **Cylinder head surface:** 400000 mm²
- **Scavenge pipe diameter:** 2800 mm

- **Scavenge pipe length:** 5000 mm
- **Exhaust valve diameter:** 500 mm
- **Injected fuel temperature:** 130 degC
- **Injection pressure:** 1600 barA
- **Ambient air temperature:** 20 degC
- **Coolant temperature before SAC:** 15 degC

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα ορίστηκε ως χρόνος προσομοίωσης τα 12 δευτερόλεπτα προκειμένου να υπάρχει αρκετός χρόνος έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει ο κινητήρας και να έχουμε ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης του κινητήρα 6S60, τα οποία προέκυψαν από το λειτουργικό Amesim στο SMCR και στο NCR.

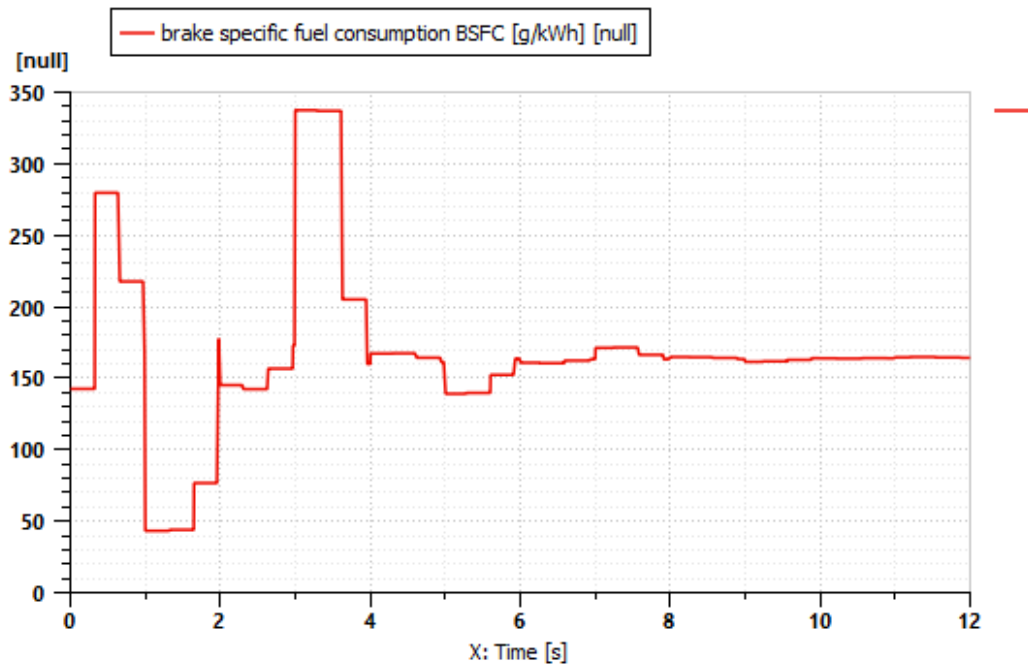
SMCR: 10000 kW, 91 rpm

NCR: 7500 kW, 82.7 rpm

6S60	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	164.22	161.92

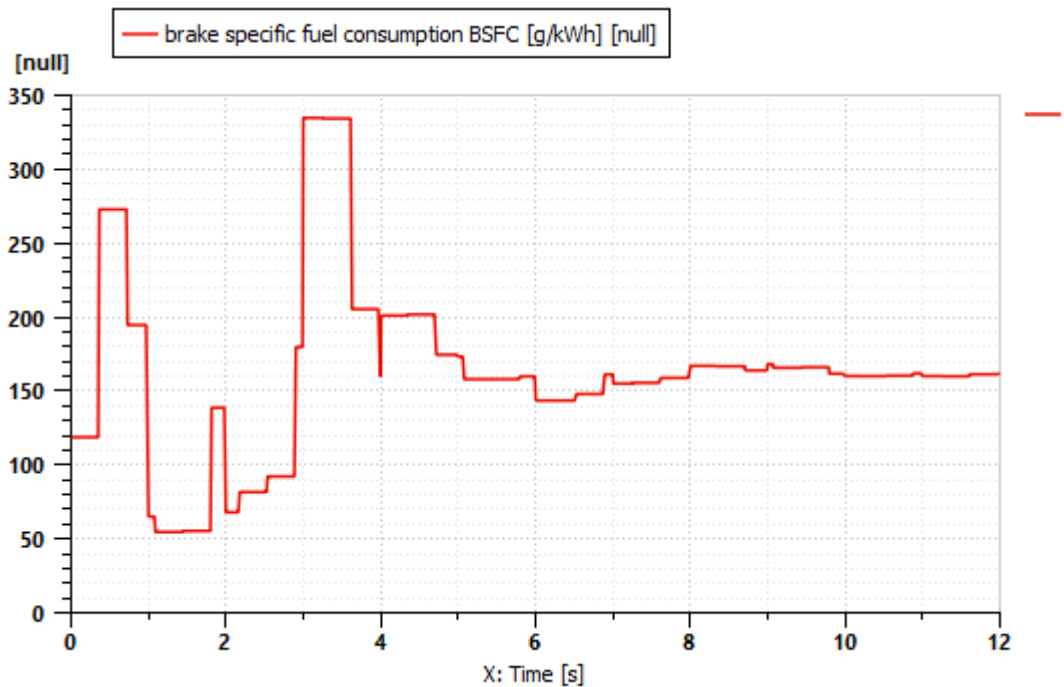
Πίνακας 5: Αποτελέσματα Amesim για κινητήρα 6S60 [Πηγή: Amesim]

Το Amesim παράγει και διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης. Το παρακάτω διάγραμμα είναι για το όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο SMCR.



Εικόνα 56: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεσι του χρόνου προσομοίωσης 6S60 στο SMCR
[Πηγή: Amesim]

Για το NCR το διάγραμμα είναι το παρακάτω



Εικόνα 57: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεσι του χρόνου προσομοίωσης 6S60 στο NCR
[Πηγή: Amesim]

5.2.2 Κινητήρας 6G60

Ο δεύτερος κινητήρας που μελετήθηκε είναι ο 6G60, ο οποίος έχει ίδια χαρακτηριστικά ως προς τον αριθμό των κυλίνδρων και τη διάμετρό τους αλλά η διαφορά είναι ο λόγος $\frac{S}{B}$, καθώς υπάρχει το γράμμα G σε αντίθεση με το S. Σύμφωνα με τη MAN ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι πιο αποδοτικός επομένως έχουμε και μικρότερη κατανάλωση.

5.2.2.1 MAN CEAS – 6G60

Για τον συγκεκριμένο κινητήρα χρησιμοποιήθηκε η τελευταία έκδοση που παράγει η MAN δηλαδή στο πεδίο Catalogue θα επιλεγεί το Official. Ο συγκεκριμένος κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει στις 91rpm με 10000 kW, επομένως το σημείο λειτουργίας θα διαφέρει λίγο σε σύγκριση με τον 6S60, συγκεκριμένα θα οριστεί ως σημείο λειτουργίας 90 rpm και 11230 kW. Παρακάτω εμφανίζονται όλες οι επιλογές για το συγκεκριμένο κινητήρα.

1. Engine configuration

- **Catalogue:** Official
- **IMO NO_x compliance level:** Tier III
- **Fuel injection concept:** DI
- **Engine category:** ME
- **Engines:** G60ME-C10.5
- **Cylinders:** 6
- **Turbocharger efficiency:** High
- **Tier III technology:** SCR
- **SCR system:** High pressure
- **Fuel sulphur content:** Low sulphur
- **Scrubber type:** Not installed
- **Cooling system:** Fresh water
- **Propeller type:** FPP
- **SMCR speed:** 90 rpm
- **SMCR power:** 11230 kW
- **NCR:** 75%

- **NCR power:** 8423 kW
- **Hydraulic system oil:** Common
- **Turbocharger lubrication:** Common
- **Hydraulic power supply:** Mechanical
- **Cylinder lubrication:** MAN B&W ALPHA
- **Custom ambient condition:** Air temperature: 20 °C, Scavenge air water coolant temp.: 15 °C.

2. Turbocharger selction

- MAN: 1xTCA66-21

SMCR: 11230 kW, 90 rpm

NCR: 8423 kW, 81.8 rpm

Τα αποτελέσματα σε Specified συνθήκες υπάρχουν στον παρακάτω πίνακα.

6G60	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	160.9	155.0

Πίνακας 6: Αποτελέσματα MAN CEAS για κινητήρα 6G60 [Πηγή: MAN CEAS]

5.2.2.2 AMESIM Simcenter – 6G60

Για τον κινητήρα 6G60 το σχέδιο του κινητήρα καθώς και τα Submodels που έχουν οριστεί είναι τα ίδια με αυτά του 6S60, αυτό που αλλάζει είναι κάποιες από τις παραμέτρους. Επίσης οι κύλινδροι του 6G60 είναι πάλι 6 όπως και στον 6S60 καθώς και η σειρά ανάφλεξης παραμένει ίδια, 1-5-3-6-2-4, αλλά και ο στροβιλοσυμπιεστής είναι ο TCA66-21. Επομένως για τον στροβιλοσυμπιεστή έχουμε

- **Equivalent volute diameter:** 450mm
- **Gas traveling distance:** 1500mm
- **Turbine wheel diameter:** 660mm

Η βασική διαφορά με τον 6S60 είναι ο λόγος $\frac{S}{B}$, ο οποίος για τη σειρά κινητήρων G αυτός είναι μεγαλύτερος από 4.0. Θεωρήθηκε ότι ο λόγος είναι $\frac{S}{B} = 4.3$, επομένως από

τη διάμετρο των εμβόλων (B=600 mm), προκύπτει ότι η διαδρομή των εμβόλων είναι S=2580 mm. Τα χαρακτηριστικά του κινητήρα που έχουν οριστεί στο Amesim είναι:

- **Connecting rod length:** 2800 mm
- **Stroke:** 2580 mm
- **Bore:** 600 mm
- **Compression ratio:** 18
- **Cylinder head surface:** 400000 mm²
- **Scavenge pipe diameter:** 3000 mm
- **Scavenge pipe length:** 5500 mm
- **Exhaust valve diameter:** 500 mm
- **Injected fuel temperature:** 130 degC
- **Injection pressure:** 1600 barA
- **Ambient air temperature:** 20 degC
- **Coolant temperature before SAC:** 15 degC

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης του κινητήρα 6G60, τα οποία προέκυψαν από το λειτουργικό Amesim στο SMCR και στο NCR.

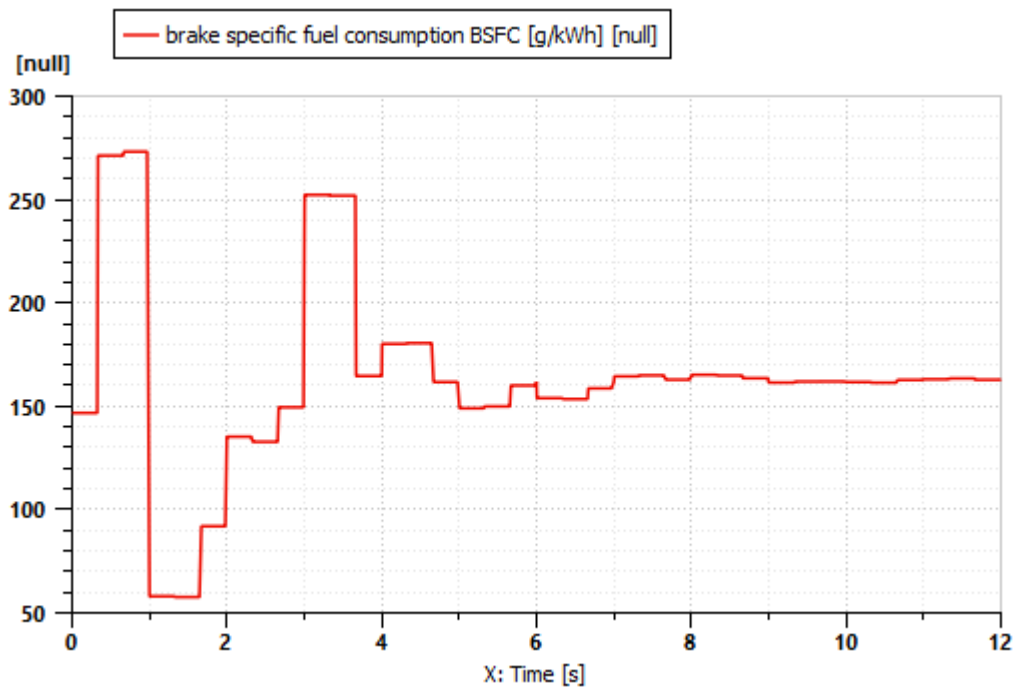
SMCR: 11230 kW, 90 rpm

NCR: 8423 kW, 81.8 rpm

6G60	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	162.95	160.7

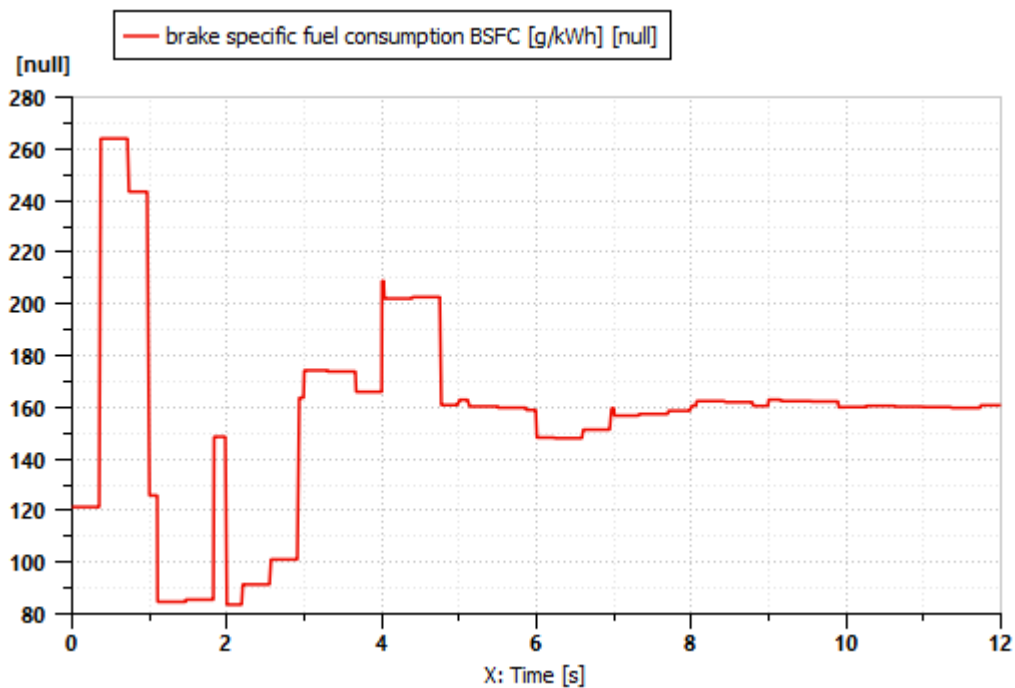
Πίνακας 7: Αποτελέσματα Amesim για κινητήρα 6G60 [Πηγή: Amesim]

Το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσεσι του χρόνου, στο SMCR το οποίο παράγεται από το Amesim είναι το παρακάτω



Εικόνα 58: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεσι του χρόνου προσομοίωσης 6G60 στο SMCR
[Πηγή: Amesim]

Και το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσεσι του χρόνου στο NCR είναι το εξής



Εικόνα 59: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεσι του χρόνου προσομοίωσης 6G60 στο NCR
[Πηγή: Amesim]

5.2.3 Κινητήρας 8G50

Ο επόμενος κινητήρας που μελετήθηκε είναι ο 8G50, ο οποίος έχει 8 έμβολα με διάμετρο εμβόλου 50 cm.

5.2.3.1 MAN CEAS – 8G50

Για τον 8G50 χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω επιλογές στην εφαρμογή της MAN.

1. Engine configuration

- **Catalogue:** Official
- **IMO NO_x compliance level:** Tier III
- **Fuel injection concept:** DI
- **Engine category:** ME
- **Engines:** G50ME-C10.7
- **Cylinders:** 8
- **Turbocharger efficiency:** High
- **Tier III technology:** SCR
- **SCR system:** High pressure
- **Fuel sulphur content:** Low sulphur
- **Scrubber type:** Not installed
- **Cooling system:** Fresh water
- **Propeller type:** FPP
- **SMCR speed:** 91 rpm
- **SMCR power:** 10000 kW
- **NCR:** 75%
- **NCR power:** 7500 kW
- **Hydraulic system oil:** Common
- **Turbocharger lubrication:** Common
- **Hydraulic power supply:** Mechanical
- **Cylinder lubrication:** MAN B&W ALPHA
- **Custom ambient condition:** Air temperature: 20 °C, Scavenge air water coolant temp.: 15 °C.

2. Turbocharger selction

- MAN: 1xTCT50-ML

SMCR: 10000 kW, 91 rpm

NCR: 7500 kW, 82.7 rpm

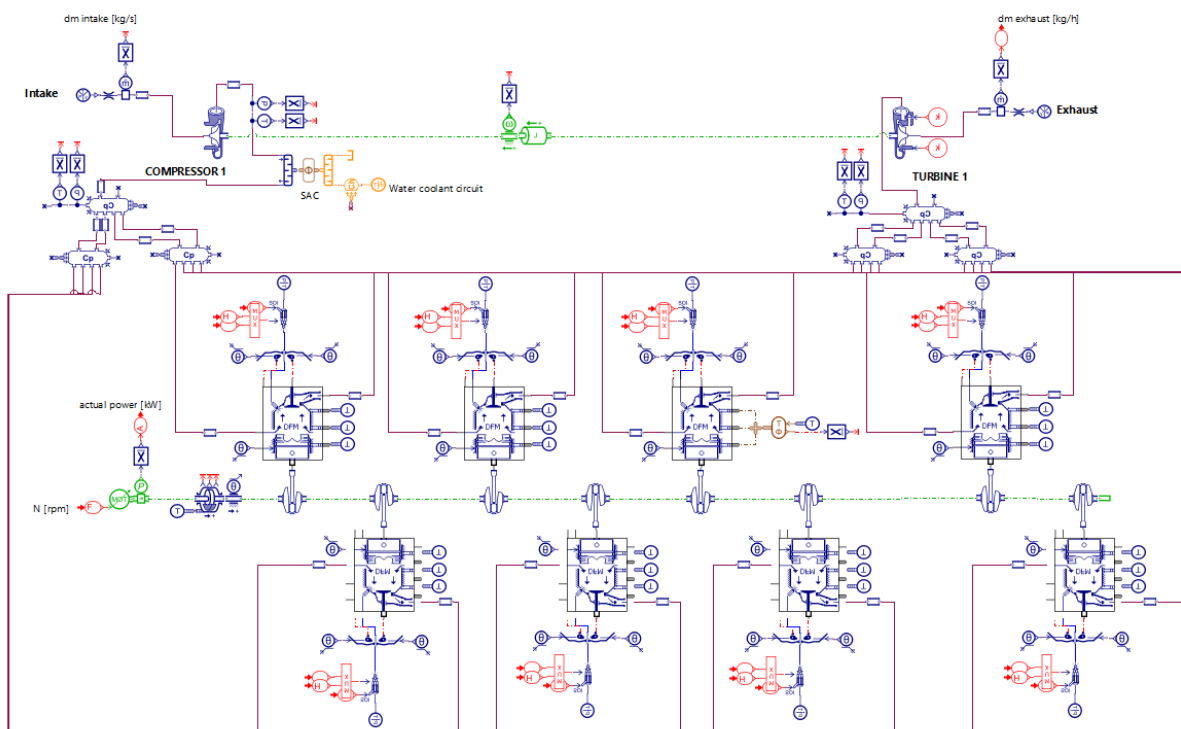
Τα αποτελέσματα σε Specified συνθήκες υπάρχουν στον παρακάτω πίνακα.

8G50	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	161.9	155.8

Πίνακας 8: Αποτελέσματα MAN CEAS για κινητήρα 8G50 [Πηγή: MAN CEAS]

5.2.3.2 AMESIM Simcenter – 8G50

Για τη σχεδίαση το 8G50 στο Amesim χρειάστηκε η προσθήκη δύο κυλίνδρων καθώς και κάποιων άλλων περιφερειακών εξαρτημάτων για τη σωστή λειτουργία προσομοίωσής του.



Εικόνα 60: Σχέδιο κινητήρα 8G50 [Πηγή: Amesim]

Για τον κινητήρα 8G50 έγινε χρήση των ίδιων Submodel με πριν, αλλά έγινε αλλαγή στο πεδίο engine definition στο οποίο ορίστηκε ο αριθμός των κυλίνδρων, συγκεκριμένα 8 και η σειρά ανάφλεξης τους, η οποία είναι 1-8-7-3-6-5-4-2, αλλά έγινε και χρήση διαφορετικού στροβιλοσυμπιεστή. Ο στροβιλοσυμπιεστής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο TCT50-ML, επομένως έχουν χρησιμοποιηθεί και διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά για το συγκεκριμένο στροβιλοσυμπιεστή, τα οποία είναι τα εξής:

- **Equivalent volute diameter:** 240 mm
- **Gas traveling distance:** 1200 mm
- **Turbine wheel diameter:** 500 mm

Ο συγκεκριμένος κινητήρας ανήκει στη σειρά G της MAN επομένως θεωρήθηκε ότι $\frac{S}{B} = 4.3$, άρα έχοντας τη διάμετρο των εμβόλων 500 mm, προκύπτει ότι η διαδρομή των εμβόλων είναι $S=2150$ mm.

Οι παράμετροι που έχουν οριστεί για τον κινητήρα 8G50 είναι οι παρακάτω:

- **Connecting rod length:** 2750 mm
- **Stroke:** 2150 mm
- **Bore:** 500 mm
- **Compression ratio:** 18
- **Cylinder head surface:** 400000 mm²
- **Scavenge pipe diameter:** 1400 mm
- **Scavenge pipe length:** 2500 mm
- **Exhaust valve diameter:** 380 mm
- **Injected fuel temperature:** 130 degC
- **Injection pressure:** 1600 barA
- **Ambient air temperature:** 20 degC
- **Coolant temperature before SAC:** 15 degC

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης του κινητήρα 8G50, τα οποία προέκυψαν από το λειτουργικό Amesim στο SMCR και στο NCR.

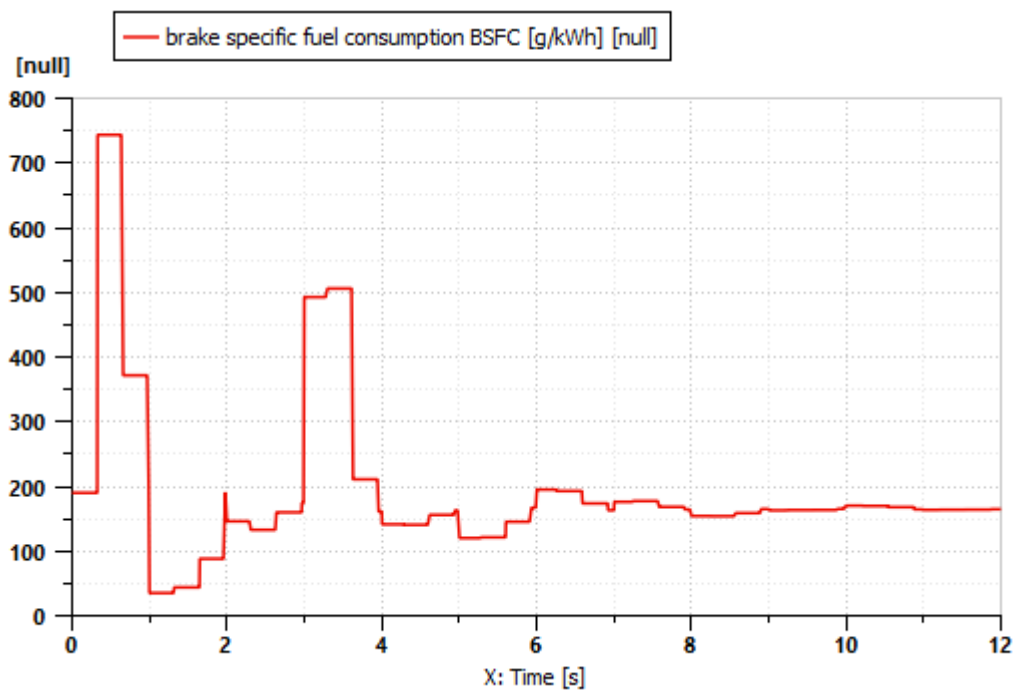
SMCR: 10000 kW, 91 rpm

NCR: 7500 kW, 82.7 rpm

8G50	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	164.69	162.43

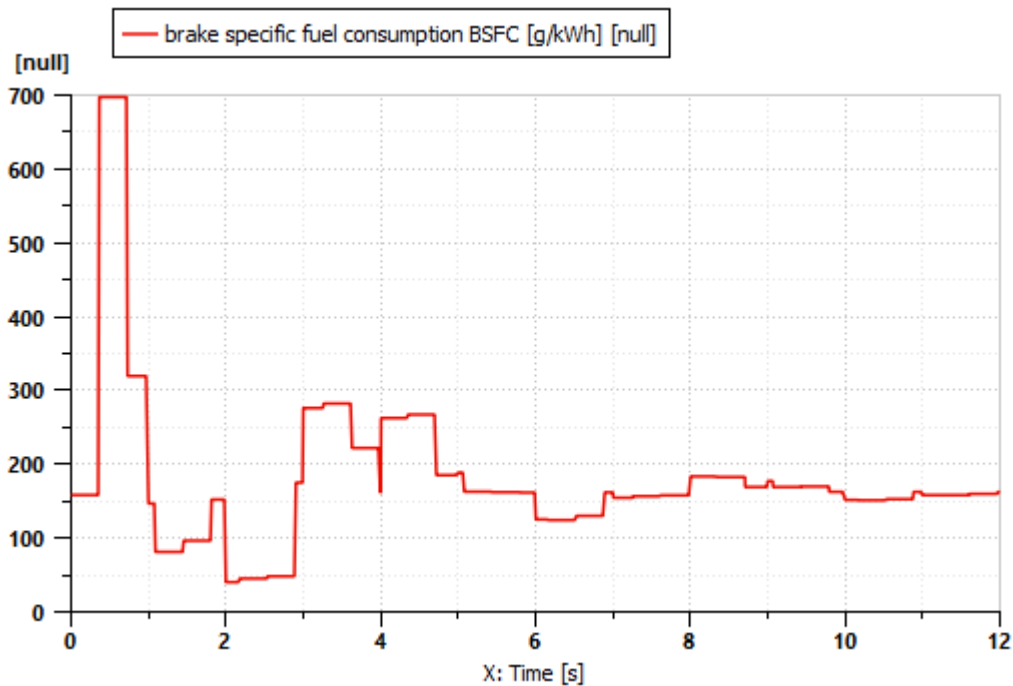
Πίνακας 9: Αποτελέσματα Amesim για κινητήρα 8G50 [Πηγή: Amesim]

Το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσεως του χρόνου, στο SMCR το οποίο παράγεται από το Amesim είναι το παρακάτω



Εικόνα 61: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεως του χρόνου προσομοίωσης 8G50 στο SMCR [Πηγή: Amesim]

Και το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσεως του χρόνου στο NCR είναι το εξής



Εικόνα 62: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης 8G50 στο NCR
[Πηγή: Amesim]

5.2.4 Κινητήρας 8G45

Ο τελευταίος κινητήρας που μελετήθηκε είναι ο 8G45, δηλαδή η βασική διαφορά σε σύγκριση με τον προηγούμενο κινητήρα είναι ότι η διάμετρος των εμβόλων είναι 5 εκατοστά μικρότερη.

5.2.4.1 MAN CEAS – 8G45

Ο 8G45 δεν μπορεί να λειτουργήσει στις 91 rpm με 10000 kW, επομένως το σημείο λειτουργίας το οποίο επιλέχθηκε και μελετήθηκε για το συγκεκριμένο κινητήρα είναι 95 rpm και 9520 kW. Για τον 8G45 χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω επιλογές στην εφαρμογή της MAN

1. Engine configuration

- **Catalogue:** Official
- **IMO NO_x compliance level:** Tier III
- **Fuel injection concept:** DI

- **Engine category:** ME
- **Engines:** G45ME-C9.7
- **Cylinders:** 8
- **Turbocharger efficiency:** High
- **Tier III technology:** SCR
- **SCR system:** High pressure
- **Fuel sulphur content:** Low sulphur
- **Scrubber type:** Not installed
- **Cooling system:** Fresh water
- **Propeller type:** FPP
- **SMCR speed:** 9 rpm
- **SMCR power:** 9620 kW
- **NCR:** 75%
- **NCR power:** 7215 kW
- **Hydraulic system oil:** Common
- **Turbocharger lubrication:** Common
- **Hydraulic power supply:** Mechanical
- **Cylinder lubrication:** MAN B&W ALPHA
- **Custom ambient condition:** Air temperature: 20 °C, Scavenge air water coolant temp.: 15 °C.

2. Turbocharger selction

- MAN: 1xTCA55-26

SMCR: 9620 kW, 96 rpm

NCR: 7215 kW, 87.2 rpm

Τα αποτελέσματα σε Specified συνθήκες υπάρχουν στον παρακάτω πίνακα.

8G45	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	166.8	160.2

Πίνακας 10: Αποτελέσματα MAN CEAS για κινητήρα 8G45 [Πηγή: MAN CEAS]

5.2.4.2 AMESIM Simcenter – 8G45

Για τον κινητήρα 8G45 χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σχέδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τον 8G50, αλλά με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Τα Submodel που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδια με αυτά του 8G50 καθώς και η σειρά ανάφλεξης των κυλίνδρων. Ο στροβιλοσυμπιεστής που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο κινητήρα είναι ο TCA55-26. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στροβιλοσυμπιεστή είναι τα παρακάτω:

- **Equivalent volute diameter:** 280 mm
- **Gas traveling distance:** 1200 mm
- **Turbine wheel diameter:** 550 mm

Όσο για τον κινητήρα, ανήκει στη σειρά G της MAN και όπως και στους προηγούμενους κινητήρες θεωρήθηκε ότι $\frac{S}{B} = 4.3$, άρα για διάμετρο εμβόλων 450 mm, η διαδρομή των εμβόλων είναι 1935 mm.

Οι παράμετροι του κινητήρα 8G45 που ορίστηκαν στο Amesim είναι οι παρακάτω:

- **Connecting rod length:** 2700 mm
- **Stroke:** 1935 mm
- **Bore:** 450 mm
- **Compression ratio:** 18
- **Cylinder head surface:** 380000 mm²
- **Scavenge pipe diameter:** 1500 mm
- **Scavenge pipe length:** 2400 mm
- **Exhaust valve diameter:** 350 mm
- **Injected fuel temperature:** 130 degC
- **Injection pressure:** 1600 barA
- **Ambient air temperature:** 20 degC
- **Coolant temperature before SAC:** 15 degC

Για το συγκεκριμένο κινητήρα τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης που προέκυψαν από το Amesim είναι τα εξής:

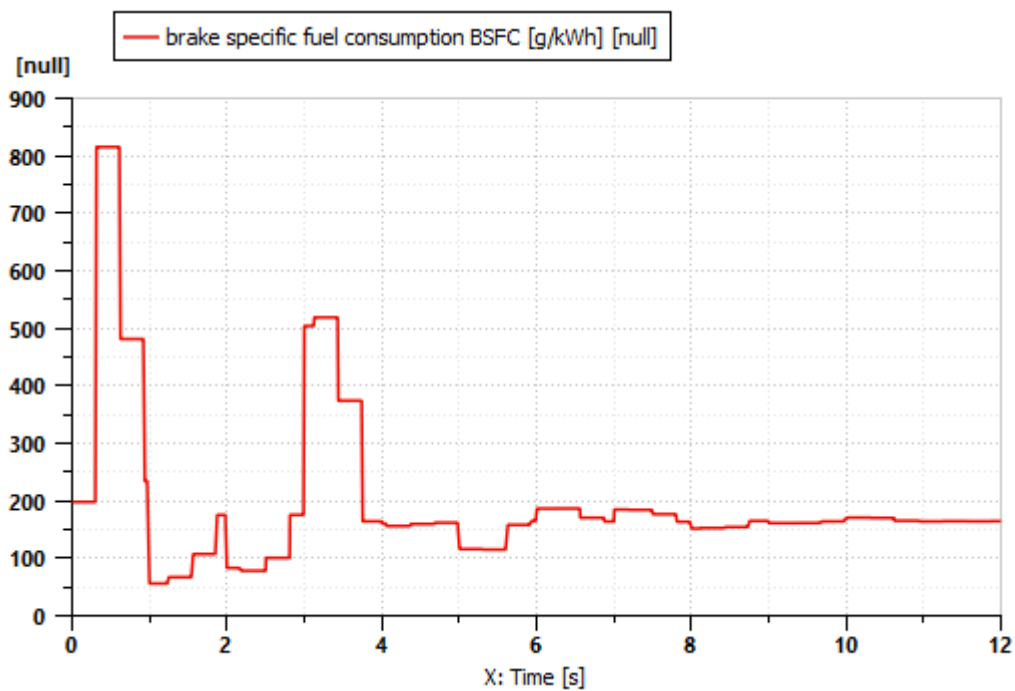
SMCR: 9620 kW, 96 rpm

NCR: 7215 kW, 87.2 rpm

8G45	SMCR	NCR
SFOC (g/kWh)	164.48	162.25

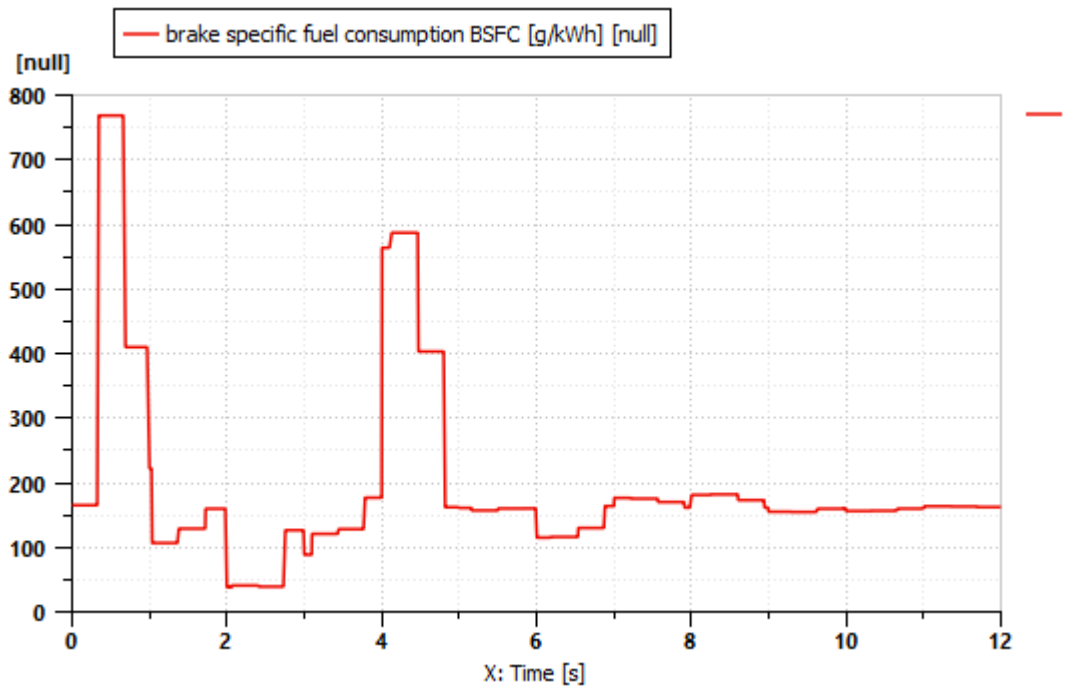
Πίνακας 11: Αποτελέσματα Amesim για κινητήρα 8G45 [Πηγή: Amesim]

Το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσει του χρόνου, στο SMCR το οποίο παράγεται από το Amesim είναι το παρακάτω



Εικόνα 63: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης 8G45 στο SMCR [Πηγή: Amesim]

Και το διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης συναρτήσει του χρόνου στο NCR είναι το παρακάτω



Εικόνα 64: Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης 8G45 στο NCR
 [Πηγή: Amesim]

Κεφάλαιο 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης για τους τέσσερις κινητήρες στο SMCR και στο NCR τα οποία προέκυψαν από τη χρήση της ιστοσελίδας MAN CEAS και του εμπορικού λογισμικού Amesim Simcenter εμφανίζονται συγκεντρωτικά στους παρακάτω πίνακες.

	SMCR	MAN CEAS (SFOC g/kWh)	AMESIM (SFOC g/kWh)
6S60	10000 kW, 91 rpm	164.10	164.22
6G60	11230 kW, 90 rpm	160.90	162.95
8G50	10000 kW, 91 rpm	161.90	164.69
8G45	9620 kW, 96 rpm	166.8	164.48

Πίνακας 12: Αποτελέσματα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στο SMCR [Πηγή: MAN CEAS, Amesim]

	NCR	MAN CEAS (SFOC g/kWh)	AMESIM (SFOC g/kWh)
6S60	7500 kW, 82.7 rpm	158.80	161.92
6G60	8423 kW, 81.8 rpm	155.00	160.70
8G50	7500 kW, 82.7 rpm	155.80	162.43
8G45	7215 kW, 87.2 rpm	160.20	162.25

Πίνακας 13: : Αποτελέσματα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στο NCR [Πηγή: MAN CEAS, Amesim]

Όπως παρατηρείται υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων τα οποία προκύπτουν από το Amesim και από το MAN CEAS, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς όπως προαναφέρθηκε και στις παραδοχές του λογισμικού Amesim, δεν είναι εφικτό να εισαχθούν τα σωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε κινητήρα καθώς δεν είναι γνωστά. Παρόλα αυτά με τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά που γνωρίζουμε για τον κάθε κινητήρα και με αρκετές δοκιμές και αλλαγές διαφόρων διαστάσεων και παραμέτρων τα αποτελέσματα τα οποία τελικά προέκυψαν από το Amesim είναι αρκετά κοντά στα επίσημα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την ιστοσελίδα της MAN.

Από την παραπάνω σύγκριση παρατηρείται ότι ο πιο αποδοτικός κινητήρας είναι ο 6G60 καθώς η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι η χαμηλότερη και στα αποτελέσματα

του MAN CEAS καθώς και στα αποτελέσματα του AMESIM και στα δύο σημεία λειτουργίας (SMCR, NCR). Επίσης παρατηρείται ότι και στο SMCR και στο NCR η ισχύς του είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τους άλλους κινητήρες. Επομένως έχει και χαμηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου αλλά και μεγαλύτερη ισχύ.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του MAN CEAS για τον 6G60 και τον 6S60 παρατηρείται ότι και στο SMCR και στο NCR υπάρχει μια μείωση της κατανάλωσης περίπου 3,5 g/kWh στον 6G60 κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς η σειρά G της MAN είναι πιο αποδοτική από τη σειρά S. Τα αποτελέσματα του AMESIM για τους δύο κινητήρες εμφανίζουν μείωση στην κατανάλωση για τον 6G60 αλλά όχι τόσο μεγάλη όσο το MAN CEAS, κάτι το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, οφείλεται στο γεγονός ότι δεν είναι γνωστά όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα.

Ο 8G50 είναι ο δεύτερος αποδοτικότερος κινητήρας από αυτούς που συγκρίθηκαν καθώς παρατηρούμε αυξημένη κατανάλωση από τον 6G60 κατά περίπου 1 gr/kWh στο MAN CEAS και περίπου 2 gr/kWh στο AMESIM. Για το συγκεκριμένο κινητήρα παρατηρείται αρκετά μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ του MAN CEAS και του AMESIM. Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο εμφανίζεται αυτή η διαφορά είναι η σχεδίαση του κινητήρα στο AMESIM. Όπως αναφέρθηκε και στις παραδοχές για το AMESIM Simcenter, για τη σχεδίαση των τεσσάρων κινητήρων στο χρησιμοποιήθηκε ένα ενδεικτικό Demo το οποίο υπάρχει στο συγκεκριμένο λογισμικό. Το ενδεικτικό σχέδιο κινητήρα του AMESIM ήταν ένας εξακύλινδρος κινητήρας του οποίου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ήταν σε μεγάλο βαθμό όμοια με τα πραγματικά. Στον συγκεκριμένο κινητήρα έγινε αλλαγή των περισσότερων χαρακτηριστικών προκειμένου να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο στον πραγματικό κάτι το οποίο απαιτούσε αρκετές τροποποιήσεις και δοκιμές έτσι ώστε να υπάρξει το τελικό αποτέλεσμα. Επομένως η προσθήκη δύο ακόμα κυλίνδρων απαιτεί πλήθος αλλαγών στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα προκειμένου να ανταποκρίνεται στον πραγματικό κινητήρα, άρα είναι λογικό να υπάρχει τόσο μεγάλη διαφοροποίηση στους οκτακύλινδρους κινητήρες.

Ο 8G50 λόγω της μικρότερης διαμέτρου των εμβόλων θα μπορούσε να έχει χαμηλότερη ειδική κατανάλωση από τον 6G60 σε κάποιο σημείο λειτουργίας χαμηλότερο από το NCR το οποίο ορίστηκε στη συγκεκριμένη μελέτη. Επίσης αυτό που αξίζει να αναφερθεί για τον 8G50 είναι το γεγονός ότι το SMCR και το NCR είναι

ακριβός ίδια με αυτά του 6S60. Συγκρίνοντας τον 8G50 με τον 6S60 παρατηρούμε ότι σύμφωνα με την ιστοσελίδα της MAN ο 8G50 εμφανίζει χαμηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου κατά περίπου 3 g/kWh και στο SMCR και στο NCR. Ενώ τα αποτελέσματα του AMESIM για τους δύο κινητήρες είναι σχεδόν ίδια στο SMCR και στο NCR.

Τέλος ο 8G45 ο οποίος έχει την υψηλότερη κατανάλωση σύμφωνα με τα αποτελέσματα του MAN CEAS καθώς και το χαμηλότερη ισχύ σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κινητήρες, αλλά και τις υψηλότερες στροφές ανά λεπτό. Η ειδική κατανάλωσή του είναι υψηλότερη και από τον 6S60 σύμφωνα με τα αποτελέσματα του MAN CEAS κατά περίπου 2 gr/kWh και στο SMCR και στο NCR. Ενώ τα αποτελέσματα του AMESIM είναι σχεδόν όμοια με αυτά του 6S60 και του 8G45. Όπως και ο 8G50, ο κινητήρας 8G45 πιθανόν να είναι περισσότερο αποδοτικός σε χαμηλότερο σημείο λειτουργίας.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης των παραπάνω κινητήρων διαπιστώνουμε ότι ο βέλτιστος κινητήρας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο πλοίο Kamsarmax είναι ο 6G60, ο οποίος σύμφωνα με τα αποτελέσματα του MAN CEAS και του AMESIM είναι αυτός που εμφανίζει τη χαμηλότερη ειδική κατανάλωση σε σύγκριση με τους άλλους τρεις κινητήρες. Αυτό που συμπεραίνουμε από τα αποτελέσματα είναι ότι για το συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας που επιλέχθηκε αποδοτικότερος είναι ο κινητήρας με τη μεγαλύτερη διάμετρο εμβόλου και τη μεγαλύτερη διαδρομή. Επομένως θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυξάνοντας τη διαδρομή του εμβόλου έχουμε μείωση της ειδικής κατανάλωσης.

Στη περίπτωση αύξησης του αριθμού των εμβόλων και μείωσης της διαμέτρου τους δεν έχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα. Οι κινητήρες 8G50 και 8G45 οι οποίοι μας δίνουν υψηλότερη ειδική κατανάλωση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλότερα σημεία λειτουργίας, όπου εκεί πιθανών να εμφανίζουν χαμηλότερη ειδική κατανάλωση από τον 6G60.

Επομένως για την εύρεση του βέλτιστου κινητήρα για ένα πλοίο θα πρέπει να γίνει μια σύγκριση μεταξύ διαφόρων κινητήρων έτσι ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός αριθμού εμβόλων και διαμέτρου εμβόλων ο οποίος στο σημείο λειτουργίας που θα χρησιμοποιείται να έχει τη χαμηλότερη ειδική κατανάλωση. Ενώ η αύξηση της διαδρομής του εμβόλου έχει μόνο θετικό αντίκτυπο στην ειδική κατανάλωση ενός ναυτικού κινητήρα. Επιπρόσθετα όμως θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και οικονομική μελέτη στην οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν το κόστος αγοράς του κινητήρα, το κόστος συντήρησης καθώς και το κόστος των ανταλλακτικών έτσι ώστε να καταλήξουμε τελικά στον βέλτιστο κινητήρα και από άποψη απόδοσης αλλά και κόστους.

Επίσης η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο είναι κάτι το οποίο θα μπορούσε να βοηθήσει στην περαιτέρω αύξηση της απόδοσης ενός ναυτικού κινητήρα, κάτι το οποίο θα έχει ευρεία εφαρμογή στο μέλλον καθώς οι κινητήρες διπλού καυσίμου (πετρελαίου και φυσικού αερίου) εξελίσσονται και τα επόμενα χρόνια θα εμφανίζονται σε όλο και περισσότερα πλοία.

Αυτό που συμπεραίνουμε από την παρούσα διπλωματική είναι, το πόσο σημαντική είναι η ερεύνα και η μελέτη πριν γίνει η επιλογή ενός κινητήρα για ένα πλοίο, έτσι ώστε να μπορεί να ταξιδεύει με την επιθυμητή ταχύτητα και παράλληλα να έχει την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Αυτή η μελέτη γίνεται αρκετά ευκολότερη με χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διπλωματική εργασία, από τα οποία αντιλαμβανόμαστε πόσο μεγάλης σημασίας είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας, καθώς μέσω αυτής είναι εφικτή η προσομοίωση οποιουδήποτε συστήματος χωρίς να απαιτείται η δαπάνη μεγάλων χρηματικών ποσών προκειμένου να γίνει μία μελέτη στην πραγματικότητα. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας των υπολογιστικών προγραμμάτων για την εύρεση του βέλτιστου κινητήρα όπως και η εξέλιξη κινητήρων για χρήση εναλλακτικών καυσίμων επιτρέπει στις ναυτιλιακές εταιρείες και στους πλοιοκτήτες να έχουν πλοία τα οποία και πληρούν όλες τις νέες νομοθεσίες του IMO σχετικά με τις εκπομπές ρύπων αλλά και είναι ανταγωνιστικά όσον αφορά τα λειτουργικά κόστη. Έτσι μια ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να λειτουργεί με όσο το δυνατόν χαμηλότερα έξοδα σε καύσιμα αλλά και φόρους εκπομπών καυσαερίων και άρα εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη κερδοφορία αλλά και μία πιο πράσινη ναυτιλία.

Κεφάλαιο 8: Προτάσεις

Άλλες μελέτες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση των προγραμμάτων MAN CEAS και AMESIM Simcenter είναι η σύγκριση κα με άλλους κινητήρες της MAN με μεγαλύτερη διάμετρο εμβόλων, αλλά και η μελέτη των αντίστοιχων κινητήρων της Wartsila με τη χρήση του προγράμματος GTD το οποίο είναι το αντίστοιχο πρόγραμμα του MAN CEAS. Με αυτήν τη μελέτη θα μπορούσε να γίνει άμεση σύγκριση των κινητήρων της MAN με τους κινητήρες της Wartsila έτσι ώστε να γίνει η βέλτιστη επιλογή.

Επίσης θα μπορούσε να γίνει μελέτη σε χρήση κινητήρες διπλού καυσίμου, φυσικό αέριο και πετρέλαιο το οποίο μπορεί να οριστεί και στο λογισμικό MAN CEAS αλλά και να σχεδιαστεί στο AMESIM Simcenter.

Μία ακόμα ενδιαφέρουσα μελέτη θα ήταν η σύγκριση των ίδιων κινητήρων, 6S60, 6G60, 8G50 και 8G45, σε χαμηλότερο σημείο λειτουργίας έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν σε κάποιο πλοίο μικρότερου μήκος και μεταφορικής ικανότητας.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, S. P. (2023, Ιούνιος 12). *Merchant Navy Decoded*. Ανάκτηση από Two Stroke Engine: <https://www.merchantnavydecoded.com/two-stroke-engine/>
- Diana Shipping Inc.* (χ.χ.). Ανάκτηση από Diana Shipping Inc. The Fleet: <https://www.dianashippinginc.com/the-fleet/>
- DSPORTMAG.* (2016, Φεβρουάριος 29). Ανάκτηση από Twin Scroll vs. Single Scroll Turbo Test | The Great Divide: <https://dsportmag.com/the-tech/twin-scroll-vs-single-scroll-turbo-test-the-great-divide/>
- HandyBulk. (χ.χ.). *HandyBulk*. Ανάκτηση από What is Kamsarmax Bulk Carrier?: <https://www.handybulk.com/what-is-kamsarmax-bulk-carrier/>
- MAN. (2024). *CEAS engine calculations*. Ανάκτηση από MAN Energy Solutions: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>
- MarineSite.Info.* (χ.χ.). Ανάκτηση από Turbocharger Construction, Working, Material In Marine Diesel Engine: <https://www.marinesite.info/2013/10/turbochargers-construction-and-working.html>
- Nautilus Shipping.* (2022, Ιούνιος 6). Ανάκτηση από 12 Parts of a Marine Engine Explained with Pictures: <https://www.nautilusshipping.com/marine-engine-parts>
- Nautilus Shipping.* (2022, Οκτώβριος 26). Ανάκτηση από MAN B&W Engine Nomenclature explained: <https://www.nautilusshipping.com/man-bw-engine-nomenclature-explained>
- Raunek. (2019, Μαΐος 22). *Marine Insight*. Ανάκτηση από How Ship's Engine Works?: <https://www.marineinsight.com/main-engine/how-ships-engine-works/>
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 1D Mechanical Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 CFD1D Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 Gas Mixture Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 Hydraulic Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 IFP Exhaust Library User's guide.

- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 IFP-Drive Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 IFP-Engine Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 Powertrain Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 Signal, Control Library User's guide.
- Siemens. (2021). Simcenter Amesim 2021.2 Thermal Hydraulic Library User's guide.
- Solutions, M. E. (2022, Ιανουάριος 18). Ανάκτηση από CEAS/TCS concept guide (ver. 1, 2022-01-18):
https://extranet.mandieselturbo.com/ceaserd/v1/assets/documents/CEAS_TCS_guide.pdf
- Techsim. (χ.χ.). Ανάκτηση από Siemens-PLM-Simcenter-Amesim-eb-72523-A20-2.pdf:
<https://www.techsim.cz/content/files/Siemens-PLM-Simcenter-Amesim-eb-72523-A20-2.pdf>
- Theofanis D. Chountalas, M. F. (2023, Σεπτέμβριος 1). *Evaluation of biofuel effect on performance & emissions of a 2-stroke marine diesel engine using on-board measurements.* Ανάκτηση από ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223012392>
- Tran, T. A. (2020, Ιούλιος 1). *Effect of ship loading on marine diesel engine fuel consumption for bulk carriers based on the fuzzy clustering method.* Ανάκτηση από ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801820304133>
- Wikipedia. (2024, Ιούνιος 18). Ανάκτηση από Simcenter Amesim:
https://en.wikipedia.org/wiki/Simcenter_Amesim
- Xu, S. (2020, Μάιος 9). *Linkedin.* Ανάκτηση από Type introduction of MAN B&W Main Engine:
<https://www.linkedin.com/pulse/type-introduction-man-bw-main-engine-%E5%BD%A4-%E5%BE%90/>
- Πολυζάκης, Α. (2020). *Μονάδες Ισχύος και Νέες Τεχνολογίες Οχημάτων και Πλοίων.* Πτολεμαΐδα : P.H.C. (Power Heat Cool).
- Ρύποι από MEK - Έμφαση σε Diesel. (2022, Ιανουάριος). *Διάλεξη από εργαστήριο του μαθήματος Εγκαταστάσεις Προώσης Πλοίου.*