

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ
ΚΑΥΣΙΜΟΥ (VIT – VARIABLE INJECTION TIMING)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΝΟΥΡΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΓΟΥΡΓΟΥΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ
ΚΑΥΣΙΜΟΥ (VIT – VARIABLE INJECTION TIMING)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΝΟΥΡΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΑΜ : 4637

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Ευχαριστίες

Πριν από την οποιαδήποτε αναφορά στο θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, που σηματοδοτεί την λήξη της εκπαιδευτικής μου περιόδου και την είσοδό μου στον ναυτιλιακό χώρο εργασίας, πρώτ' απ' όλα, θα 'θελα να ευχαριστήσω τον θείο μου Γιάννη Παλκόπουλο, ο οποίος με προσανατόλισε στον χώρο της ναυτιλίας. Επιπλέον, θα 'θελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνάντησα στα δύο εκπαιδευτικά ταξίδια που πραγματοποίησα κατά τη διάρκεια της σχολής, οι οποίοι με βοήθησαν στην κατάρτιση του ναυτικού επαγγέλματος. Όσον αφορά την σχολή, αισθάνομαι πολύ τυχερός που φοίτησα αυτά τα τέσσερα έτη, λαμβάνοντας ένα ευρύ πεδίο γνώσεων, και άπαντες οι καθηγητές, είναι κοντά στους σπουδαστές. Τέλος, νιώθω υποχρεωμένος να ευχαριστήσω φίλους, συναδέλφους και συγγενείς, οι οποίοι με παρείχαν υλικό για την συγγραφή της πτυχιακής εργασίας, και με βοήθησαν να υλοποιήσω στην πράξη όλες τις θεωρητικές γνώσεις τις σχολής(στοιχεία μηχανουργικής τεχνολογίας και συγκολλήσεων, ψυκτικών, στοιχεία ηλεκτρονικών ηλεκτρολογικών και αυτοματισμού, προγραμματισμού, ασφάλειας και παροχής πρώτων βοηθειών), μαθαίνοντας τις ιδιαιτερότητες των σχετικών αντικειμένων, που ενδεχομένως θα φανούν χρήσιμα στην αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων, στην μελλοντική μου πορεία στα πλοία ως αξιωματικός.

Περίληψη

Τα υπολειμματικά καύσιμα (residual fuels), αποτελούν το πιο οικονομικό μέσο για την κίνηση των πλοίων. Παράγονται με την μέθοδο της διάσπασης (cracking) των υπολειμμάτων του βαρέως πετρελαίου κατά τη διύλιση, παρουσία καταλυτών Al και Si). Παρ' όλ' αυτά, ενώ το ήμισυ της ποσότητας των υπολειμμάτων από την πρώτη απόσταξη, χάρη στο cracking αποδίδει καθαρά καύσιμα (diesel, βενζίνες κηροζίνες και αέρια), τα υπολείμματα που παραμένουν από την μέθοδο αυτή, δεν δύνανται περαιτέρω επεξεργασίας. Όντας μη εκμεταλλεύσιμα πλέον από το διυλιστήριο, αποτελούν απόβλητα, από την οποία παγκόσμια ποσότητα των καταλοίπων, μόλις το 5% περίπου, απορροφά η ναυτιλία.

Οι διαδικασίες επεξεργασίας του καυσίμου στα διυλιστήρια, έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ολεφινών (αλλιώς αλκένια ή υδρογονάνθρακες της σειράς του αιθυλενίου), δηλαδή ακόρεστα μόρια άνθρακα με διπλούς δεσμούς, εξ' αιτίας των οποίων το καύσιμο παρουσιάζει αστάθεια, ενώ η ύπαρξη ασφατενίων, προκαλεί μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης (επιπορεία), αφού εγχυθεί στον χώρο καύσης. Η μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης, οδηγεί τελικά σε μείωση της παραγόμενης ισχύος της μηχανής, με υψηλή θερμοκρασίες των καυσαερίων, και καταστροφή των εξαρτημάτων της, λόγω υψηλών θερμοκρασιών. Εξ' αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, το high temperature corrosion των βαλβίδων εξαγωγής των λοιπών εξαρτημάτων που προκαλείται, οφείλεται σε σχηματισμό ενώσεων που λόγω των υψηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων (άνω των 450° C), μέταλλα που είναι ενωμένα με τους άνθρακες τις ανθρακικής αλυσίδας (V, Na) ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας βαναδιούχο νάτριο. Αυτό επικάθεται στις επιφάνειες του θαλάμου καύσης, προκαλώντας διάβρωση. Ο μεταβλητός χρονισμός, προκαλεί την νωρίτερη έγχυση του καυσίμου (προπορεία) ώστε η ανάφλεξη να πραγματοποιηθεί την κατάλληλη στιγμή, κρατώντας σταθερή την ισχύ της μηχανής. Η προπορεία συνεπάγεται υψηλή P_{max} και ταυτόχρονη μειωμένη θερμοκρασία καυσαερίων, που σε αντίθεση με την επιπορεία, περιορίζει και το φαινόμενο του high temperature corrosion.

Ο μεταβλητός χρονισμός έγχυσης, στην αντλία BOSCH πραγματοποιείται με τις cut-off holes του barrel, ρυθμίζοντας κατάλληλα το ύψος, με πνευματικό σύστημα. Στην αντλία SULZER, ρυθμίζονται ανάλογα το άνοιγμα και το κλείσιμο των suction valve και spill valve αντίστοιχα, με μηχανικό ή ηλεκτροπνευματικό τρόπο. Τέλος, με την εγκατάσταση του συστήματος σε μια μηχανή, περιγράφεται ο τρόπος που συνδέεται με την απόδοση, την οικονομία, την προστασία της μηχανής, και την μείωση εκπομπής των ρύπων.

Abstract

Marine fuels consist of residual fuels, and they are the cheapest fuel used for propulsion. They are produced by the method of cracking of the residues from distillation of the crude oil, in presence of aluminium and silicon catalysts. Nevertheless, while the half of the total amount of residues gives again benzene, gas oil, and gases, the residues after this method cannot be more cracked. So they are useless for the distilleries, and just the 5% of the global amount of residues are used for the ships' propulsion.

Olefins, as a result of the refining and cleaning methods of the distilleries, make the fuel instable, whereas asphaltenes make longer the fuels ignition lag. Too long ignition lag, reduces the engine's output, and the exhaust gas temperature is too high (above 450° C). In such temperatures, metals from the fuel's carbon chain (V, Na) are reacted producing Vanadic Natrium(sodium). As a result, in combination of the high temperatures, high temperature corrosion is occurred, destroying the metallic surface of the combustion chamber. Via Variable Injection Timing, injection is advanced and adjusted suitably, so that that greater Pmax is achieved, and keeping the engine's output stable. Advanced injection results also in lower exhaust gas temperatures – in comparison with retard injection – limiting also the high temperature corrosion.

BOSCH's Variable Injection Timing is achieved by the vertical movement of the barrel, and thus the vertical variation of the cut-off holes' distance. The variable timing of SULZER's high pressure pump, is adjusted by the opening or closing of the suction valve and the spill valve. As a consequence of this system, is the optimum operation of the engine and the economy of the fuel as well as the reduction of Nox emissions.

Πρόλογος

Στην παρούσα πτυχιακή, περιγράφεται στο σύστημα έγχυσης μεταβλητού χρονισμού -VIT(Variable Injection Timing) των ναυτικών μηχανών της σειράς S της MAN BURMEISTER & WEIN – MAN B&W, και της σειράς RT της WARTSILA-SULZER.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα καύσιμα της ναυτιλίας, η χημική τους σύσταση, και τον τρόπο του συνδέονται με την διαδικασία της καύσης και τον μεταβλητό χρονισμό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η αντλία BOSCH - που χρησιμοποιεί η MAN B&W στις μηχανές της, τα βασικά της εξαρτήματα, και ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται ο κατάλληλος χρονισμός έγχυσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της αντλίας υψηλής πίεσης της SULZER και ομοίως παρουσιάζεται ο τρόπος μεταβλητού χρονισμού, ενώ στον επίλογο περιγράφονται τα πλεονεκτήματα που αποφέρει ο μεταβλητός χρονισμός.

Τέλος, στο παράρτημα της εργασίας, παρουσιάζεται η επεξήγηση ορισμένων όρων που αναφέρονται στο κείμενο.

Στη βιβλιογραφία, καταγράφονται οι πηγές, από τις οποίες αντλήθηκαν οι πληροφορίες για την συγγραφή της εργασίας.

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Καύσιμα ναυτιλίας

Εξ' αιτίας του cracking, παραμένουν αλυσίδες υδρογονανθράκων πλούσιες σε άνθρακα και πολύ φτωχές σε υδρογόνο. Αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζουν αυξημένη πυκνότητα, που οφείλεται στο βάρος της ανθρακικής αλυσίδας, και των διαφόρων άλλων καταλοίπων όπως τα ασφαλτένια, η τέφρα, και τα μέταλλα, που είναι ενωμένα με τους ελευθέρους - από τα υδρογόνα - δεσμούς. Έτσι τα residual fuels γίνονται όλο και πιο δύσχηρηστα, καθώς λόγω της αυξημένης πυκνότητας που έχουν, προσεγγίζουν την πυκνότητα του νερού, με αποτέλεσμα να είναι πιο δύσκολος ο διαχωρισμός του από το νερό και ξένες προσμείξεις. Η χαμηλή θερμαντική ικανότητα, σε συνδυασμό με την ακαθαρσία του καυσίμου, αποδεικνύει την χαμηλή ποιότητά του, την σημασία του σωστού καθαρισμού του, και την εισαγωγή συστημάτων που βελτιστοποιούν την καύση του.

Το υπολειμματικό πετρέλαιο, δεν περιέχει την αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα 4:1, όπως το μεθάνιο, δηλαδή είναι πλούσιο σε άνθρακα και φτωχό σε υδρογόνο. Αυτό επιτρέπει ακαθαρσίες όπως βανάδιο, θείο, νάτριο, στοιχεία καταλύτη και ίχνη μετάλλων να ενώνονται με τα άτομα του άνθρακα, τα οποία δεν είναι κορεσμένα με άτομα υδρογόνου. Επίσης, ακαθαρσίες που βρίσκονται ήδη στο αργό πετρέλαιο, και είναι χημικά ενωμένες με τα άτομα άνθρακα, παραμένουν επίσης στο υπολειμματικό καύσιμο. Έτσι, όταν καίγεται αφήνει υπολείμματα τέφρας. Περαιτέρω διαδικασίες για την αφαίρεσή τους είναι πολύ δαπανηρές και ρυπογόνες, σε σύγκριση με την τιμή και την απόδοση του υπολειμματικού καυσίμου, ως εκ τούτου παραμένουν στα απόβλητα διυλιστηρίων.

Πίνακας 1.1 γενικά στοιχεία HFO1 και HFO2 και μέθοδοι προσδιορισμού τους

Property	Unit		Limit	Limit	Test method reference
			"HFO 1"	"HFO 2"	
Viscosity at: 100°C	cSt	max.	55	55	ISO 3104
Viscosity at: 50°C	cSt	max.	730	730	ISO 3104
Viscosity at: 100°F	Redwood				
	No. 1 sec	max.	7200	7200	ISO 3104
Density at: 15°C	kg/m ³	max.	991	991	ISO 3675 or
	kg/m ³	max.	1010 ¹⁾	1010 ¹⁾	ISO 12185
CCAI ⁴⁾		max.	850 ²⁾	870 ²⁾	Shell formula
Water	% volume	max.	1.0	1.0	ISO 3733
Sulphur	% mass	max.	20	5.0	ISO 8754
Ash	% mass	max.	0.05	0.20	ISO 6245
Vanadium	mg/kg	max.	100	600 ³⁾	ISO 14597
Sodium ⁴⁾	mg/kg	max.	50	100 ³⁾	ISO 10478
Aluminium + Silicon	mg/kg	max.	30	80	ISO 10478
Conradson Carbon residue	% mass	max.	15	22	ISO 10730
Asphaltenes ⁴⁾	% mass	max.	8	14	ASTM D 3279
Flash point (PMCC)	°C	max.	60	60	ISO 2719
Pour point	°C	max.	30	30	ISO 3016
Total sediment, potential	% mass	max.	0.10	0.10	ISO 10307-2

Οι ναυτικοί κινητήρες diesel βραδείας και μέσης ταχύτητας έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με βαρύ μαζούτ (υπολειπόμενο καύσιμο) με μέγιστο ιξώδες 55 cSt στους 100 ° C (περίπου 730 cSt στους 50 ° C , ή 7200 Redwood No.1 seconds στους 100 ° F). Καύσιμα που έχουν χαμηλότερο ή υψηλότερο ιξώδες από τις επιτρεπόμενες τιμές πρέπει να αποφεύγονται, λόγω του κινδύνου καθίζησης βαρέων συστατικών του μίγματος , με απόφραξη των φίλτρων από ίλη, ή λόγω της ενδεχόμενης διάβρωσης που μπορεί να προκληθεί στο έμβολο της αντλίας ψεκασμού καυσίμου ή της βελόνας του καυστήρα.

Η θερμοκρασία του καυσίμου θα πρέπει να διατηρείται περίπου 10 ° C πάνω από την ελάχιστη θερμοκρασία αποθήκευσης, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος σχηματισμού παραφινικών υδρογονανθράκων(κεριού), και η θερμοκρασία μετά την τελικό θερμαντήρα, 5° C - 10 ° C πάνω από τη συνιστώμενη θερμοκρασία πριν από τις αντλίες, ώστε να αντισταθμιστούν τις απώλειες θερμότητας μεταξύ του θερμαντήρα και του κινητήρα .

Το βαρύ πετρέλαιο (υπολείμματα, και μείγματα καταλοίπων) πρέπει να καθαριστεί με φυγοκέντρηση πριν από την είσοδο του στη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης από στερεά σωματίδια και ίχνη νερού που ήδη υπάρχουν στο καύσιμο ή συμπυκνώνονται στις δεξαμενές. Εάν το νερό είναι γλυκό και αναμειγνύεται-γαλακτωματοποιείται(emulsified) με το καύσιμο , το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου(effective energy content of the fuel) μειώνεται με την αύξηση περιεκτικότητας σε νερό, οδηγώντας σε αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου. Το ίδιο συμβαίνει και σε περίπτωση που το καύσιμο είναι μολυσμένο με θαλασσινό νερό, τα ιόντα χλωρίου στο αλάτι θα εντείνουν την διάβρωση του δικτύου καυσίμου, ενώ το νάτριο θα επηρεάσει τα μέταλλα στον θάλαμο καύσης. Έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο σωστός δίσκος βαρύτητας ο οποίος επιλέγεται σύμφωνα με την πυκνότητα του καυσίμου. Όσο χαμηλότερος ο ρυθμός ροής τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του καθαρισμού. Επιπλέον, για να μην υπάρχουν δυσκολίες στο σύστημα έγχυσης του καυσίμου, η περιεκτικότητα του νερού πρέπει να είναι κάτω από 0,3 % πριν από τη μηχανή.

1.1.1 Χαρακτηριστικά και Ιδιότητες των καυσίμων

Χαμηλό σημείο ανάφλεξης (*low flash point*) παρατηρείται στο αργό πετρελαίου. Το χαμηλό σημείο ανάφλεξης δεν θα επηρεάσει την καύση, αλλά το καύσιμο μπορεί να είναι επικίνδυνο στον χειρισμό και την αποθήκευση. Σε περίπτωση που το καύσιμο έχει υψηλό σημείο ροής και χαμηλό σημείο αναφλέξεως, μπορεί να οδηγήσει σε μοιραία αποτελέσματα όταν θερμανθεί για να περάσει από τα διάφορα στάδια του συστήματος και μέχρι να καεί στη μηχανή.

Υψηλή τάση ατμών (*high vapor pressure*), η οποία συνοδεύεται με χαμηλό σημείο ανάφλεξης μπορεί επίσης να προκαλέσει σπηλαίωση από θύλακες αερίου που δημιουργούνται στους σωλήνες καυσίμου. Μπορεί να αποφευχθεί με ανύψωση της πίεσης στο δίκτυο του καυσίμου. Πλέον, απαιτείται η χρήση καυσίμων με σημείο ανάφλεξης μεγαλύτερο από 60 ° C.

Βάση του **σημείου ροής** (*pour point*) καθορίζεται η θερμοκρασία κάτω από την οποία δεν ρέει το καύσιμο. Το σύνολο του συστήματος καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των δεξαμενών και σωλήνων, πρέπει να θερμαίνονται σε θερμοκρασία τουλάχιστον 10° C - 15 ° C πάνω από το σημείο ροής.

Με το **Total Sediment Potential - TSP** ορίζεται η σταθερότητα των καυσίμων. Θα πρέπει να αποφεύγεται η ανάμειξη καυσίμων, καθώς λόγω ασυμβατότητας και αστάθειας, το TSP λαμβάνει υψηλές τιμές και υπάρχει ο κίνδυνος σχηματισμού ιζημάτων και λάσπης στις δεξαμενές και τα δίκτυα καυσίμου. Το TSP μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως έλεγχος για τη συμβατότητα των δύο διαφορετικών καυσίμων, δηλ κατά την ανάμειξή τους, αν το TSP για το μίγμα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, τότε τα δύο καύσιμα είναι συμβατά.

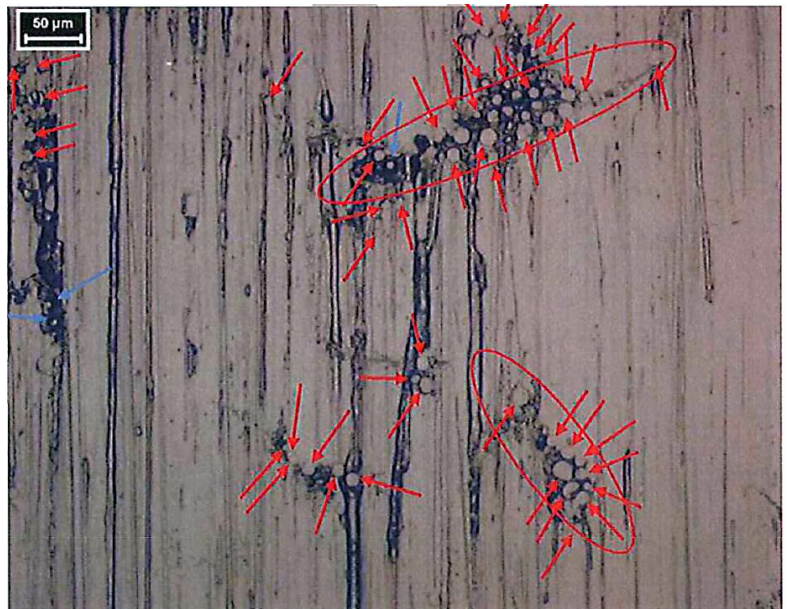
Το **θειό** (*sulphur*) στο καύσιμο μπορεί να προκαλέσει διάβρωση (*cold corrosion and corrosive wear*), ειδικά σε χαμηλά φορτία λόγω της συμπύκνωσης ατμών θειώδους και θειϊκού οξέως που σχηματίζονται κατά την καύση. Σε υψηλότερα φορτία, μπορεί να συμβάλλει επίσης στον σχηματισμό εναποθέσεων στο σύστημα εξάτμισης, συνήθως μαζί με βανάδιο και το νάτριο υπό τη μορφή θειικών ιόντων προκαλώντας διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας (*temperature corrosion*). Οι προδιαγραφές του λιπαντικού και του κυλινδρελαίου πρέπει να ταιριάζει με τέτοιες ιδιότητες.

Υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (*high ash content*) μπορεί να είναι επιβλαβής αφού εμπεριέχει διάφορα στοιχεία μετάλλων (οξειδία Al, Si, V, Na) που μπορεί να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα όπως φθορές λόγω τριβής, και διάβρωση ενώ συμβάλλει στο σχηματισμό των επικαθήσεων.



Οξείδια αλουμινίου και πυριτίου(*Aluminium, Silicon oxides - Al_2O_3 και SiO_2*) που προέρχονται από διαδικασίες διύλισης και αποτελούν υπολείμματα καταλύτη. Η περιεκτικότητά τους δεν πρέπει να ξεπερνά τα 200ppm. Αποτελούν λειαντικά σωματίδια . Εάν δεν αφαιρεθούν με σωστό καθαρισμό, η φθορά των αντλιών καυσίμου υψηλής πίεσης , των καυστήρων, του κυλίνδρου και των ελατηρίων του εμβόλου, μπορεί να επέλθει σε λίγες ώρες, έχοντας προκαλέσει σοβαρή φθορά απόξεσης των μεταλλικών επιφανειών, από τον σχηματισμό πυριτιούχου αλουμινίου. Στη φωτογραφία φαίνεται plunger της αντλίας έγχυσης που κόλλησε, εξ' αιτίας των υπολειμμάτων καταλύτη(catalytic fines) και άλλων μετάλλων που περιείχε το πετρέλαιο(Fuel pump plunger sticking), και άλλων μικροσωματιδίων(βλ. επόμενη σελίδα).

Οξείδια του βαναδίου και του νατρίου (*Vanadium, sodium oxides- Na_2O, V_2O_5*), και βαναδικό νάτριο που σχηματίζονται κατά την καύση, και αντιδρούν με βαναδικά οξείδια άλλων συστατικών τέφρας, π.χ. νικελίου, ασβεστίου, πυριτίου και θείου. Δεν μπορούν να αφαιρεθούν επειδή είναι συνδεδεμένα στην αλυσίδα του άνθρακα. Τα οξείδια των στοιχείων είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά σε τετηγμένη κατάσταση. Η διάβρωση επιταχύνεται με αυξημένες θερμοκρασίες λόγω αυξημένης ισχύος της μηχανής και υψηλά φορτία, ή αυξημένης επιπορείας. Ο περιορισμός της επιπορείας παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση του σχηματισμού των βαναδικών αλάτων. Υψηλή περιεκτικότητα σε βανάδιο προκαλεί high temperature corrosion στα ζεστά μέρη όπως βαλβίδες εξαγωγής, καταστρέφοντας το προστατευτικό στρώμα επιμετάλλωσης, και οδηγεί τελικά σε κάψιμο της βαλβίδας. Φαίνονται με τα βέλη-προκάλεσαν ίχνη φθοράς λόγω απόξεσης χιτωνίου(abrasive wear traces) -κόκκινα κυκλωμένα σημεία-σε λιγότερο από 100 ώρες λειτουργίας. Μπλε βέλη δείχνουν πρόσφατα ενσωματωμένα ίχνη του βαναδιούχου νατρίου στην επιφάνεια του μετάλλου. Κλίμακα μεγέθυνσης, 50μm.



Υψηλής περιεκτικότητας κατάλοιπα σε άνθρακα (*High carbon residue content*) , μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό των επικαθήσεων στην θάλαμο καύσης και στο σύστημα εξάτμισης , ιδιαίτερα σε χαμηλά φορτία . Η τιμή του δείχνει την τάση του πετρελαίου να σχηματίζει ανθρακούχα κατάλοιπα κατά την καύση του. Είναι το ανθρακούχο υπόλειμμα που έχει ως κατάλοιπο το πετρέλαιο όταν καεί ατελώς, και προσδιορίζει την ποσότητα συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο σε ποσοστό κατά μάζα.

Πιο συγκεκριμένα, σχηματισμός των επικαθήσεων στις οπές έγχυσης των καυστήρων θα διαταράξει τον ψεκασμό και τον διασκορπισμό του καυσίμου, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της καύσης, οδηγώντας ακόμη και σε τοπικά αυξημένα θερμικά φορτία. Επικαθήσεις(Deposits) στις αυλακώσεις των ελατηρίων του εμβόλου(piston ring grooves) και στα ελατήρια, με την μείωση των ανοχών θα περιοριστεί η ελεύθερη κίνηση των ελατηρίων , προκαλώντας πχ αυξημένο blow-by των αερίων καύσης στον θάλαμο του στροφάλου , η οποία με τη σειρά της αυξάνει η ρύπανση του λιπαντικού ελαίου . Επικαθήσεις στο σύστημα καυσαερίων και στον υπερσυμπιεστή θα διαταράξει την ανταλλαγή αερίων και να αυξήσει το θερμικό φορτίο και θα επηρεάσει την ζυγοστάθμιση του στροφείου της τουρμπίνας. Σε συνδυασμό με επικαθήσεις βαναδίου και νατρίου στα μέρη του υπερσυμπιεστή , ιδιαίτερα στον δακτύλιο του ακροφυσίου και πετύγια προκαλούν μειωμένη απόδοσης υπερσυμπιεστή λόγω της διάβρωσης. Η ανταλλαγή αερίων θα πρέπει να διαταραχθεί , λιγότερος αέρας θα ρέει μέσα από τον κινητήρα , και έτσι το θερμικό φορτίο για την αυξήσεις του κινητήρα. Οι αυξήσεις σχηματισμό των καταθέσεων σε αυξημένες θερμοκρασίες των καυσαερίων του κινητήρα .

Για να αποφευχθούν τα παραπάνω προβλήματα, όταν δηλαδή χρησιμοποιούνται καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, είναι σημαντικό να γίνεται, έλεγχος της ποιότητας των καυσίμων , ώστε τα ποσά της τέφρας και επικίνδυνης στάχτης συστατικά να παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα με τον σωστό καθαρισμό τους . Για την αποφυγή ατελούς καύσης και όλες τις συνέπειες, τα φίλτρα αέρα της μηχανής θα πρέπει να παραμένουν καθαρά, ενώ το στροφείο της τουρμπίνας να καθαρίζεται με ψεκασμό νερού ώστε να απομακρύνονται οι διάφορες επικαθήσεις.

Το **ιξώδες** (*viscosity*) δεν είναι ένα μέτρο της ποιότητας των καυσίμων , αλλά και καθορίζει την πολυπλοκότητα της θέρμανσης και του χειρισμού του συστήματος καυσίμου , αφού το βαρύ μαζούτ θερμαίνεται για να φτάσει ιξώδες 13 έως 24 cSt στο σημείο της έγχυσης. Ένας αυτόματος ελεγκτής ιξώδους (ιξωδόμετρο) , είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να κρατείται το σωστό ιξώδες του καυσίμου πριν καεί στον κινητήρα. Αποτελεί βασική παράμετρο, για την διατήρηση της λιπαντικής ικανότητας του καυσίμου, που λιπαίνει τα εξαρτήματα του εξοπλισμού έγχυσης. Επιδρά στην επίτευξη της πίεσης έγχυσης με ιδιαίτερα εμφανής επιπτώσεις κατά την εκκίνηση. Επίσης, σε

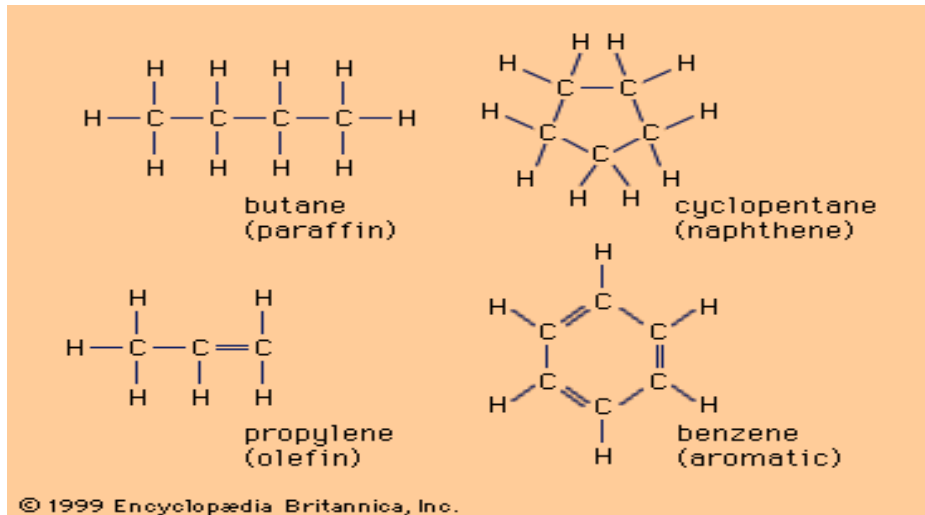
χαμηλά ιξώδη, η ροή του καυσίμου πέραν του εμβόλου της αντλίας εγχύσεως γίνεται πιο δύσκολη λόγω των μικρών οπών του καυστήρα και των μεγάλων πιέσεων στον χώρο καύσης . Με μειωμένη ποσότητα του εγχεόμενου καυσίμου, είναι αδύνατη η επίτευξη πλήρους απόδοσης του κινητήρα.

Πυκνότητα(*density*) σχετίζεται κυρίως με τον διαχωρισμό των καυσίμων και προσδιορίζεται με τη βοήθεια πυκνόμετρου, βάση της μεθόδου ASTM D-1298. Διαχωριστές μπορούν να απομακρύνουν ίχνη νερού και μέρος στερεών σωματιδίων από καύσιμα που έχουν πυκνότητες έως 991 kg/m³ στους 15 ° C. Όταν η πυκνότητα του καυσίμου υπερβεί αυτή την τιμή , τα στοιχεία αυτά δεν μπορούν να αφαιρεθούν με την μέθοδο της φυγοκέντρωσης . Η πυκνότητα του καυσίμου επιδρά επίσης στη διεισδυτικότητα του καυσίμου κατά την έγχυση στο θάλαμο καύσης καθώς και στη διασπορά του στον πεπιεσμένο αέρα. Η μονάδα μέτρησης πυκνότητας στο SI είναι χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (kg/m³), έτσι, όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα, τόσο βαρύτερο είναι το υλικό. Έτσι, καύσιμο μικρής πυκνότητας θα έχει μικρότερη διείσδυση στον αέρα του θαλάμου καύσης άρα μεγαλύτερη διασπορά. Δηλαδή, τα ελαφριά καύσιμα είναι πιο αποδοτικά, αφού με την καλύτερη ανάμειξη καίγονται καλύτερα.

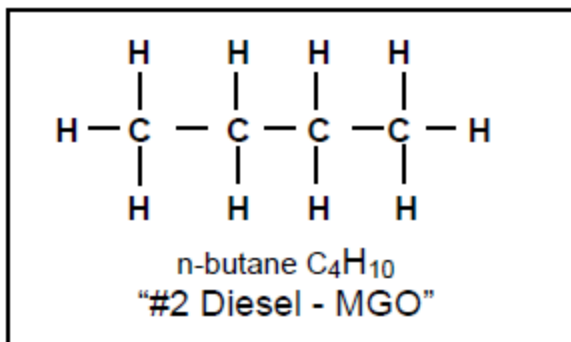
1.1.2 Χημικός προσδιορισμός πετρελαίου

Οι ενώσεις του άνθρακα και υδρογόνου (υδρογονάνθρακες) είναι χιλιάδες, και χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

Παραφινικοί – Ναφθενικοί – Ολεφινικοί – Αρωματικοί



Στα μόρια των **παραφινικών υδρογονανθράκων**, τα άτομα άνθρακα διατάσσονται σε ευθεία αλυσίδα. Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες είναι χημικά σταθεροί (chemically stable), αλλά



λιγότερο θερμικά σταθεροί (less thermally stable).

Έχουν αυξημένη ενέργεια. Αργό πετρέλαιο με παραφινικούς υδρογονάνθρακες, θα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε παραφινικό κερί το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διύλιση του, αφού παρουσιάζει υψηλό σημείο ροής (high pour point).

Παράδειγμα αργού πλούσιο σε παραφίνες,

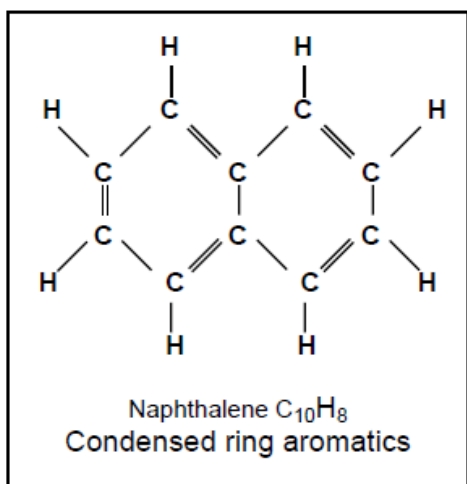
αποτελούν οι πηγές της Βόρειας Αφρικής (π.χ. Bunkers από την Αίγυπτο έχουν υψηλό σημείο ροής, το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, βάση των προγραμματισμένων ταξιδιών που θα ακολουθήσουν).

Τα παραφινικά (αλκένια, αλκάνια, αλκίνια, ναφθένια), βελτιώνουν τη ποιότητα ανάφλεξης παρ'όλ'αυτά διαταράσσουν την σταθερότητα του καυσίμου.

Οι **Ναφθενικοί υδρογονάνθρακες** θεωρούνται σαν Παραφινικοί, αλλά έχουν κυκλικό σχήμα. Οι Ναφθενικοί υδρογονάνθρακες έχουν λιγότερα άτομα υδρογόνου αυξάνοντας το λόγο άνθρακα προς υδρογόνο (C:H). Επειδή τα άτομα του άνθρακα είναι πιο βαριά από τα άτομα του υδρογόνου, η

πυκνότητα αυξάνει. Επίσης έχοντας λιγότερα άτομα υδρογόνου, η ενέργεια είναι λιγότερη. Οι Ναφθενικοί υδρογονάνθρακες είναι χημικά λιγότερο σταθεροί από τους Παραφινικούς, αλλά περισσότερο θερμικά σταθεροί. Έχουν ελαφρώς υψηλή πυκνότητα, ελαφρώς περισσότερη κάπνα κατά την καύση, ενδιάμεσο αριθμό κετανίου και χαμηλό σημείο ροής. Πηγή του Ναφθενικού αργού είναι η Βενεζουέλα.

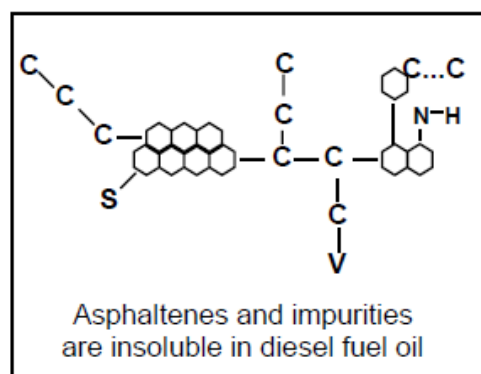
Οι **αρωματικοί δεσμοί(Aromatics)** έχουν κυκλικούς σχηματισμούς, με λιγότερα άτομα



υδρογόνου. Ορισμένα άτομα άνθρακα έχουν διπλή ένωση μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από τους Ναφθενικούς και τους Παραφινικούς Υδρογονάνθρακες. Είναι χημικά ασταθείς, αλλά θερμικά σταθεροί. Οι Αρωματικές ενώσεις σχηματίζονται σε υψηλότερα κλάσματα απόσταξης των τελικών προϊόντων, ανάλογα με τις μεθόδους παραγωγής. Μερικές από τις αρωματικές ενώσεις που βρίσκονται στα gasolines, είναι το βενζόλιο(benzene), το τολουόλιο(toluenes) και το ξυλόλιο(xylene). Όλα αυτά έχουν καλές ιδιότητες υψηλών

οκτανίων(high-octane properties). Αντίθετα, καύσιμα ντίζελ με υψηλό αριθμό αρωματικών δεσμών, τείνουν να έχουν υψηλότερες πυκνότητες και μικρότερους αριθμούς κετανίου, με αποτέλεσμα αυξημένη παραγωγή αιθάλης και εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων. Σε παράγωγα κηροζίνης, τα καύσιμα με υψηλότερα αρωματικά, καίγονται με καπνιστή φλόγα(smoky flame). Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν πολύ μεγάλη σημασία στα Καύσιμα Ναυτιλίας, γιατί ενώ βελτιώνουν τη σταθερότητα, έχουν αρνητική επίδραση στην ανάφλεξη. Η καύση τους δεν είναι καλή.

Από την άλλη, υψηλή περιεκτικότητα σε **ασφαλτένια (High asphaltene content)** υποδεικνύει ότι ένα καύσιμο μπορεί να είναι δύσκολο να αναφλεγεί και ότι καίγεται με πολύ αργό ρυθμό. Τα ασφαλτένια(Asphaltenes) είναι σύνθετες υψηλής αρωματικότητας ενώσεις, μεγάλου βάρους, που συνήθως περιέχουν τέφρα, θείο, άζωτο και οξυγόνο, καθώς και μέταλλα όπως το βανάδιο, το νικέλιο και σίδηρο. Μπορεί να συμβάλει στο σχηματισμό των επικαθήσεων στην θάλαμο



καύσης και στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, ιδιαίτερα σε χαμηλά φορτία. Η καύση μπορεί να συνεχίζεται και μετά την εκτόνωση, ως και την αποκάλυψη των θυρίδων της σάρωσης, με πιθανή πυρκαγιά στον οχετό της σάρωσης. Επίσης, το καύσιμο είναι ασταθές, τα ασφαλτένια μπορεί να δημιουργήσουν ιζήματα προκαλώντας ανωμαλίες στο σύστημα καυσίμου.

Ποιότητα ανάφλεξης (Ignition quality). Σχετίζεται άμεσα με την τους μοριακούς δεσμούς των υδρογονανθράκων. Η ποιότητα ανάφλεξης του πετρελαίου diesel, δηλαδή η ευκολία με την οποία αναφλέγεται μέσα στο θάλαμο καύσης, συνάδει με την ταχύτητα έναυσης, που περιορίζει στα επιθυμητά όρια την καθυστέρησης της ανάφλεξης, εξουδετερώνοντας τον κίνδυνο της εκρηκτικής καύσης. Εκφράζεται με τον αριθμό κετανίου και σχετίζεται με το είδος των υδρογονανθράκων. Αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα στο μόριο, αυξάνει την πυκνότητα των υδρογονανθράκων και άρα την τάση του για αυτανάφλεξη . Αποτελεί μέτρο της επιβράδυνσης αυτανάφλεξης, της χρονικής περιόδου που μεσολαβεί από την στιγμή του ψεκασμού του καυσίμου στον κύλινδρο ως και την έναρξη της καύσης.

Ο **αριθμός κετανίου** του πετρελαίου diesel σχετίζεται άμεσα με το είδος των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Μικρότερο αριθμό κετανίου έχουν οι αρωματικοί, αμέσως μεγαλύτερο, οι ναφθενικοί και οι ισοπαραφινικοί, ενώ οι παραφίνες έχουν την καλύτερη ποιότητα ανάφλεξης από όλες τις ομάδες υδρογονανθράκων. Επιπλέον, η αύξηση των ατόμων άνθρακα του μορίου αυξάνει τον αριθμό κετανίου.

Συνήθως, καύσιμα που έχουν χαμηλό ιξώδες σε συνδυασμό με υψηλή πυκνότητα συνήθως έχουν κακές ιδιότητες ανάφλεξης . Επομένως, βαριά καύσιμα μπορεί να έχουν πολύ χαμηλή ποιότητα ανάφλεξης. Παρ' όλ' αυτά, ως μεμονωμένα μεγέθη, πυκνότητα και ιξώδες δεν αποτελούν σημαντικές παραμέτρους της ποιότητας του καυσίμου. Αντιθέτως, σε συνδυασμό με άλλες ιδιότητες του καυσίμου μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες (π.χ. στον υπολογισμό του αριθμού κετανίου ή τον αριθμό CCAI). Παρ' ότι, η ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου μπορεί να προσδιοριστεί σύμφωνα σε διάφορες μεθόδους , δηλαδή με το Diesel Index, τον δείκτη κετανίου και τον αριθμό κετανίου παρ' όλ' αυτά δεν ορίζεται , ούτε περιορίζεται , στα πρότυπα των marine residual fuel standards. Το ίδιο ισχύει και με το πρότυπο ISO -F- DMC θαλάσσιου καυσίμου.

Μέτρο ποιότητας του πετρελαίου , είναι ο αριθμός κετανίων ο οποίος προσδιορίζεται σε πρότυπο κινητήρα CFR. Στην κλίμακα αυτή, θεωρείται ως μηδέν η α-μεθυλοναφθαλίνη ($C_{11}H_{15}$), που η καθυστέρηση (ο χρόνος που απαιτείται) μέχρι να αυτανάφλεγει είναι πολύ μεγάλος. Στην κλίμακα αντιστοιχεί στο εκατό το κανονικό δεκαεξάνιο ($C_{15}H_{34}$) (αλλιώς κ-δεκαεξάνιο ή κετάνιο) και είναι ένας παραφινικός υδρογονάνθρακας που λόγω των αλυσίδων των ατόμων άνθρακα που διατάσσονται εν σειρά, καίγεται σχεδόν ακαριαία, αφού παρουσιάζει ελάχιστη επιβράδυνση καύσης. Το επτα-μεθυλο-εννεάνιο αντιστοιχεί σε αριθμό κετανίου 15. Η κλίμακα του αριθμού κετανίου είχε αρχικά οριστεί με βάση το κετάνιο και το α-μεθυλο-ναφθαλένιο (αριθμός κετανίου 0), αλλά το τελευταίο αντικαταστάθηκε το 1964 γιατί παρουσίαζε προβλήματα στην ανάφλεξη στον πρότυπο κινητήρα.

Μείγματα των δύο παραπάνω υδατανθράκων σχηματίζουν την κλίμακα αριθμού κετανίου από 0~100. Προφανώς, όσο το καύσιμο προσεγγίζει το εκατό, η ένταση του χτυπήματος μειώνεται, άρα, τόσο καλύτερο είναι για την λειτουργία της μηχανής. Ο αριθμός κετανίου προκύπτει επομένως από τη σχέση :

$$[\text{Αριθμός Κετανίου}] = [\% \text{ κετάνιο}] + 0,15 \times [\% \text{ επτα-μεθυλο-εννεάνιο}]$$

Εξ' αιτίας της χαμηλής ποιότητας ανάφλεξης η καύση συνοδεύεται από ένα δυνατό και διαπεραστικό θόρυβο, γνωστό και ως "κτύπημα diesel" ή "Dieselknock ". Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης (long ignition delay) και, κατά συνέπεια, σε μεγάλη αύξηση της πίεσης καύσης (high firing pressure rise ratio).

Τα αποτελέσματα του diesel knocking είναι η καταπόνηση των μερών της μηχανής σε κρουστικό και μηχανικό φορτίο (εμβολο, χιτώνιο, διωστήρας, στροφαλοφόρος, έδρανα), αύξηση των θερμικών φορτίων που επηρεάζουν την αντοχή των μετάλλων, καθώς και αυξημένη κατανάλωση λαδιού λίπανσης και μόλυνσή του με άκαυστο πετρέλαιο. Επικαθήσεις στην κεφαλή του εμβόλου, στις βαλβίδες εξαγωγής, στο σύστημα καυσαερίων, και στο turbine nozzle ring και τα πτερύγια είναι αναμενόμενες. Η ρύπανση του υπερσυμπιεστή θα οδηγήσει σε μείωση απόδοσης του, και αύξηση των θερμικών φορτίων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την εκκίνηση και με λειτουργία σε χαμηλό φορτίο, ιδίως εάν ο κινητήρας δεν προθερμαίνεται επαρκώς ή ο αέρας σάρωσης εισέρχεται με πολύ χαμηλή θερμοκρασία.

Αν και η χαμηλή ποιότητα ανάφλεξης παράγει μεγάλες καθυστερήσεις ανάφλεξης, η ρύθμιση της προπορείας (advancing) του χρόνου έγχυσης, κατά την διάρκεια ύπαρξης του φαινομένου θα εντείνει την κατάσταση, χειροτερεύοντάς την, δηλαδή το καύσιμο θα εγχυθεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία συμπίεσης, με ακόμη μεγαλύτερη καθυστέρηση ανάφλεξης.

Για τον έλεγχο ποιότητας βαρέων καυσίμων, που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, πέραν του αριθμού κετανίων, χρησιμοποιούνται δύο άλλοι εμπειρικοί δείκτες: ο **δείκτης υπολογισμού αρωματικότητας άνθρακα** (*Calculated Carbon Aromaticity Index* ή **CCAI**) και ο **δείκτης υπολογισμού ανάφλεξης (CII)**. Τόσο CCAI και CII υπολογίζονται από την πυκνότητα και το κινηματικό ιξώδες του καυσίμου. Ο δείκτης υπολογισμού αρωματικότητας άνθρακα (CCAI), είναι δείκτης της ποιότητας ανάφλεξης του υπολειμματικού πετρελαίου. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή είναι η καλύτερη είναι η ποιότητα ανάφλεξης.

Πιο συγκεκριμένα, καύσιμα με τιμές CCAI σε εύρος μεταξύ 770 – 840 παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες ανάφλεξης. Γενικά οι πετρελαιοκινητήρες μπορούν να καίουν καύσιμα με τιμές CCAI έως 850 χωρίς δυσκολίες. Τιμές CCAI που κυμαίνονται μεταξύ 850 και 870 μπορεί να

προκαλέσουν δυσκολίες στην καύση που εντείνονται, την χαμηλή θερμοκρασία του αέρα σάρωσης, την ανεπαρκή προθέρμανση του κινητήρα κατά την έναρξη της λειτουργίας του, ή την δυσλειτουργία του συστήματος ψεκασμού (ακάθαρτοι καυστήρες) . Τιμές CCAI πάνω από 870 δεν συνίστανται αφού αυξημένη τιμή CCAI δείχνει μειωμένη ποιότητα ανάφλεξης. Σημαντικό είναι να μην υπάρχουν ίχνη νερού στο πετρέλαιο.

Η ποιότητα ανάφλεξης του βαρέως πετρελαίου μπορεί να προσδιορισθεί κατά προσέγγιση με τον υπολογισμό του CCAI, βάση του τύπου:

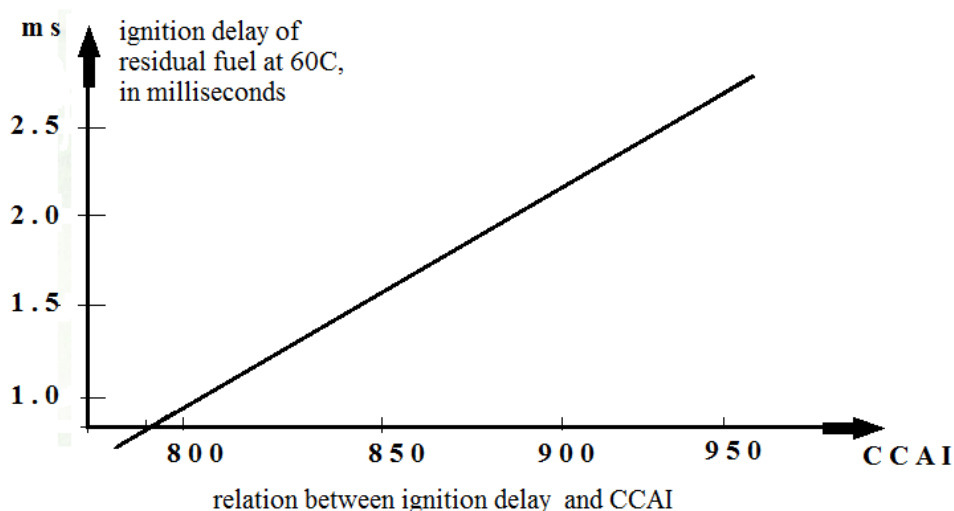
$$CCAI = \rho - 81 - 141 * \{\log_{10}(\log_{10}(\nu\kappa + 0,85))\}$$

όπου :

ρ = πυκνότητα (kg/m³ στους 15 ° C)

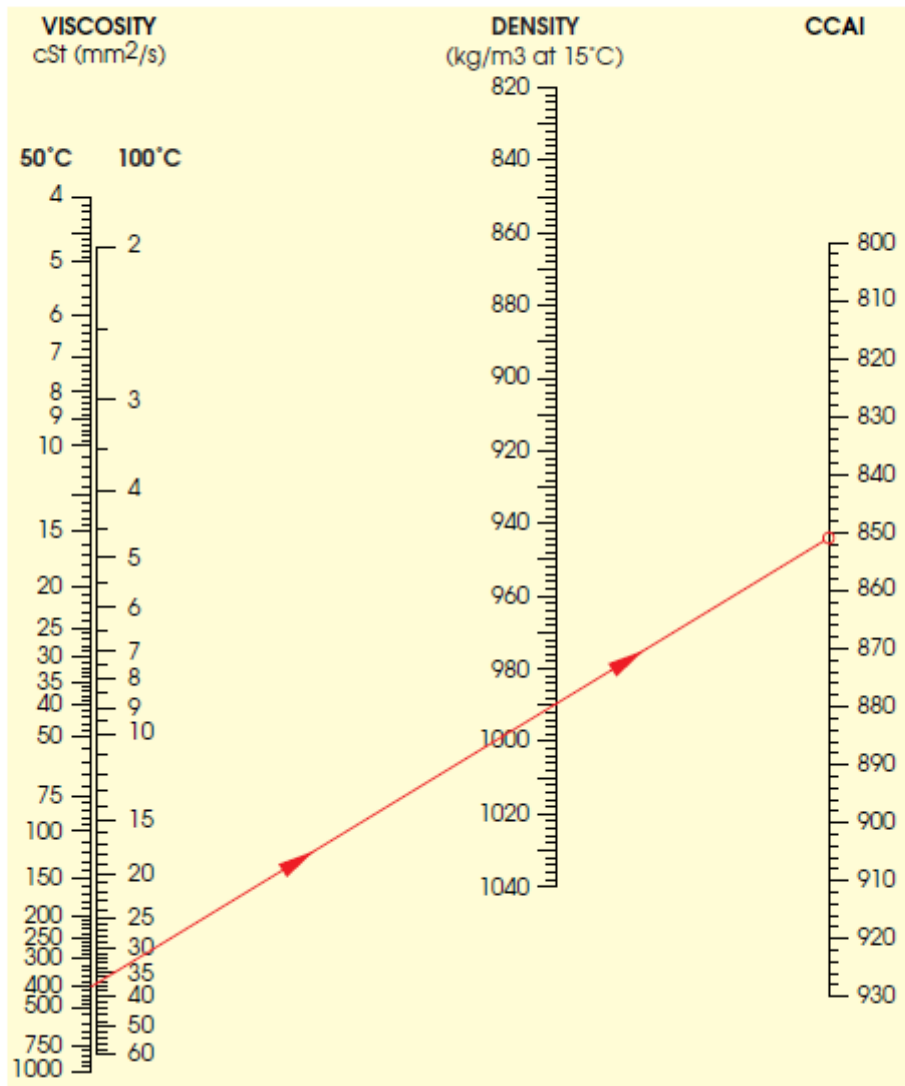
$\nu\kappa$ = κινηματικό ιξώδες (cSt σε 50 ° C)

Ο αριθμός CCAI δεν είναι μια ακριβές εργαλείο για να κρίνουμε τις ιδιότητες ανάφλεξης του καυσίμου . Γενικά όμως, χαμηλό ιξώδες , σε συνδυασμό με ένα υψηλής πυκνότητας , θα οδηγήσει σε χαμηλής ποιότητας ανάφλεξης καυσίμου, που εκφράζεται με υψηλό αριθμό CCAI(βλ. παρακάτω σχήμα).



Ο αριθμός CCAI, εκτός από τον εμπειρικό μαθηματικό τύπο που περιγράφεται, μπορεί επίσης να προσδιοριστεί προσεγγιστικά γνωρίζοντας το ιξώδες και την πυκνότητα του πετρελαίου, από την χημική ανάλυση, βάση του παρακάτω νομογραφήματος.

Nomogram for deriving CCAI



1.2 Στάδια της καύσης

Ο αέρας στον κύλινδρο, είναι συμπιεσμένος σε θερμοκρασία αρκετά πάνω από την θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου (spontaneous ignition temperature-SIT). Το καύσιμο ψεκάζεται λίγες μοίρες πριν το άνω νεκρό σημείο με υψηλή πίεση και κατάλληλο ιξώδες. Μόλις οι ατμοί φτάσουν το SIT, αυταναφλέγονται. Όσο μικρότερη είναι η φλόγα, τόσο πιο ταχεία η ολοκλήρωση της καύσης.

Η ταχύτητα ανάφλεξης του πετρελαίου μετά τον ψεκασμό του, εξαρτάται από την ποιότητα ανάφλεξης του. Ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που ψεκάστηκε, μέχρι την έναυσή του, πρέπει να είναι ο κατά το δυνατόν ελάχιστος. Απόρροια της καθυστέρησης της ανάφλεξης του, είναι η συγκέντρωση ποσότητας πετρελαίου στο θάλαμο καύσης, που η απότομη ανάφλεξή του δημιουργεί απότομες αυξομειώσεις πίεσης, και γίνονται αντιληπτές από το χαρακτηριστικό «χτύπημα»(knocking) ενώ οι δημιουργούμενες δονήσεις έχουν καταστρεπτικές συνέπειες για τη μηχανή και την απόδοσή της.

Ο χρόνος που μεσολαβεί από την στιγμή που το καύσιμο θα ψεκαστεί μέχρι και την ανάφλεξή του χαρακτηρίζεται ως καθυστέρηση ανάφλεξης(delay period ή ignition delay) και επηρεάζει όλη την εξέλιξη της λειτουργίας του. Εξαρτάται από:

- την ποιότητα του καυσίμου που προσδιορίζεται με τον αριθμό κετανίου, δηλαδή με το είδος και την περιεκτικότητα των υδατανθράκων, από τα οποίους αποτελείται
- τις συνθήκες που δημιουργούνται μέσα στον κύλινδρο την στιγμή της έγχυσης. Έτσι, στον πετρελαιοκινητήρα το καύσιμο γίνεται μείγμα με τον αέρα και κατά την άνοδο του εμβόλου, αυτό συμπιέζεται, ενώ παράλληλα αυξάνεται η θερμοκρασία του.

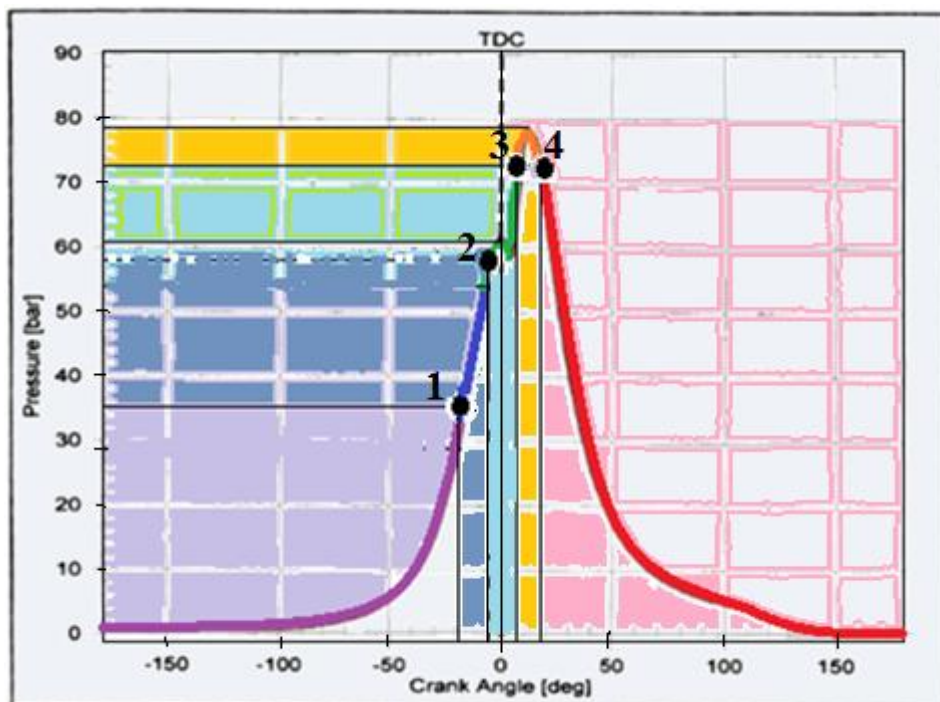
Η πίεση συμπίεσης στον κύλινδρο, μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 75 και 110 bar όταν το καύσιμο εγχέεται, και η μέγιστη πίεση κατά τη διάρκεια της καύσης μπορεί να υπερβεί τα 140 bar. Η μέγιστη θερμοκρασία μπορεί να φτάσει 1850 °C. Θερμοκρασία και πίεση μειώνονται γρήγορα, καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ μέχρι οι βαλβίδες εξαγωγής να ανοίξουν. Θερμοκρασίες καυσαερίων ποικίλλουν, αλλά γενικά κυμαίνονται από 330 °C έως 370 °C σε δίχρονους κινητήρες, και από 380 °C έως 440 °C σε τετράχρονους κινητήρες. Για την αποτελεσματική σάρωση, υπάρχει πάντα περίσσεια αέρα, η οποία είναι κατάλληλη για την οξειδωση υψηλής θερμοκρασίας(high temperature oxidation). Τα κατάλοιπα καυσίμων που περιέχουν θείο, βανάδιο, νικέλιο, και νάτριο, με τις συνθήκες καύσης που δημιουργούνται, προκαλούν διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας και επικαθήσεις τέφρας. Οι ευπαθείς επιφάνειες του κινητήρα, είναι η κεφαλή του εμβόλου, οι έδρα

της βαλβίδας εξαγωγής και το τούρμπο. Ενώσεις υδρογονανθράκων που σχηματίζονται από την ατελή καύση, προσκολλούνται σε μεταλλικές επιφάνειες με κολλώδη υφή και παγιδεύουν διαβρωτικές επικαθήσεις .

Όντας το καύσιμο σε υγρή μορφή, για να γίνει μείγμα και μέχρι την αυτανάφλεξή του, μεσολαβούν επιμέρους φάσεις(διεργασίες)

- εξάτμιση των σταγονιδίων
- πλήρης ανάμειξη των ατμών του πετρελαίου με τον αέρα
- προφλογική οξείδωση του μείγματος
- τοπική ανάφλεξη

Κατ'όπιν ακολουθεί η ολική καύση του μείγματος. Μια δευτερεύουσα χημική καθυστέρηση (secondary chemical delay), που οφείλεται σε αντιδράσεις προφλογικής οξείδωσης(pre-flame oxidation reactions) λαμβάνει χώρα, και σχετίζεται με τη χημική δομή του καυσίμου. Καθώς η θερμοκρασία γύρω από τα σταγονίδια του καυσίμου αυξάνεται, η σταγόνα καυσίμου αρχίζει να διασπάται, σχηματίζοντας πτητικά αέρια, ενώ ταυτόχρονα η υψηλή πίεση του κυλίνδρου προκαλεί την βραδύτερη καύση άνθρακα και ασφαλτενίων. Στο διάγραμμα καύσης, στο οποίο φαίνονται τα τέσσερα διαδοχικά στάδια της καύσης, απεικονίζεται η κατάσταση λειτουργίας της μηχανής.



Έχοντας τελικά μια σωστά ρυθμισμένη και συντηρημένη μηχανή, η εξέλιξη του φαινομένου τώρα εξαρτάται από την ιδιότητα του καυσίμου, που χαρακτηρίζεται ως ποιότητα ανάφλεξης, και μετριέται με τον αριθμό κετανίων.

Όσον αφορά την εξέλιξη της καύσης, αυτή ολοκληρώνεται στα εξής τέσσερα στάδια:

Στάδιο πρώτο: Καθυστέρηση Εναύσεως (Delay period/ ignition lag): Ο χρόνος που μεσολαβεί από την έγχυση ως την αυτανάφλεξη του καυσίμου. Στην περίοδο αυτή δεν γίνεται η καύση, αλλά το πετρέλαιο λαμβάνει θερμότητα από τον συμπιεσμένο αέρα, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται και να είναι έτοιμο να αυτοαναφλεγεί. Δεν παρατηρείται αύξηση πίεσης και η φάση αυτή ονομάζεται φάση επιβράδυνσης, ή αργοπορίας της έναυσης. Για την ανάφλεξη, χρειάζεται χρονικό διάστημα που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 1,5~1,8 milliseconds(χιλιοστά του δευτερολέπτου). Έχει καθοριστική σημασία για τα επόμενα στάδια της καύσης που θα ακολουθήσουν, διότι σε περίπτωση που αυτό το χρονικό διάστημα υπερβεί τα όρια(π.χ. λόγω υψηλής περιεκτικότητας ασφατενίων που καθυστερούν την ανάφλεξη), τότε η ποσότητα άκαυστου πετρελαίου που συγκεντρώνεται στο θάλαμο καύσης είναι αρκετή ώστε η επόμενη φάση να λάβει τη μορφή έκρηξης, εξ' αιτίας της υψηλής θερμοκρασίας συμπίεσης στο ΑΝΣ και της απότομης ανάφλεξης που θα ακολουθήσει, και εκδηλώνεται ως κτύπημα. Το στάδιο αυτό, έχει ιδιαίτερη σημασία για την ευχέρεια εκκίνησης της μηχανής, ενώ λόγω της εκρηκτικής καύσης, μπορεί να εκδηλωθούν βλάβες, από την καταπόνηση των μερών της μηχανής(στα κουζινέτα, τα έμβολα και τα ελατήρια, κλπ).

Διάρκεια 1-2 περίπου γωνίας 5-20μοίρες, κατά την οποία πραγματοποιείται η έναρξη έγχυσης(1) και η έναρξη καύσης(2). Γι αυτό επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερης διάρκειας. Παράγοντες που επιδρούν στην ελάττωση αυτής της φάσης είναι:

- Υψηλή θερμοκρασία αέρος σάρωσης
- Ανεπαρκής
- Πίεση συμπίεσης: με αύξηση της, αυξάνεται η ποσότητα του αέρα σάρωσης, με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας του, και αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης συμπίεσης(P_{comp}) και της μέγιστης πίεσης(P_{max}).
- Έγχυση: απαιτείται σωστός ψεκασμός, σε μορφή σταγονιδίων που επιταχύνουν την καύση, και υπό υψηλή πίεση(~350 bar).
- Ρύθμιση έγχυσης, με εξασφάλιση σταθερής τιμής της μέγιστης πίεσης(P_{max}) στις 10~20 μοίρες μετά το ΑΝΣ. Έγχυση που πραγματοποιείται πολύ νωρίς(μεγάλη προπορεία), που η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης είναι χαμηλή, έως και πολύ αργά(μεγάλη επιπορεία) κατά την διάρκεια της οποίας η θερμοκρασία του αέρα του κυλίνδρου μειώνεται με την κάθοδο του εμβόλου, αυξάνουν την επιβράδυνση της ανάφλεξης και αυξάνονται οι καταπονήσεις

που δέχεται η μηχανή. Όσον αφορά την αύξηση της προπορείας, όσο δηλαδή πιο νωρίς ψεκάζεται το καύσιμο εντός του κυλίνδρου, τόσο αυξάνεται και μέγιστη πίεση καύσης(P_{max}). Σ' αυτό στηρίζεται ο μεταβλητός χρονισμός.

- Αύξηση στροφών, αυξάνει τη πίεση συμπίεσης(P_{comp}), και τη θερμοκρασία ενώ πρέπει να δοθεί η κατάλληλη προπορεία έγχυσης ώστε να διατηρούνται σταθερές οι στροφές της μηχανής.
- Καύσιμο. Πρέπει να είναι παραφινικής σύνθεσης(ευανανάφλεκτο) και μεγάλου αριθμού κετανίου. Επιπλέον, η αλλαγή πετρελαίου diesel σε βαρύ, αυξάνει την αργοπορεία έναυσης, που συνάδει με την αύξηση του ιξώδους του καυσίμου. Παράλληλα, ελαττώνεται η P_{max} , ενώ αντίστροφα αυξάνονται ειδική κατανάλωση b_c , και $dp/d\theta$ στη δεύτερη φάση, στις 2X μέχρι και 4bar/μοίρα. Αποτέλεσμα αυξημένης αργοπορείας, είναι το κάψιμο του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων (βαλβίδες, έδρες, τούρμπο κλπ), εξ' αιτίας της υπερθέρμανσης.

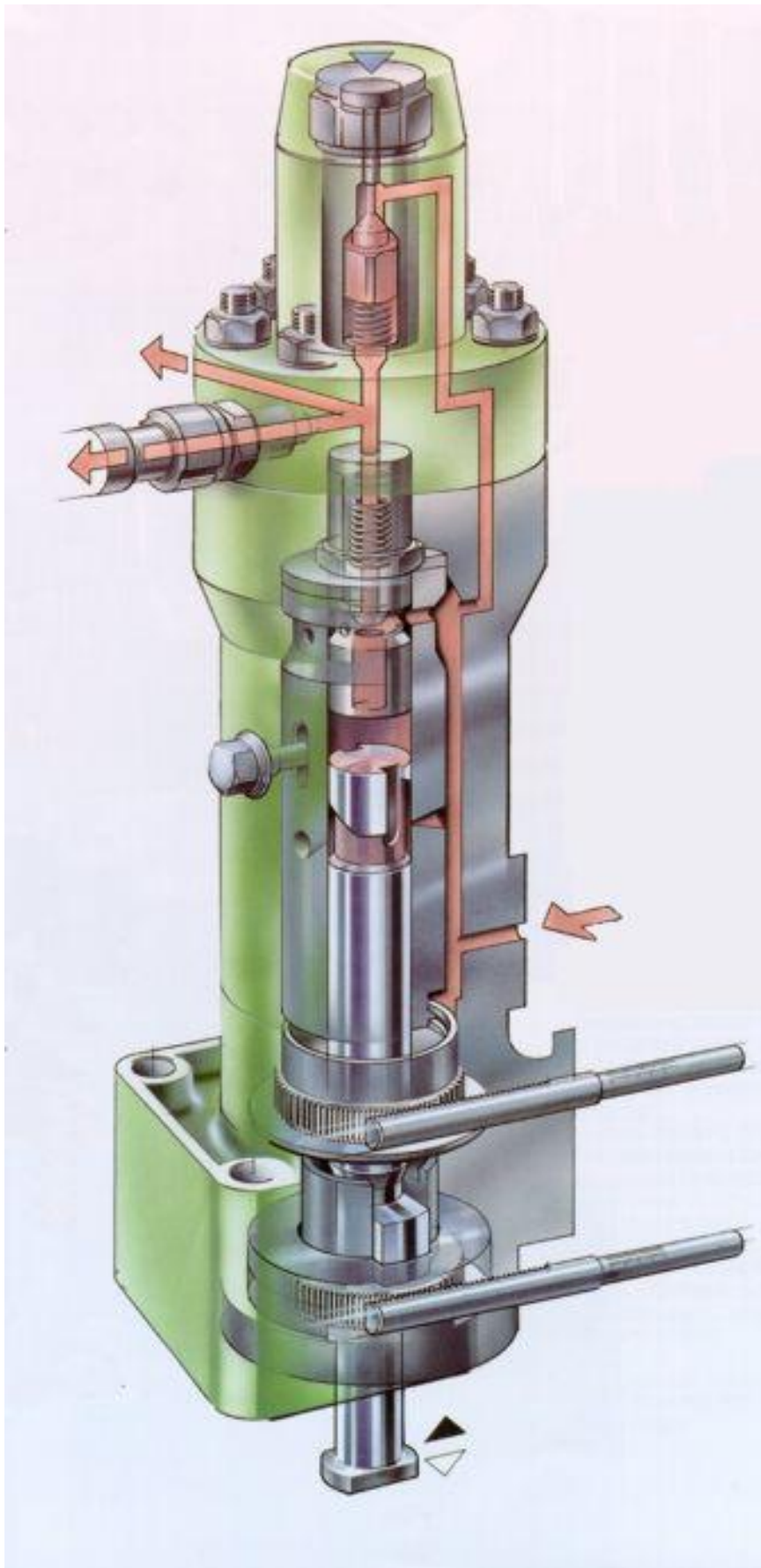
Στάδιο Δεύτερο: Ανεξέλεγκτη (ή Ταχεία) καύση (Uncontrolled burning): Ονομάζεται και φάση απότομης της πίεσης, αφού το πετρέλαιο που ψεκάστηκε κατά την προηγούμενη φάση, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας της συμπίεσης αναφλέγεται, με απότομη αύξηση της πίεσης. Ξεκινά από την στιγμή της ανάφλεξης, έως τη στιγμή που το πλεόνασμα του καυσίμου που έχει συγκεντρωθεί στο θάλαμο καύσης κατά την διάρκεια του προηγούμενου σταδίου καίγεται, ώστε η καύση που θα ακολουθήσει στο τρίτο στάδιο, να είναι ομαλή. Το πετρέλαιο ψεκάζεται διαρκώς, σε κάθε μοίρα αυτής της φάσης. Η κλίση της καμπύλης αυξάνεται, δηλαδή η γωνία ϕ που σχηματίζεται μεταξύ της καμπύλης και του οριζοντίου άξονα των μοιρών στο σημείο 2 μεγαλώνει, όσο πιο απότομα πραγματοποιείται ο ρυθμός της καύσης. Η απότομη ανάφλεξη μπορεί να οδηγήσει σε εκρηκτική καύση που ονομάζεται κτύπος πετρελαίου ή καύσης(fuel or combustion knock). Η φάση αυτή είναι ανεξέλεγκτη, και για να ελαττωθούν οι παραπάνω επιπτώσεις, πρέπει να γίνει η μείωση της πρώτης φάσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση της ανάφλεξης, πιο γρήγορα και απότομα εξελίσσεται η καύση του μείγματος σ' αυτό το στάδιο. Η απότομη αύξηση πιέσεων μπορεί να οδηγήσουν σε εκρηκτική καύση, η οποία γίνεται αντιληπτή στη μηχανή σαν κραδασμός(κτύπημα). Σημεία καμπύλης 2,3 και γωνίας 5-10 μοίρες.

Στάδιο Τρίτο: Ελεγχόμενη καύση (controlled burning): (αλλιώς ρυθμιζόμενη φάση). Τώρα, πίεση και θερμοκρασία στον χώρο καύσης έχουν αυξηθεί σε σημείο ώστε όσο ο καυστήρας συνεχίζει να ψεκάζει, το καύσιμο αμέσως μετά την είσοδο στον θάλαμο καύσης καίγεται ομαλά, καθώς αναμειγνύεται με το ήδη καιόμενο καύσιμο και εξ' αιτίας της υψηλής θερμοκρασίας. Η πίεση κατά το στάδιο αυτό παραμένει σχεδόν σταθερή. Η φάση αυτή εξαρτάται από:

- Την ποιότητα έγχυσης. Δηλαδή είναι σημαντικό το καύσιμο να ψεκάζεται σε υψηλή πίεση υπό μορφή νέφους.
- Την πίεση σάρωσης, ώστε η περίσσεια αέρα να αποπλένει τον κύλινδρο με τον στροβιλισμό που αποκτάει, από την διαμόρφωση των θυρίδων της σάρωσης. Επομένως, οι διάφορες επικαθήσεις λόγω ατελούς καύσης, που ρυπαίνουν την σάρωση και τις θυρίδες, επιδρούν αρνητικά.
- Βάση των παραπάνω, σε συνδυασμό με την κατάλληλη διαμόρφωση του κνώδακα, ώστε ο ρυθμός έγχυσης (δηλαδή η ανά μοίρα στροφής του στροφαλοφόρου άξονα εγγεόμενη ποσότητα καυσίμου) να είναι ο επιθυμητός, είναι δυνατό να προκαλέσει αύξηση πίεσης στον χώρο καύσης, σταθερή πίεση καύσης, ή μειωμένη πίεση καύσης. Έτσι η φάση αυτή είναι ρυθμιζόμενη.

Στάδιο Τέταρτο: Επίκαυση (Afterburning) : Ονομάζεται και μετάκαυση. Αντιστοιχεί στην καύση που συνεχίζεται, αφού έχει σταματήσει και η έγχυση, και είναι ανεπιθύμητη. Βαρύτερα κλάσματα του πετρελαίου και υπόλοιπο άκαυστου καυσίμου, με μικρότερη πτητικότητα, τα οποία το αναμιγνύεται με τον αέρα σάρωσης, εξακολουθούν να καίγονται καθώς απαιτείται περισσότερος χρόνος, τόσο για την εξαερίωσή τους, όσο για την ανάμειξη και την καύση τους, η οποία τελικά ολοκληρώνεται. Είναι η συνέχιση της καύσης κατά την εκτόνωση, και αποδίδεται θερμότητα προς το νερό ψύξης του κυλίνδρου και τα καυσαέρια, των οποίων η θερμοκρασία τους αυξάνει. Εξ' αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, υπερθερμαίνονται τα εξαρτήματα και καίγονται (βαλβίδες, κεφαλές εμβόλων, κλπ), σχηματίζονται εξανθρακώματα, παρατηρείται κάπνισμα της μηχανής, και αντιοικονομική της λειτουργία. Αντιμετωπίζεται με τον στροβιλισμό του αέρα σάρωσης, και της σωστής έγχυσης - που εξασφαλίζονται στην τρίτη φάση (με σωστό καθαρισμό και συντήρηση που υποδεικνύει ο κατασκευαστής), και με αύξηση της προπορείας.

Τα αναφερθέντα στάδια που περιγράφουν την εξέλιξη της καύσης, λαμβάνονται με διαγράμματα, και η πορεία της καταγράφεται συναρτήσει πιέσεως του θαλάμου καύσης, και της γωνίας του στροφαλοφόρου άξονα, που αντιστοιχεί ουσιαστικά στη θέση του εμβόλου.

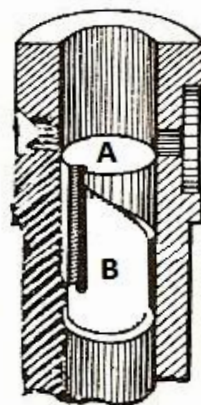


Κεφάλαιο 2^ο

Αντλία BOSCH

2.1.1 Γενική περιγραφή της αντλίας

Κάθε κύλινδρος φέρει 2 εγχυτήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο καπάκι του, και τους τροφοδοτεί με καύσιμο μία αντλία υψηλής πίεσης τύπου BOSCH. Όλες οι αντλίες λαμβάνουν κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Η αντλία είναι παλινδρομικού τύπου, με ένα έμβολο(plunger) που κινείται σε αντίστοιχο χιτώνιο(barrel). Το έμβολο, στο πάνω μέρος της περιφέρειάς του, φέρει μια αύλακα με ελικοειδή τροχιά, και ονομάζεται «ελικοτομή»(βλ σελ. 11). Αντίστοιχα, το χιτώνιο φέρει στο τοίχωμά του δύο οπές(cut-off holes), οι οποίες βρίσκονται στο ίδιο ύψος μεταξύ τους, και σπείρωμα στο κάτω μέρος του μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η κατακόρυφη μετακίνησή του, ως προς το έμβολο.



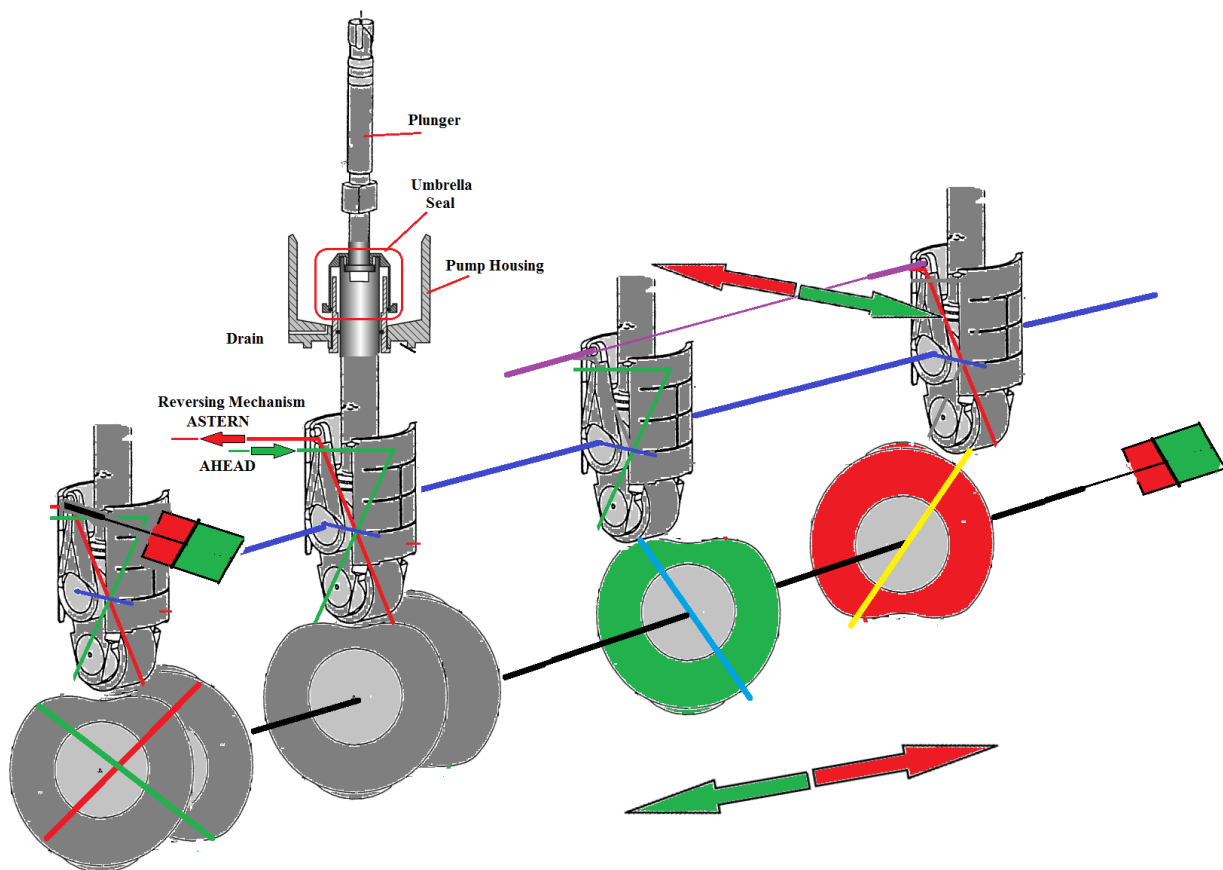
Για την αποφυγή διαρροών, τρεις δακτύλιοι στεγανοποίησης, χαμηλής τριβής, σφραγίζουν το διάκενο μεταξύ του εσωτερικού του περιβλήματος της αντλίας που κινείται κατακόρυφα το χιτώνιο, και της εξωτερικής επιφάνειας του χιτωνίου. Αντίθετα, το έμβολο που κινείται εντός του χιτωνίου, στην επιφάνειά του, για τον ίδιο λόγο φέρει αύλακα και όχι πρόσθετους στεγνωτικούς δακτυλίους. Κατάλληλες οπές επιτρέπουν την αποστράγγιση των ενδεχόμενων διαρροών, ενώ η ευθυγράμμιση των εσωτερικών εξαρτημάτων της, γίνεται με αύλακες, στις επιφάνειες των οποίων εδράζονται κοχλίες. Για την αποφυγή εισροής καυσίμου στον χώρο του εκκεντροφόρου άξονα, και την ανάμειξή του με το λάδι λίπανσης, η οπή από την οποία διέρχεται το βάκτρο(roller guide) του εμβόλου της αντλίας και πατά στον κνώδακα, στεγανοποιείται με την χρήση «umbrella seal».

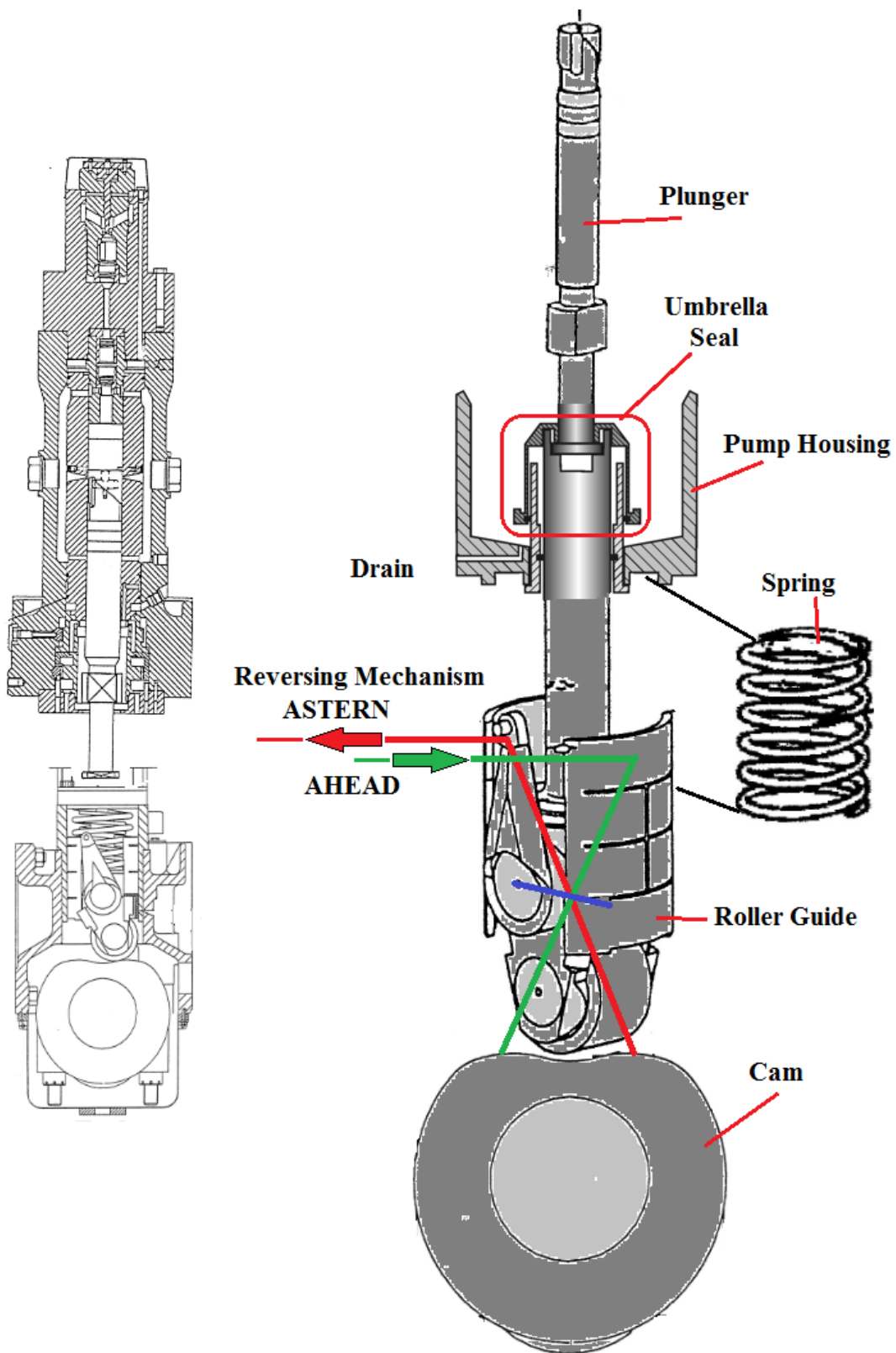
Η άμεση επαφή του roller guide με τον κνώδακα, εξασφαλίζεται από δύο ελικοειδή ελατήρια που τον ωθούν προς τα κάτω. Κάθε αντλία διαθέτει επίσης μηχανισμό ανύψωσης(lifting device) του roller guide, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, και αφού κριθεί αναγκαίο να κοπούν πετρέλαια σε κάποιον κύλινδρο. Ο μηχανισμός αυτός είναι ενσωματωμένος στο περίβλημα της αντλίας και μέσω αυτού, αποκόπτεται η επαφή του roller guide από το έκκεντρο. Έτσι η παλινδρόμηση του εμβόλου σταματά, οπότε και η κατάθλιψη του καυσίμου διακόπτεται.

2.1.2 Reversing mechanism

Η περιστροφή του άξονα της προπέλας, που λαμβάνει κίνηση από την μηχανή, μπορεί να είναι είτε δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη, ανάλογα με την εντολή ΠΡΟΣΩ ή ΑΝΑΠΟΔΑ. Χωρίς τη χρήση ρεβέρσας ή άλλου μηχανισμού, η ανάστροφη κίνηση της μηχανής επιτυγχάνεται με την αλλαγή της σειράς καύσης(firing order).

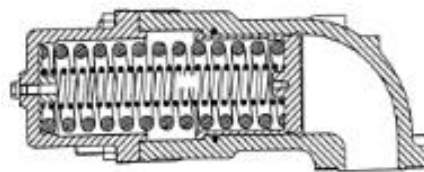
Για τον σκοπό αυτό, ο εκκεντροφόρος άξονας μετατοπίζεται οριζόντια, σε δύο ακραίες θέσεις, ανάλογα με την απαιτούμενη κίνηση, κάθε φορά. Ταυτόχρονα με την μετατόπιση του εκκεντροφόρου, μετατοπίζονται και οι roller guides των κυλίνδρων της κάθε αντλίας. Πιο συγκεκριμένα, ο ένας κνώδακας είναι για κάθε αντλία. Ο roller guide της κάθε αντλίας μπορεί να μεταβάλλει την θέση του πάνω στον κνώδακα, ενώ η μόνιμη επαφή του με αυτόν, εξασφαλίζεται από την τάση ελατηρίου που παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Έτσι, αν ένας κύλινδρος που ήταν στη φάση της έγχυσης, και ένας δεύτερος ήταν στην φάση της εκτόνωσης, με τον συνδυασμό αυτών των δύο ταυτόχρονων μετατοπίσεων, των roller guide και του εκκεντροφόρου, πραγματοποιείται το μπατάρισμα της μηχανής. Οι μετατοπίσεις αυτές, εκτελούνται από πνευματικά έμβολα και ανάλογο πνευματικό σύστημα. Στις εικόνες που ακολουθούν, η θέση ΑΝΑΠΟΔΑ ορίζεται με τα κόκκινα βέλη, ενώ αντίστοιχα η θέση ΠΡΟΣΩ, με τα πράσινα.





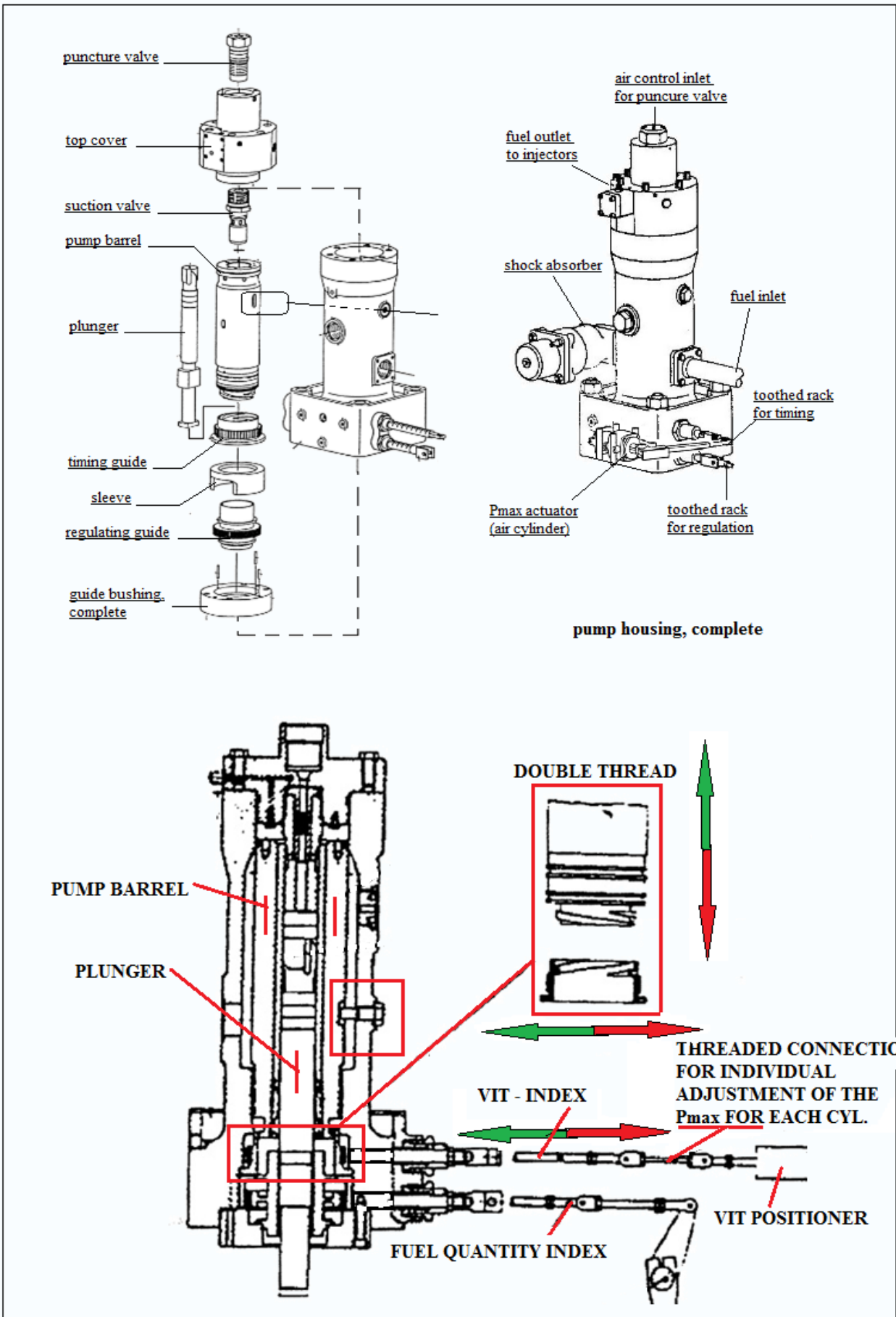
2.1.3 Εξαρτήματα της αντλίας

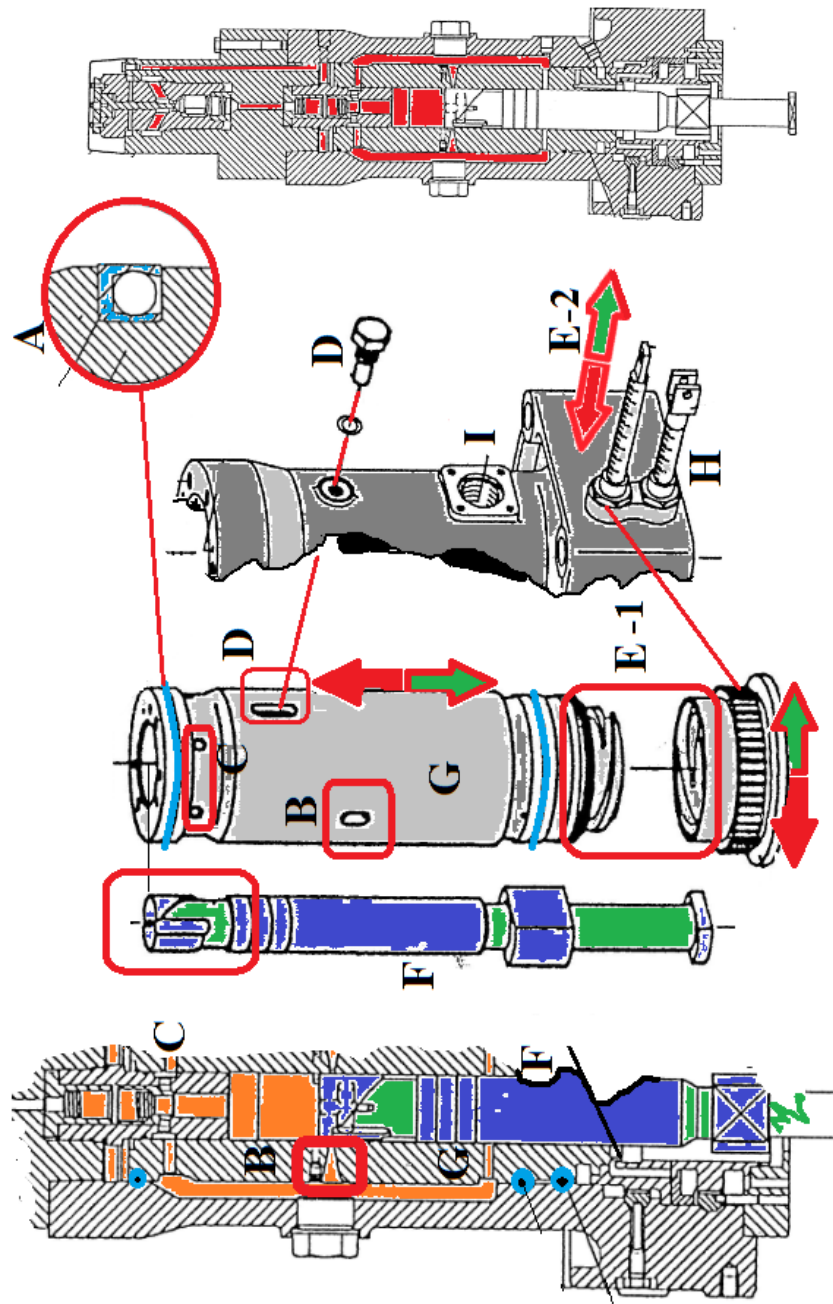
Ένας αποσβεστήρας κραδασμών (shock absorber), (spring loaded damper) είναι τοποθετημένος στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας. Αυτός εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της πίεσης, καθώς δημιουργούνται κρουστικά κύματα υψηλής πίεσης του καυσίμου, στο πέρας της φάσης της κάθε έγχυσης. Συγκεκριμένα, όταν υπάρχει πλεονάζουσα ποσότητα πετρελαίου που δεν ψεκάστηκε στον κύλινδρο, για την αποφυγή του υδραυλικού χτυπήματος και την ενδεχόμενη καταστροφή των εξαρτημάτων της, αυτή διαφεύγει προς τον αποσβεστήρα. Ωθώντας το έμβολο, που βρίσκεται υπό την φόρτιση ελατηρίου, απορροφάται η ενέργεια του υγρού, που λαμβάνει από την παλινδρόμηση της αντλίας.



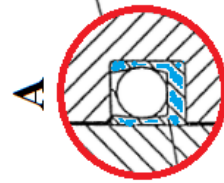
Στο άνω μέρος της αντλίας είναι η puncture valve. Όσο η μηχανή είναι σε λειτουργία, παραμένει κλειστή. Η βαλβίδα αυτή, ενεργοποιείται σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας της μηχανής, δηλαδή όταν από τον τηλεγράφο δοθεί εντολή STOP, είτε μέσω χειρισμών, ή με αυτοματισμό για την προστασία της από μηχανική βλάβη, όπως για παράδειγμα, όταν υπερβολική διαρροή έχει εντοπιστεί από τους σωλήνες καυσίμου με διπλά τοιχώματα. Κατά την ενεργοποίησή της, πεπιεσμένος αέρας 7 kg/cm^2 που παρέχεται από το σύστημα ελέγχου του αέρα (control air system), ωθεί το έμβολο που υπάρχει στο εσωτερικό της, προς τα κάτω. Όσο παραμένει το έμβολο πιεσμένο προς τα κάτω, η βαλβίδα παραμένει ανοικτή και το πετρέλαιο από την αναρρόφηση κατευθύνεται προς τις επιστροφές. Με το καύσιμο να ρέει προς τις επιστροφές, δεν καταθλίβεται προς τους καυστήρες, και με την διακοπή της καύσης, η μηχανή σταματά να λειτουργεί. Όσο η μηχανή παραμένει εκτός λειτουργίας, η puncture valve μένει ανοικτή, αφού αέρας κρατεί το έμβολό της διαρκώς πατημένο, επιτρέποντας την επανακυκλοφορία του πετρελαίου στο δίκτυο, και διατηρώντας ταυτόχρονα την θερμοκρασία της αντλίας και του δικτύου στην θερμοκρασία του πετρελαίου, δηλαδή στους 135~140°C.

Στα σχήματα που ακολουθούν στις σελίδες 30 και 31, παρουσιάζονται τα εξαρτήματα της αντλίας BOSCH, και ο τρόπος που συνεργάζονται το VIT rack με το barrel, και ο plunger με το fuel quality rack.





- A : sealing rings
- B : cut-off holes
- C : suction holes
- D : groove
- E-1 : double thread
- E-2 : VIT-rack
- F : plunger
- G : barrel
- H : fuel quantity rack
- I : fuel inlet



2.2.1 Περιγραφή λειτουργίας της αντλίας

Εντός του σώματος της αντλίας(pump housing), υπάρχει ένα χιτώνιο(barrel) και στο εσωτερικό του barrel παλινδρομεί ένα έμβολο(plunger).

Το barrel δεν παραμένει σταθερό στην θέση του, αλλά μπορεί να κινείται κατακόρυφα. Επίσης, περιβάλλεται από καύσιμο, καθώς τα τοιχώματά του δεν εφαρμόζουν στα τοιχώματα του pump housing. Με την κατακόρυφη κίνηση - η οποία επιτυγχάνεται με κατάλληλο σπείρωμα το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του, και με την βοήθεια πνευματικού εμβόλου(air cylinder / positioner), μεταβάλλεται κάθε φορά η απόσταση των cut-off holes από τον plunger.

Ο plunger, λαμβάνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα, και βρίσκεται υπό τάση ελατηρίου ώστε να διατηρεί την επαφή του με τον κνώδακα. Κατά την περιστροφή του εκκέντρου, η κίνηση μεταδίδεται από τον roller guide στο έμβολο. Παλινδρομεί στο εσωτερικό του barrel, μεταξύ μίας κατώτατης και ανώτατης θέσης. Επίσης, μπορεί να περιστρέφεται με την βοήθεια οδοντωτού κανόνα(fuel regulating shaft), ο οποίος λαμβάνει κίνηση από το governor της μηχανής όταν τα χειριστήρια είναι γυρισμένα στον αυτόματο, ή από το emergency stand, όταν οι αυτοματισμοί βγαίνουν εκτός. Με την περιστροφή του plunger αλλάζει η θέση της ελικοτομής - μίας αύλακας που φέρει στο πάνω μέρος της, ρυθμίζοντας την ποσότητα έγχυσης του καυσίμου, και καθορίζοντας έτσι τις στροφές της μηχανής.

Περιφερειακά του πάνω μέρους των τοιχωμάτων του barrel υπάρχουν οπές, και στην εσωτερική περιφέρεια, εδράζει ανεπίστροφη βαλβίδα αναρρόφησης(suction valve). Το πετρέλαιο παρέχεται από το fuel service system προς την αντλία, με πίεση 7kg/cm^2 , και γεμίζει το εσωτερικό της, περιβάλλοντας το εξωτερικό του χιτωνίου. Όταν το έμβολο της αντλίας κινείται προς τα κάτω, από το σημείο ανώτατο στο οποίο βρισκόταν κατά την φάση της εκτόνωσης, δημιουργείται κενός χώρος μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου, που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υποπίεσης. Η φάση της αναρρόφησης της αντλίας(suction stroke) - όπως ονομάζεται- λόγω της υποπίεσης, η βαλβίδα αναρρόφησης (suction valve), η οποία βρίσκεται υπό την ένταση ελατηρίου ανοίγει, και ο κενός χώρος που δημιουργείται μεταξύ barrel και plunger, γεμίζει με πετρέλαιο το οποίο εισέρχεται από τις οπές.

Με την ολοκλήρωση της φάσης της σάρωσης και της συμπίεσης, ακολουθεί η έγχυση. Σε όλο αυτό το διάστημα, με την περιστροφή του κνώδακα, το έμβολο της αντλίας κινείται πλέον από το κατώτατο σημείο στο οποίο βρισκόταν, προς τα πάνω. Η έγχυση δεν πραγματοποιείται, μέχρι το άνω άκρο της επιφάνειας του εμβόλου, να καλύψει πλήρως τις cut-off holes. Καθ' όλη την διάρκεια της πορείας του εμβόλου πραγματοποιείται η άεργος διαδρομή.

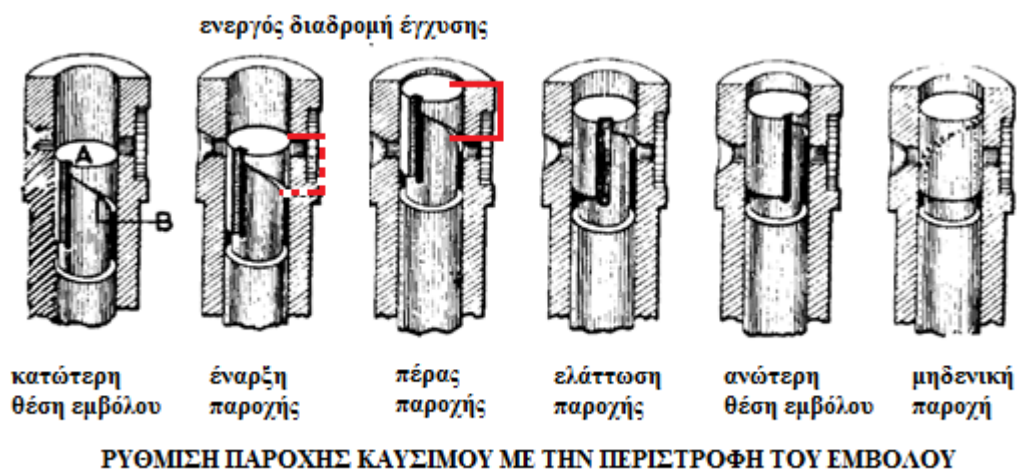
Με την παραπέρα ανύψωση του εμβόλου, οι cut-off holes καλύπτονται, οπότε το καύσιμο θα ωθείται προς τους καυστήρες, οι οποίοι θα ανοίξουν όταν η πίεση θα ανέλθει στα περίπου 1000bar, και θα ξεκινήσει η έγχυση. Η διαδρομή αυτή, μέχρι και την στιγμή που θα διακοπεί η έγχυση ονομάζεται ενεργός διαδρομή. Η έγχυση θα διακοπεί όταν η ελικοτομή αποκαλύψει τις cut-off holes, επομένως η πίεση πέφτει, επειδή το καύσιμο πλέον κυκλοφορεί στην αντλία.

Η ελικοτομή, σε συνδυασμό με τις cut-off holes, μπορούν να χαρακτηριστούν σαν by-pass μεταξύ αναρρόφησης και κατάθλιψης, με το οποίο ρυθμίζεται η ποσότητα του καυσίμου από την περιστροφή του εμβόλου, το πόσο νωρίς ή αργά θα γίνει η κατάθλιψη, και την κατακόρυφη μετατόπιση του χιτωνίου.

Η ενεργός διαδρομή καταθλίψεως δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται κάθε φορά που είτε στρέφεται το έμβολο της αντλίας, ή κινείται το χιτώνιο κατακόρυφα, άνω ή κάτω. Σε δεδομένες μοίρες περιστροφής, η θέση της ελικοτομής αντιστοιχεί σε διαφορετική θέση του χειριστηρίου (STOP, DEAD SLOW, SLOW, HALF, FULL AWAY), αφού μεταβάλλεται η ποσότητα του καυσίμου, ενώ η προπορεία μπορεί να αυξομειώνεται για τις δεδομένες στροφές, βάση του φορτίου, που δέχεται η μηχανή.

Με την ενεργοποίηση του πνευματικού εμβόλου, και την ώθηση του rack στο εσωτερικό της αντλίας, το χιτώνιο θα κινηθεί προς τα πάνω. Το έμβολο παλινδρομεί σε σταθερό μήκος διαδρομής, και το μέγεθος που μεταβάλλεται, είναι η προπορεία, καθώς η απόσταση των cut-off holes και του άνω άκρου του εμβόλου αυξάνεται, αυξάνοντας ταυτόχρονα την καθυστέρηση της έγχυσης.

Τις απότομες μεταβολές πίεσης της έγχυσης, τις απορροφά ένας shock absorber.

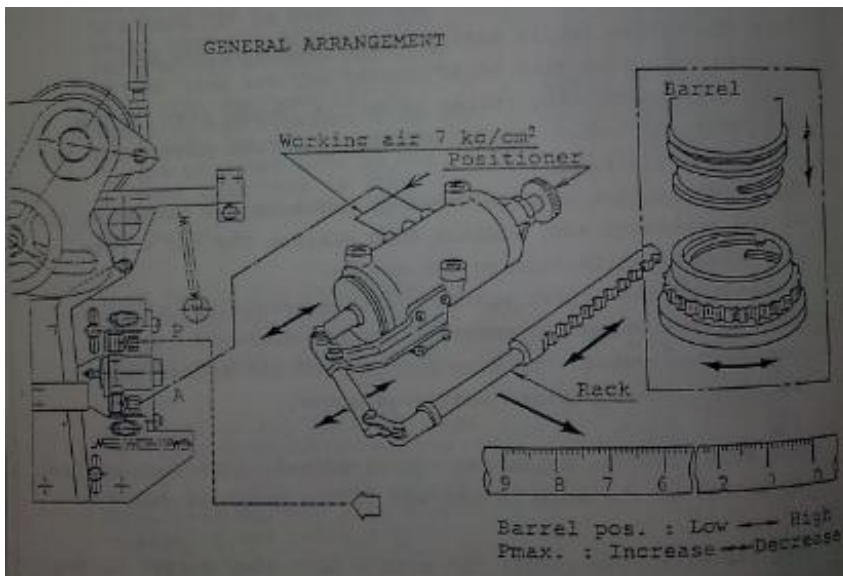


2.2.2 Περιγραφή μηχανισμού μεταβολής του χρονισμού

Κάθε φορά που παρέχεται αέρας στον positioned (air cylinder), το μήκος του rack (οδοντωτός κανόνας) με το οποίο είναι συνδεδεμένο, αυξομειώνεται μετακινούμενο οριζόντια, εντός ή εκτός της αντλίας (pump housing). Με αυτή την κίνηση, περιστρέφεται το pinion (οδοντωτός τροχός), ο οποίος εμπλέκεται στο rack. Στην εσωτερική περιφέρεια του pinion υπάρχει σπείρωμα (θηλυκό) στο οποίο εμπλέκεται αντίστοιχο, που βρίσκεται στην εξωτερική διάμετρο του barrel (αρσενικό). Όταν το pinion περιστραφεί, το barrel κινείται κατακόρυφα, καθώς στο πάνω μέρος του εξωτερικού του υπάρχει αύλακα, στην οποία εδράζει κατάλληλα κοχλίας, και επιτρέποντας την κατακόρυφη κίνηση και όχι την περιστροφή του.

Με την κατακόρυφη κίνηση του barrel, μεταβάλλεται η απόσταση των cut-off holes από το άνω άκρο του plunger, δηλαδή η ενεργός διαδρομή. Όσο πιο χαμηλά βρίσκεται το χιτώνιο, τόσο πιο νωρίς πραγματοποιείται και η έγχυση, επειδή οι cut-off holes καλύπτονται πιο νωρίς από τον plunger, χωρίς να διαφεύγει από αυτές καύσιμο. Αντίθετα, όταν το barrel ανυψωθεί, για το δεδομένο βύθισμα του plunger, η άεργος διαδρομή του (μέχρι δηλαδή να ξεπεράσει τις cut-off holes) αυξάνεται, και το καύσιμο διαφεύγει από τις cut-off holes, μέχρι ο plunger να τις καλύψει. Έτσι επιτυγχάνεται η καθυστέρηση της έγχυσης.

Για δεδομένη προπορεία, οι στροφές της μηχανής ρυθμίζονται ώστε όταν ο plunger περιστρέφεται και η ελικοτομή αποκαλύπτει τις cut-off holes, να σταματά η έγχυση. Η ελικοτομή, είναι μια αύλακα με ελικοειδή κλίση, στο πάνω μέρος του plunger. Σε αντίθεση με ένα απλό έμβολο, το



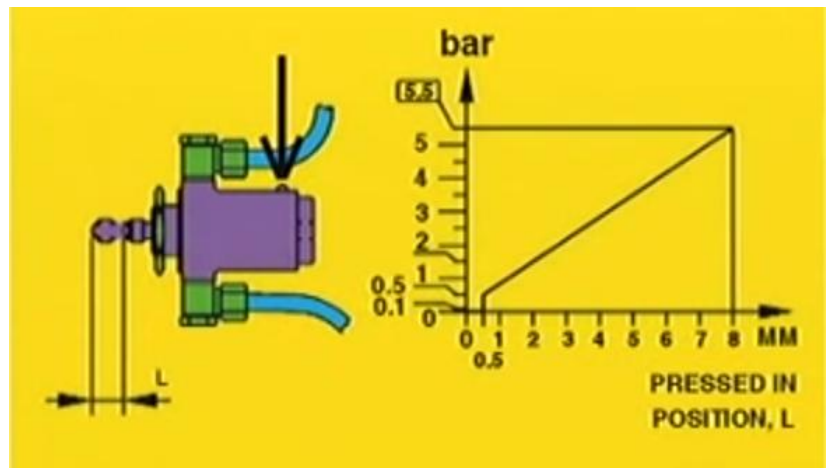
οποίο καταθλίβει όλο τον όγκο του ρευστού που εισέρχεται εντός του αντίστοιχου χιτωνίου, με την κατάλληλη περιστροφή του plunger στο αντίστοιχο barrel το οποίο φέρει τις cut-off holes, ο όγκος κατάθλιψης μπορεί να μεταβάλλεται διαρκώς, μόλις αυτές αποκαλυφθούν από την αύλακα τις ελικοτομής.

Η κλίμακα που φέρει το rack αντιστοιχεί στη θέση ύψους του barrel από το κατώτατο σημείο της. Μέγιστη τιμή μετατόπισης του barrel είναι 9 mm κατακόρυφως.

2.2.3 Περιγραφή του συστήματος ελέγχου του χρονισμού έγχυσης

Οι στροφές της μηχανής ρυθμίζονται είτε αυτόματα με το governor, ή με τα emergency χειριστήρια, σε περίπτωση που υπάρχει βλάβη στο ηλεκτρονικό σύστημα. Και οι δύο μηχανισμοί επενεργούν σε κοινό άξονα, και η κίνηση μεταδίδεται προς τον οδοντωτό κανόνα του fuel regulating shaft μέσω μεταλλικών ράβδων και συνδέσμων, που συνεργάζονται κατάλληλα μεταξύ τους. Έτσι ο οδοντωτός κανόνας μπορεί να εξέρχεται του pump housing, περιστρέφοντας κατάλληλα τον plunger και μειώνοντας την ποσότητα του καυσίμου που πρόκειται να εγχυθεί, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, η ποσότητα θα αυξάνεται, μειώνοντας ή αυξάνοντας αναλογικά τις στροφές.

Ο άξονας, με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το governor και τα emergency χειριστήρια, συνδέεται με την pilot valve που τροφοδοτείται με control air πίεσης 5,5 bar. Όταν οι στροφές της μηχανής αυξάνονται, ο άξονας με τον οποίο είναι συνδεδεμένη η pilot valve κινείται δεξιόστροφα. Αντίστροφα, όταν οι στροφές μειώνονται, ο άξονας κινείται αριστερόστροφα. Με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλεται κάθε φορά η απόσταση του sensor pick-up(E), καθώς διατηρείται σε επαφή με το beam(A). Η πίεση εξόδου της βαλβίδας κυμαίνεται από 0,5~5,5bar και είναι ανάλογη της απόστασης του sensor pick-up που εισέρχεται ή εξέρχεται από την pilot valve με αντίστοιχα μήκη 0,5~8mm. Το μήκος του sensor pick-up, συνδέεται με την πίεση εξόδου, βάση της καμπύλης.



Με την αντίστοιχη μεταβολή της απόστασης(L) του sensor pick-up, μεταβάλλεται αναλογικά η πίεση του αέρα εξόδου της pilot valve. Βάση της πίεσης εξόδου καθορίζεται η προπορεία για όλους τους κυλίνδρους ταυτόχρονα, καθώς ο αέρας παρέχεται προς τους positioners. Ο καθένας από αυτούς, είναι ένας πνευματικός κύλινδρος(air cylinder), το έμβολο του οποίου είναι συνδεδεμένο με οδοντωτό κανόνα. Με τη μεταβολή της πίεσης εξόδου από την pilot valve, το έμβολο του positioner ωθεί ή έλκει προς τα έξω τον οδοντωτό κανόνα, μειώνοντας ή αυξάνοντας ανάλογα την προπορεία του κυλίνδρου.

2.3 Τρόπος λειτουργίας του συστήματος ελέγχου

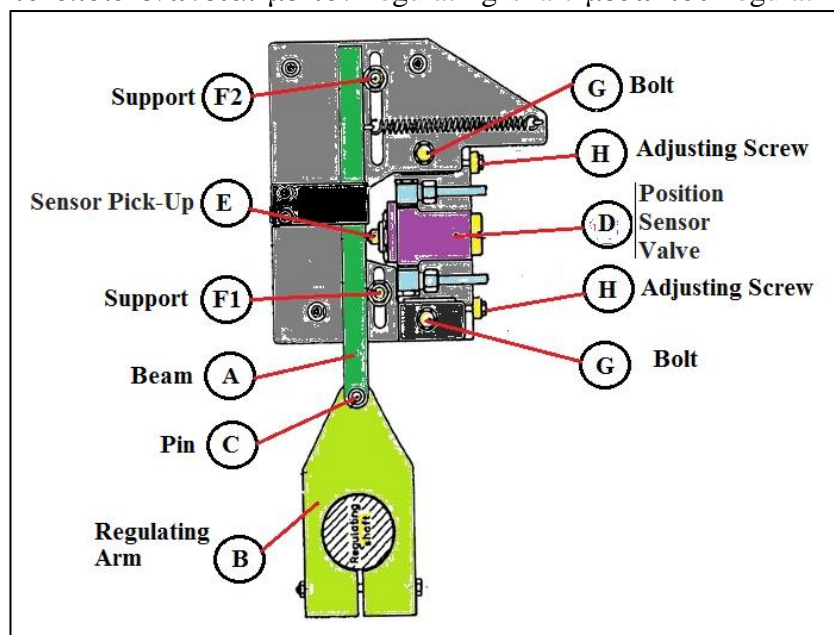
Όπως απεικονίζεται στο σχήμα. 1, όλοι οι VIT-rack position servos ελέγχονται και ενεργοποιούνται πνευματικά, μέσω σημάτων αέρα από ένα κοινό αισθητήρα θέσης- βαλβίδας (position sensor valve), η οποία είναι τοποθετημένη στη βάση της κονσόλας έκτακτης ανάγκης(emergency stand). Αυτός ο αισθητήρας θέσης, ενεργοποιείται μηχανικά με συνδέσεις από το governor και το regulating shaft.

Η pilot valve αποτελείται από ένα πνευματικό έμβολο[position sensor valve-(D)], στο οποίο παρέχεται διαρκής πίεση αέρα εισόδου 5,5 bar. Συνδέεται με τον άξονα του governor(regulating shaft), με τον regulating arm(B). Η μεταλλική λάμα [beam-(A)] ενώνεται με τον regulating arm(B), μέσω του πείρου [pin-(C)].

Το position sensor valve-(D), φέρει στο άκρο του ακίδα[sensor pick-up(E)]. Με την πίεση του αέρα εισόδου του position sensor valve-(D), ο sensor pick-up-(E), βρίσκεται σε διαρκή επαφή με το beam(A). Όταν το beam(A) μετακινηθεί προς τον position sensor valve-(D), θα ωθήσει προς το εσωτερικό και τον sensor pick-up-(E), ενώ όταν απομακρυνθεί, η πίεση του αέρα θα ωθήσει το sensor pick-up-(E) προς το beam(A). Με την κίνηση του sensor pick-up-(E), μειώνεται ή αυξάνεται η απόστασή του από τον position sensor valve-(D), μειώνοντας ή αυξάνοντας αναλογικά και την πίεση εξόδου του position sensor valve-(D). Η πίεση εξόδου, ρυθμίζει τους positioners των κυλίνδρων, οι οποίοι προσαρμόζουν ανάλογα με τις στροφές, την κατάλληλη προπορεία.

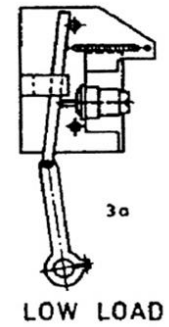
Ο regulating shaft μπορεί να περιστραφεί σε ένα ορισμένο εύρος μοιρών, σε σχέση με τις στροφές της μηχανής. Έτσι, το beam(A), το οποίο ενώνεται με τον regulating shaft μέσω του regulating arm(B), αλλάζει γωνία κατά την περιστροφή, προκαλώντας την μεταβολή της απόστασης του sensor pick-up(E) από την position sensor valve (D).

Η pilot valve φέρει πάνω της ρυθμιστικούς κοχλίες, με τους οποίους επιτυγχάνεται η κατάλληλη ρύθμιση της προπορείας.



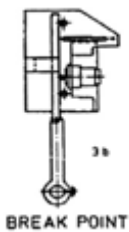
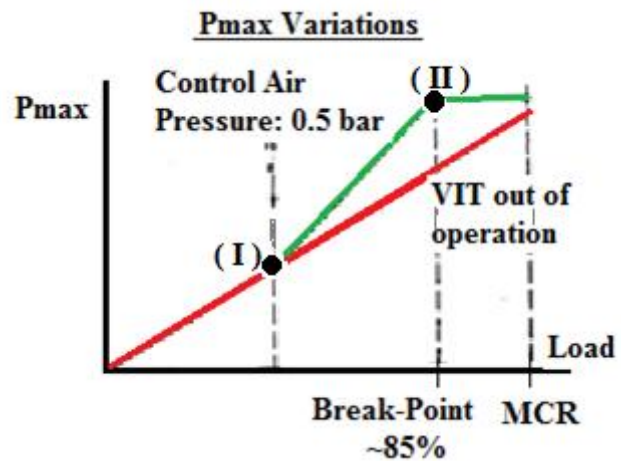
Το VIT είναι εκτός λειτουργίας σε χαμηλά φορτία, μικρότερα από το 40% MCR. Αυτό γίνεται προκειμένου να αποφευχθούν οι συχνές αλλαγές της fo pump lead (VIT-index) κατά τη διάρκεια ελιγμών.

Σε μηδενικό φορτίο(zero load), το beam(A) is fully lifted ανασηκώνεται πλήρως, και ο position sensor(D) δίνει μηδενική πίεση ελέγχου(zero control pressure) στους position servos της κάθε αντλίας καυσίμου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καθυστερημένος χρονισμός ψεκασμού(delayed injection timing).

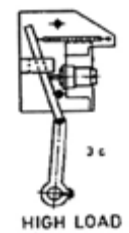


Καθώς το φορτίο της μηχανής αυξάνεται, η καθυστερημένη λειτουργία εγχύσεως συνεχίζεται μέχρις ότου η beam(A) να έχει έρθει σε επαφή με τον sensor pick-up (E), οπότε, η πίεση ελέγχου φθάνει τα 0,5 bar. Αυτά τα σημεία απεικονίζονται στα ΣΧ. 3α και 4.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί περίπου στο 85% MCR, ο αισθητήρας pick-up (E) ενεργοποιείται, αυξάνοντας έτσι σταδιακά την πίεση ελέγχου. Αυτό προκαλεί τα position servos να μεταβάλλουν το VIT-index, και έτσι να γίνεται advance στον χρονισμό έγχυσης καθώς αυξάνεται το φορτίο, και βάση της καμπύλης I-II στο διπλανό σχήμα.

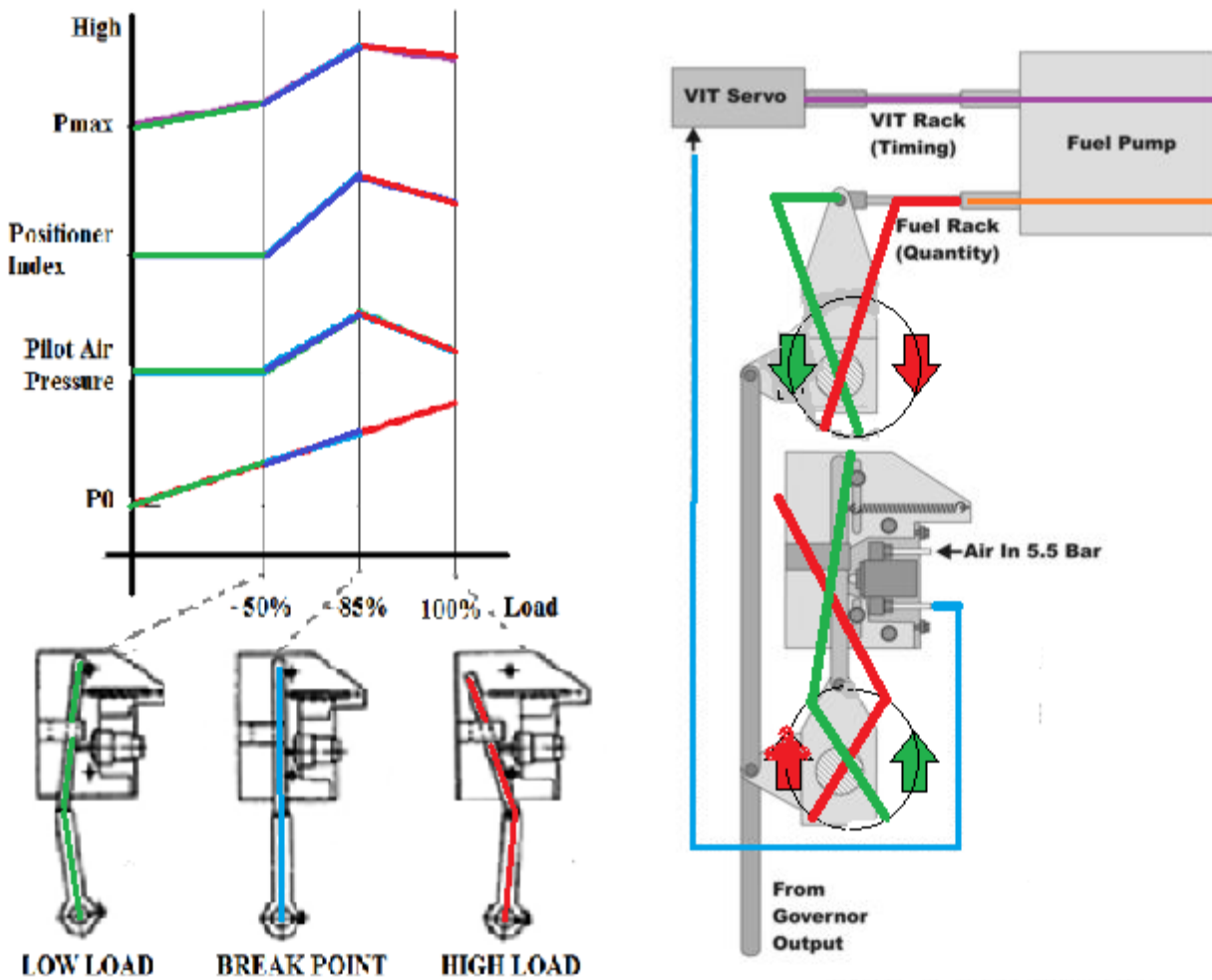


Στο περίπου. 85% MCR, η μέγιστη πίεση καύσης φθάνει το καθορισμένο Pmax σχεδιασμού για τον κινητήρα. Σε αυτό το φορτίο, η δέσμη (A) αγγίζει τόσο στηρίγματα (F1 και F2), και ο αισθητήρας πικάπ (E) είναι πλήρως πιεσμένος.



Εάν το φορτίο του κινητήρα αυξηθεί πάνω από 85% της MCR, η δέσμη beam (A) θα περιστρέφεται γύρω από τη στήριξη (F1), μειώνοντας έτσι την πίεση κατάθλιψης του αισθητήρα πικάπ sensor pick-up (E), βλέπε επίσης σχήμα. 3γ. Αντίστοιχα, η πίεση ελέγχου από τον αισθητήρα προκαλεί τους VIT-rack position servos να καθυστερήσουν τον χρονισμό έγχυσης με κατάλληλο ρυθμό, διατηρώντας έτσι σταθερή την μέγιστη πίεση καύσης μεταξύ περίπου. 85% MCR και 100% MCR.

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα απεικονίζονται οι διάφορες διακυμάνσεις των παραμέτρων, συναρτήσει αύξησης του φορτίου του κινητήρα από μηδέν σε MCR.



Αναλυτικότερα, στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες της μέγιστης πίεσης(P_{max}), της κλίμακας του VIT-rack(Positioner Index), την τιμή της πίεσης για την δεδομένη θέση του Positioner Index(pilot valve pressure), και την τιμή του fuel-rack(fuel index- P_0), συναρτήσει κάθε τιμής του φορτίου.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, ενώ το τιμή του fuel index- P_0 αυξάνεται συναρτήσει κάθε τιμής του φορτίου, το VIT-rack(Positioner Index) κινείται, ώστε προσαρμόζεται το fuel injection timing, και η P_{max} να διατηρείται σταθερή, μετά το 85% του φορτίου και όσο αυτό αυξάνεται μέχρι το 100%, και ανεξάρτητα από αυτή την αύξηση. Με την διατήρηση της P_{max} σε μέγιστη τιμή, ανεξάρτητα του φορτίου, επιτυγχάνεται η οικονομία του καυσίμου.

Οι καμπύλες αυτές μπορούν να μεταβληθούν, με την κατάλληλη προσαρμογή των κοχλιών της pilot valve(F1, F2, G, H), και βάση των χαρακτηριστικών καύσης του καυσίμου, με σκοπό την μέγιστη απόδοση της μηχανής.

2.4 Πλεονεκτήματα από την χρήση του VIT

Με την χρήση του VIT, στόχος είναι η οικονομικότερη διαχείριση των καυσίμων, και μέσω του ελέγχου της πίεσης συμπίεσης και της μέγιστης πίεσης, η ελάχιστη ειδική κατανάλωση(SFOC-Special fuel oil consumption). Το σύστημα μεταβλητού χρονισμού έγχυσης καυσίμου, ικανοποιεί τις απαιτήσεις της διατήρησης της MCR Pmax υπό συνθήκες μερικού φορτίου, με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου . Αυτό επιτυγχάνεται η αυτόματη μεταβολή έναρξης της έγχυσης, ώστε η MCR Pmax να διατηρείται σταθερή καθώς το φορτίο του κινητήρα μειώνεται από 100% , σε ένα ορισμένο μερικό φορτίο, το break –point.

Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να ελέγχει την Pmax στον κύλινδρο στο ίδιο επίπεδο με αυτό του 100% του φορτίου πάνω από το εύρος φορτίου που κυμαίνεται μεταξύ 85% ~ 100%. Για το σκοπό αυτό, ο χρονισμός έγχυσης καυσίμου αλλάζει αυτόματα από τον μηχανισμό ο οποίος κινεί το χιτώνιο της αντλίας έγχυσης καυσίμου(fuel injection pump barrel) κάθετα, και αντιστοιχεί στην κίνηση του άξονα ρύθμισης καυσίμου(fuel regulating shaft).

Το VIT, επενεργεί στην προπορεία (advancing) της έγχυσης, δηλαδή η μέγιστη πίεση καύσης (P_{max}) επιτυγχάνεται στο 85% MCR(maximum continuous rating)- δηλαδή στο 85% του μέγιστου συνεχούς φορτίου της μηχανής. Το σύστημα έχει ρυθμιστεί ώστε να μην υπάρχει καμία αλλαγή στον χρονισμό έγχυσης σε χαμηλά φορτία, μικρότερα από το 40% MCR . Αυτό γίνεται για να αποφεύγονται οι συχνές αλλαγές της pump lead, κατά την διάρκεια των ελιγμών (μανουβρών) .

Καθώς το φορτίο του κινητήρα αυξάνεται πάνω από 40%, το σύστημα επεμβαίνει στην προπορεία της έναρξης της έγχυσης(injection advance). Όταν ο κινητήρας έχει φτάσει περίπου το 85% της MCR, στην οποία τιμή ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί ώστε να φθάνει την Pmax, οι servos επιβραδύνουν το χρονισμό έγχυσης , έτσι ώστε αυτή-(η μέγιστη πίεση καύσης) να διατηρείται σταθερή. Ενδεικτικά, στο 90% MCR, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμων μεταξύ 4~5g/hp/hour.

Ο Μεταβλητός Χρόνος έγχυσης επιτρέπει επίσης μικρές προσαρμογές στο χρονισμό της αντλίας (fuel pump timing) για τις διαφορετικές ποιότητες ανάφλεξης των καυσίμων. Κατά την πετρέλευση(bunkering), είναι δυνατό να ληφθούν διαφορετικής ποιότητας καύσιμα. Η ποιότητα του πετρελαίου, επηρεάζει άμεσα την μέγιστη πίεση Pmax. Σε μια τέτοια περίπτωση για να αποφευχθεί η λειτουργία της μηχανής με πολύ υψηλή πίεση καύσης, και προκειμένου να διατηρηθεί χαμηλή η ειδική κατανάλωση καυσίμου(Specific Fuel Oil Consumption- SFOC), ο χρόνος έγχυσης θα πρέπει να αλλάξει.

Επίσης, είναι δυνατή η διόρθωση του χρονισμού έγχυσης των αντλιών καυσίμου λόγω φθοράς ή εσφαλμένου χρονισμού τους, ή εξ' αιτίας της επιμήκυνσης της αλυσίδας (μέχρι 2 μοίρες), η οποία μεταφέρει την κίνηση στον εκκεντροφόρο από τον στροφαλοφόρο άξονα.

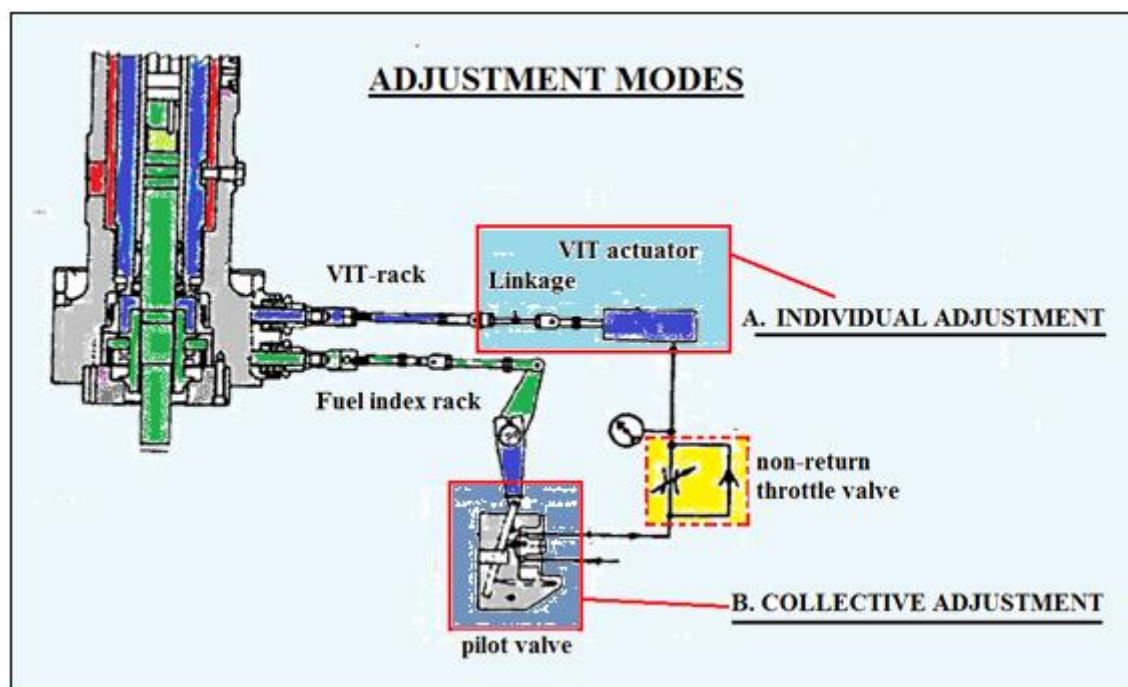
VIT starting point (σημείο εκκίνησης VIT)

Όπως αναφέρθηκε, ο μηχανισμός VIT λειτουργεί μόνο η πίεση του control air είναι μεγαλύτερη από 0,5 bar πάνω από το 40% του φορτίου της μηχανής. Το starting-point είναι προ-ρυθμισμένο από τον κατασκευαστή, και δεν χρειάζεται περαιτέρω προσαρμογή.

2.5.1 Προσαρμογές χρονισμού (Timing adjustments)

Αν και ο regulating shaft είναι αυτός που καθορίζει την θέση των VIT-rack(VIT-rack position), δύο τρόποι ενδιάμεσων ρυθμίσεων είναι δυνατές:

- A) Μεμονωμένη ρύθμιση της μέγιστης πίεσης P_{max} (στην αντλία καυσίμου κάθε κυλίνδρου).
- B) Ολική ρύθμιση P_{max} (στην pilot valve, ταυτόχρονα για όλες τις αντλίες).



A) INDIVIDUAL ADJUSTMENTS:Μεμονωμένες ρυθμίσεις σε κάθε αντλία καυσίμου ξεχωριστά, γίνονται προκειμένου να εξισορροπηθούν οι τιμές της P_{max} (δηλαδή η μέγιστη πίεση για όλους τους κυλίνδρους να είναι ίδια, με απόκλιση $+/- 3$ bar). Αυτό μπορεί να γίνει

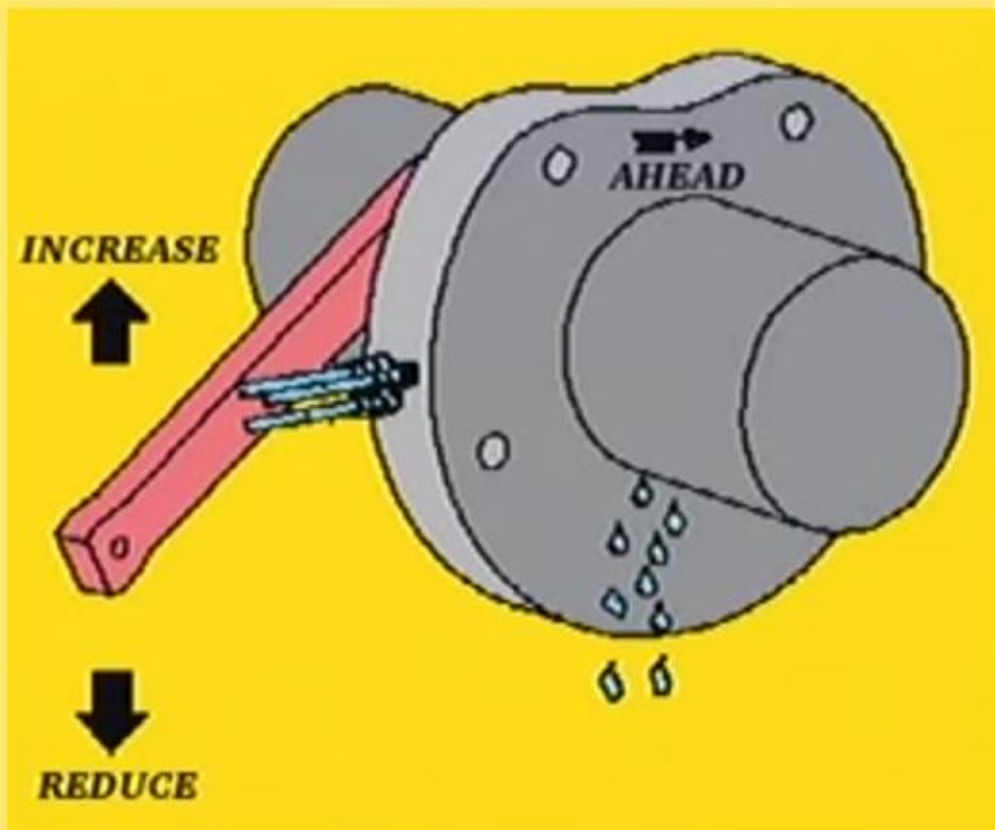
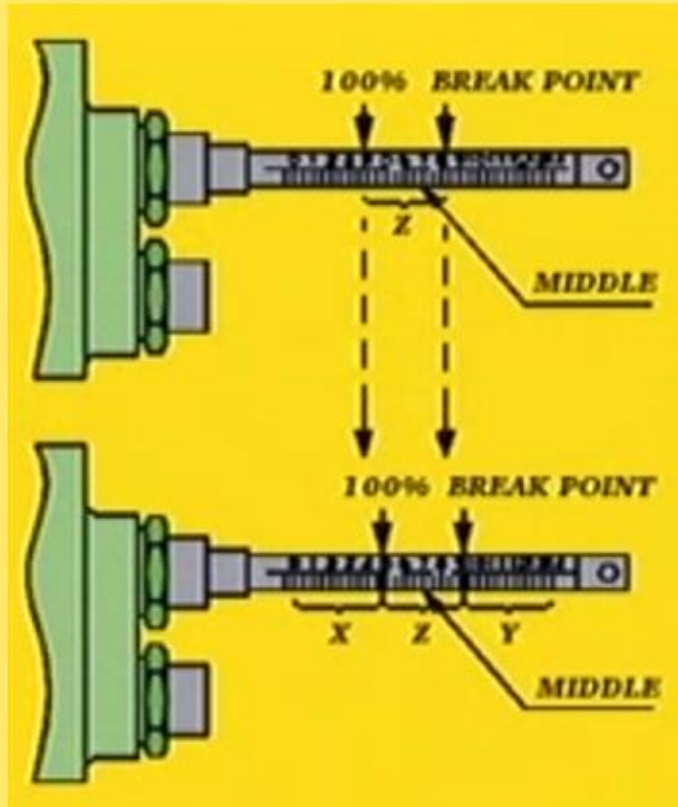
1. είτε με αναπροσαρμογή της θέσης του position servo σε κάθε VIT-rack, (μόνο για κινητήρες, όπου ο position servo είναι τοποθετημένος σε sloted holes).

2. ή με την αναπροσαρμογή του σπειρώματος σύνδεσης threaded connection (σύνδεση με ρυθμιστικό κοχλία και περικόχλια), μεταξύ του position servo και του VIT control shaft.

Εάν κάποιος συγκεκριμένος κύλινδρος δείχνει ιδιαίτερα χαμηλή ή υψηλή Pmax, το VIT-rack του εν λόγω κυλίνδρου μπορεί να ρυθμιστεί από τον σύνδεσμο ρύθμισης (adjusting link) που συνδέεται με το VIT-rack.



Η προπορεία κάθε κυλίνδρου μπορεί να ρυθμιστεί και με την μετακίνηση του κνώδακα έγχυσης. Σκοπός αυτής της μετατόπισης, είναι να κατανεμηθεί το break-point στο 100% του ποσοστού του MCR ομοιόμορφα, και γύρω από τις ενδιάμεσες τιμές του VIT-rack.



Cyl.	VIT index at breakpoint	VIT index at 100%	Average value	Required index after running the cam[1]	Difference between average and required index	Cam top-lift to be adjusted by the following (mm)[2]
1	6	2	4	5	4 - 5	- 1
2	8	4	6	5	6 - 5	+ 1
3	7	4	5,5	5	5,5 - 5	+ 0,5
4	6	1	3,5	5	3,5 - 5	- 1,5
5	9	5	7	5	7 - 5	+ 2

[1] : 0,5 * max VIT index for the actual engine.

[2] : { + } ⇒ turn the cam to AHEAD POSITION

{ - } ⇒ turn the cam to ASTERN POSITION

1 VIT index = 1 mm change of cam top - lift

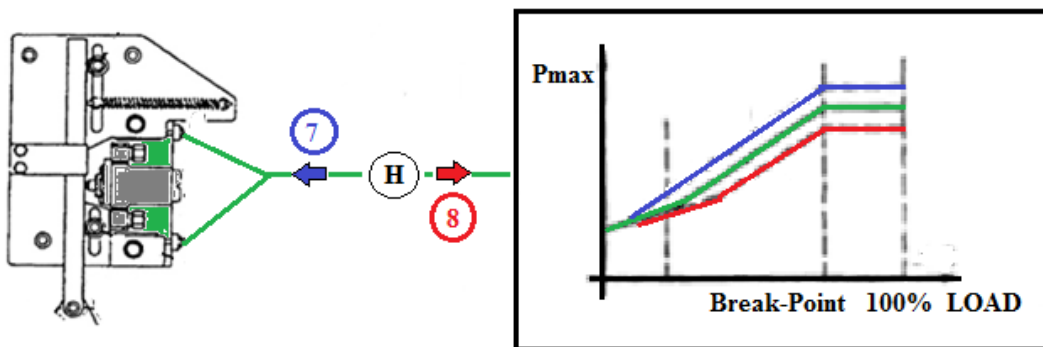
Οι μοίρες περιστροφής του κνώδακα της αντλίας κάθε κυλίνδρου, υπολογίζονται βάση του παραπάνω πίνακα. Αφού ληφθούν οι τιμές των VIT indexes στο breakpoint (~80%MCR) και στο 100% MCR, έπειτα υπολογίζεται ο μέσος όρος των δύο τιμών για όλους τους κυλίνδρους, και με τη διαφορά μεταξύ των τιμών του μέσου όρου και του required index, προκύπτουν οι μοίρες προσαρμογής του κνώδακα, και ανάλογα με το πρόσημο, μετακινείται πρόσω ή ανάποδα(δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα).

B) COLLECTIVE ADJUSTMENTS: ολική ρύθμιση για τη μηχανή στο σύνολό της, που οι κατάλληλες ρυθμίσεις γίνονται στο position sensor unit, στην κονσόλα έκτακτης ανάγκης. Η διαδικασία ρύθμισης, εξαρτάται από την κατάσταση που πρέπει να διορθωθεί.

Υπάρχουν δύο βασικές προϋποθέσεις που ενδεχομένως η επαναρρύθμιση να καθίσταται αναγκαία:

- Διαφορετικές ποιότητες καυσίμου,
- Φθορά της αντλίας και / ή σημαντικές αλλαγές στην LCV.

Changed fuel quality: αν χρησιμοποιηθεί καύσιμο, που έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά καύσης, η P_{max} πιθανώς να αλλάξει. Σε μια τέτοια περίπτωση, προκειμένου να διατηρηθεί χαμηλή η ειδική κατανάλωση καυσίμου(SFOC), ή για να αποφευχθεί η λειτουργία της μηχανής με πολύ υψηλή πίεση καύσης(P_{comb}), ο χρόνος έγχυσης θα πρέπει να αλλάξει. Αυτό γίνεται ξεβιδώνοντας τα bolts(G) και στρέφοντας τους κοχλίες ρυθμίσεως adjustment-screws (H), έτσι ώστε η θέση του sensor(D), σε σχέση με τη beam(A), να προσαρμοστεί στην κατάλληλη κατεύθυνση.

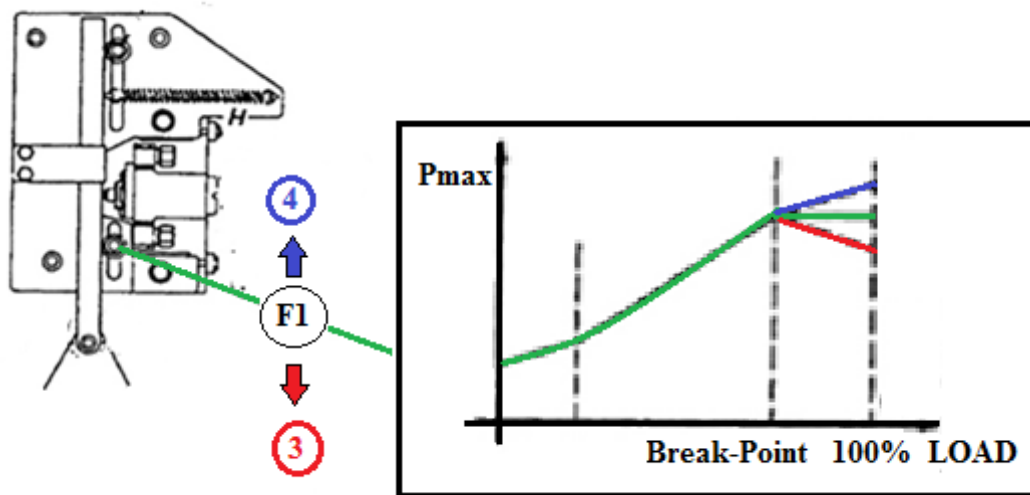


Αυτή η ενέργεια, η οποία μπορεί να γίνει ενώ η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία, μεταβάλλει το control pressure level (επίπεδο πίεσης ελέγχου), κάνοντας έτσι όλες τις αντλίες να είναι advanced (που συνεπάγεται higher P_{max}) ή retarded. Βλέπε επίσης σχήμα. 7.

Φθαρμένες αντλίες, ή σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των καυσίμων, με βάση όγκου: και στις δύο περιπτώσεις, θα αλλάξει η σχέση μεταξύ του fuel pump index και ο κατάλληλος χρονισμός ψεκασμού. Για να αντισταθμιστεί αυτό, διεξάγεται η ακόλουθη προσαρμογή:

Η μηχανή σταθεροποιείται στο 85% του φορτίου. Ο arm(B) στη συνέχεια χαλαρώνεται και σφίγγεται σε τέτοια θέση ώστε το beam(A) να αγγίζει και τα δύο supports(F1) και (F2). Με την ενέργεια αυτή, η P_{max} break-point επαναφέρεται στο 85 % MCR .

Μετά από αυτό η μηχανή σταθεροποιείται στο MCR, και η θέση του support (F1) ρυθμίζεται , έτσι ώστε η P_{max} να είναι ίση με την P_{max} στο 85% MCR (βλέπε επίσης σχήμα7) .



2.5.2 Ρύθμιση του Pmax και του Break-point

Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία προσαρμογής που απαιτείται , αν οι κάμες των καυσίμων έχουν μετακινηθεί

1) με τους βραχίονες των VIT-rack arm αποσυνδεδεμένους, και ταυτόχρονη λειτουργία του κινητήρα στο 100 % , θα πρέπει τα VIT - racks να μετακινηθούν με το χέρι , μέχρις ότου οι τιμές της Pmax να είναι ίσες για όλους τους κυλίνδρους (100 % Pmax,+ / - 3 bar). Τα VIT - racks πρέπει να κρατηθούν σε αυτές τις θέσεις (με χρήση πχ σφιγκτήρα , δέσιμο κλπ.), και να σημειωθούν τα επιμέρους VIT - rack indexes .

2) Στη συνέχεια, θα πρέπει να μειωθεί το φορτίο του κινητήρα στο break-point , να ξαναγίνει η επαναρύθμιση των VIT – racks με τα χέρια , έως ότου οι τιμές Pmax είναι ίσες για όλους τους κυλίνδρους , και να σημειωθούν πάλι τα VIT – indexes.

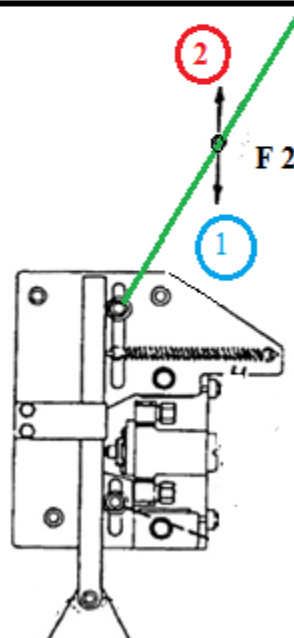
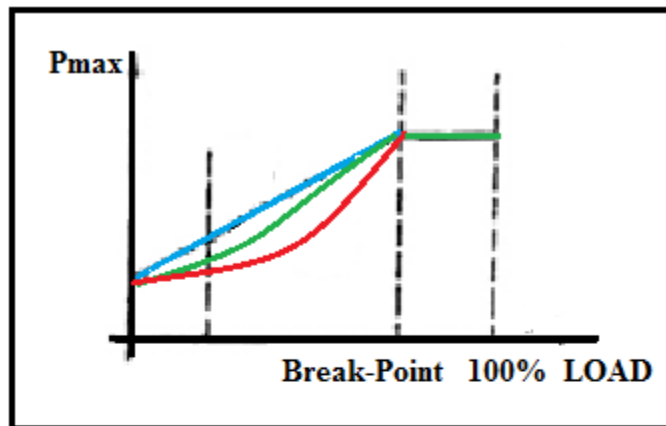
* Για κινητήρες με προπέλες σταθερού βήματος (fixed pitch propellers) , το break -point είναι ίσο με περίπου 78% του φορτίου για κινητήρες MK I , και 85% για τους κινητήρες MK II (βλέπε sea trial curves). Για κινητήρες ελεγχόμενου βήματος προπέλες (- και σταθερών στροφών μηχανής-) (controllable pitch propellers) , οι αντίστοιχοι αριθμοί είναι περίπου 85%, και 90% του φορτίου, αντίστοιχα. Στις νέες εγκαταστάσεις, όπου θα πρέπει να υπολογιστεί και η έλικα η οποία θα γίνεται "βαρύτερη", είναι σκόπιμο να τεθεί το break -point σε 2~3% υψηλότερο φορτίο. Αυτό γίνεται προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική «pressure- jump» (Pmax -Pcomp) όταν η εγκατάσταση παλιώνει, επειδή το break -point θα μειώνεται, τόσο βαρύτερη η έλικα θα γίνεται .

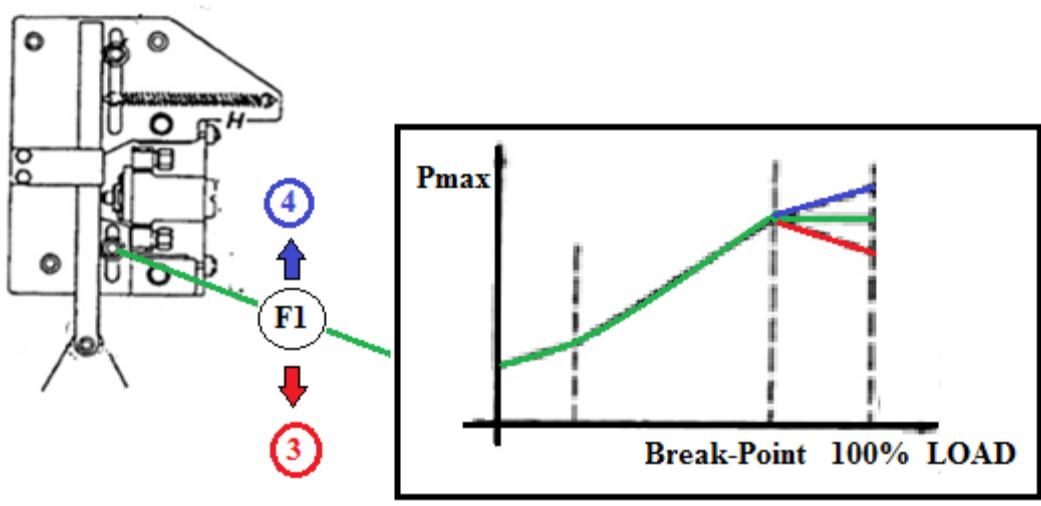
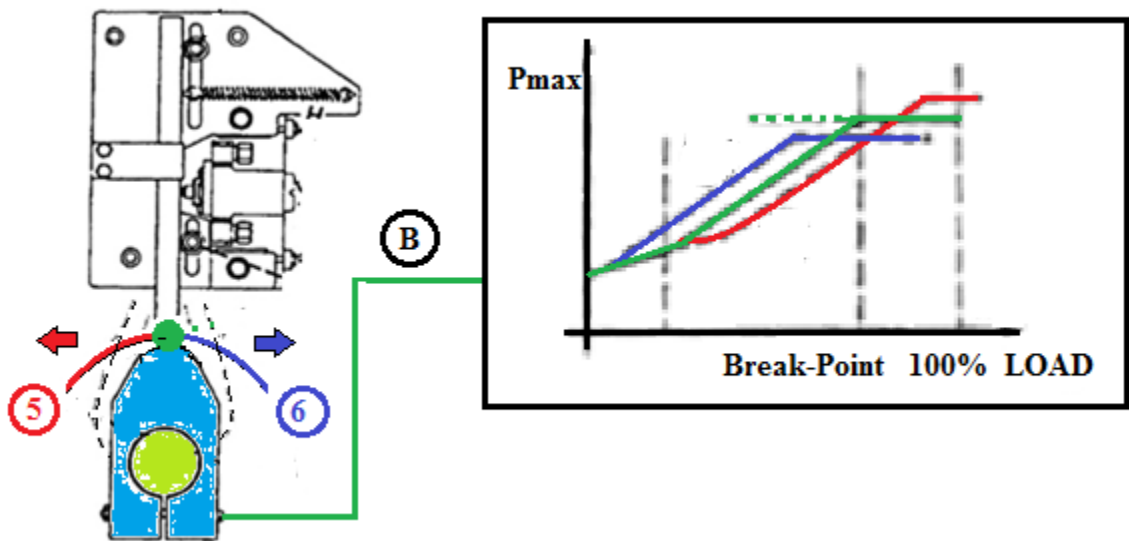
3) Αφαιρέστε τα στηρίγματα των VIT - rack (VIT - rack fixings) .

4) Σβήστε την μηχανή και , εάν είναι απαραίτητο (πχ. στην περίπτωση των φθαρμένων αντλιών), μετακινήστε τα έγκεντρα των καυσίμων, έτσι ώστε όλα τα VIT - index να έχουν σχεδόν τις ίδιες τιμές ($\pm 1/2$).

** Λόγω των πιθανών διαφορών στην φθορά του συστήματος ψεκασμού, μεγαλύτερες τιμές μπορεί να γίνουν αποδεκτές στην ρύθμιση, εφ 'όσον το full- index δεν επιτυγχάνεται στο break -point , ή το zero index δεν εμφανίζεται στην υπερφόρτωση της μηχανής.

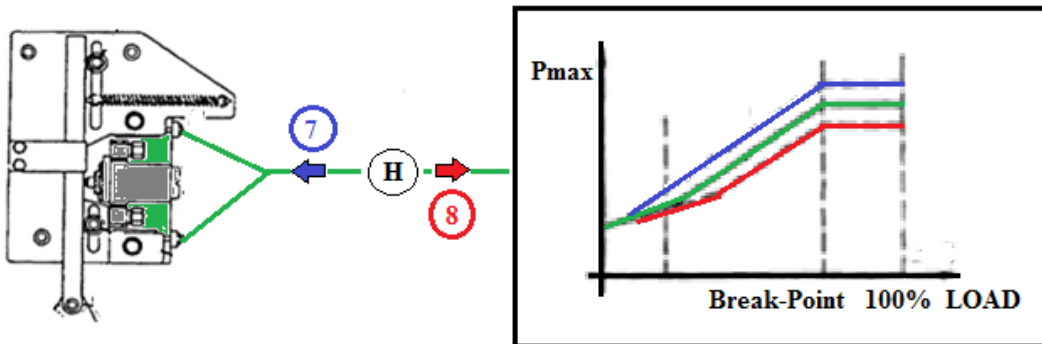
5) Επανεκκίνηση του κινητήρα και λειτουργία μέχρι το break -point, χαλαρώστε τον arm (B) και σφίξτε τον ξανά σε τέτοια θέση ώστε η beam(A) να αγγίζει τα δύο supports(F1)και(F2).



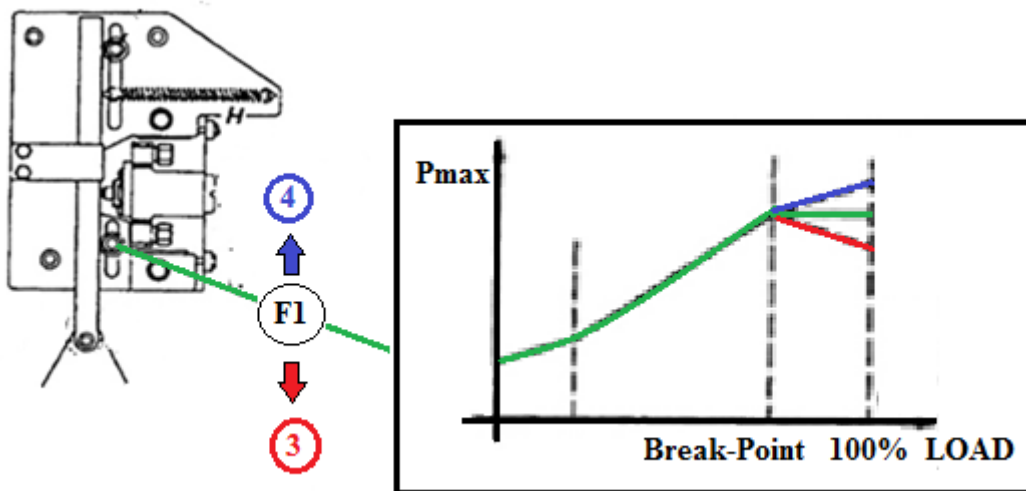


6) Στη συνέχεια ελέγξτε το επίπεδο της P_{max} για όλους τους κυλίνδρους , και εάν είναι απαραίτητο να διεξαχθεί συλλογική ρύθμιση (P_{max} έως 100 %) με τη μετακίνηση του αισθητήρα θέσης βαλβίδας position sensor valve(D). Για να το κάνετε αυτό , χαλαρώστε τις bolts(G) και

μετακινήστε τη sensor valve μέσω των βίδες ρύθμισης adjusting screws (H). Στη συνέχεια σφίξτε τα bolts (G).



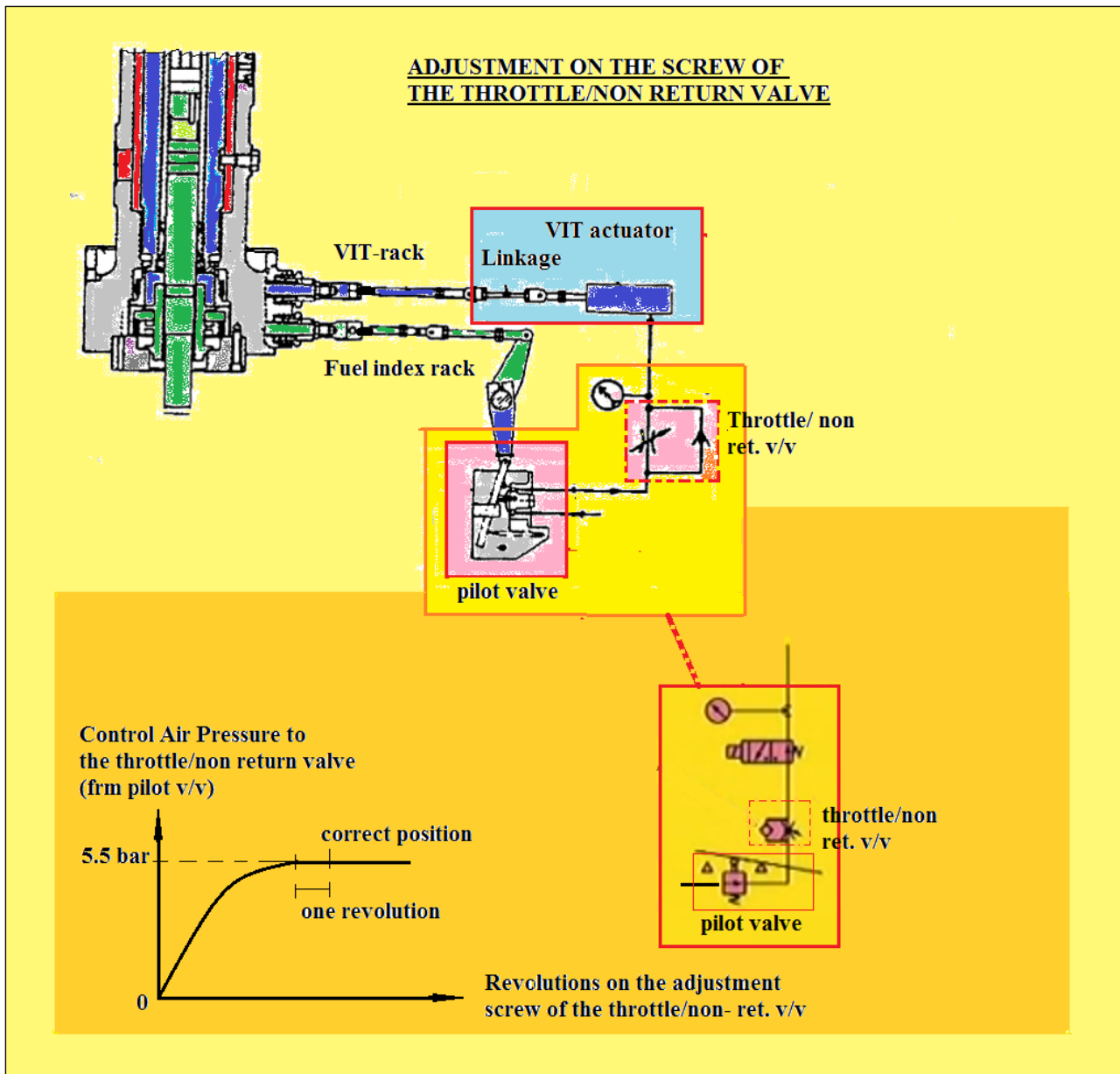
7) ο κινητήρας πρέπει να λειτουργήσει από το break -point έως 100 % MCR , και ελεγχθεί και πάλι η P_{max} . Εάν είναι απαραίτητο, αναπροσαρμόσουμε ξαναρυθμίζουμε συλλογικά P_{max} από κινούμενο στοιχείο (F1), έως ότου $100 \% P_{max} = P_{max}$ στο break -point , βλέπε σχήμα 7. Μετά την αναπροσαρμογή, η P_{max} θα πρέπει να ελέγχεται για μια ακόμη φορά στο break -point, και σε 100 % MCR .



2.6 Non - return / throttle valve (ανεπίστροφη - στραγγαλιστική βαλβίδα)

λειτουργία και ρύθμιση :

Η non-return/throttle valve(ανεπίστροφη στραγγαλιστική βαλβίδα), είναι τοποθετημένη στη γραμμή του control air, μεταξύ του position sensor valve και των position servos (βλ. παρακάτω σχήμα).



Αυτή η βαλβίδα έχει δύο κύριες λειτουργίες :

1) την πρόληψη υπερβολικής πίεσης καύσης κατά τη διάρκεια ξαφνικών μειώσεων φορτίου στο ανώτατο εύρος φορτίου (δηλ. πάνω από το σημείο – break point), για παράδειγμα σε συνθήκες θαλασσοταραχής .

2) την αποφυγή ταλαντώσεων των fuel - rack, που διαβιβάζονται στο VIT rack (δηλαδή την διατήρηση σταθερού VIT - rack, για παράδειγμα, στην περίπτωση που παρουσιαστεί jiggling στο governor) .

Πριν, ή κατά τη διάρκεια, των θαλάσσιων δοκιμών (shop and sea trials), η non-return/throttle valve προσωρινά ρυθμίζεται έτσι ώστε οι δοκιμές να διεξάγονται με ευκολία.

Η αρχική ρύθμιση της βαλβίδας γίνεται με την μηχανή είτε σε κατάσταση παύσης.

α) Η throttle screw είναι πλήρως ανοικτή, με αριστερόστροφη φορά (δηλαδή κατά την αντίθετη φορά του ρολογιού ή CCW).

β) Με τη βοήθεια του χειροκίνητου τροχού στα χειριστήρια έκτακτης ανάγκης, η θέση των fuel - rack θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα, έτσι ώστε το beam(A) της pilot valve να ωθήσει το sensor pick-up(E) προς το εσωτερικό της position sensor valve(D) κατά 8mm. Βάση του διαγράμματος, η πίεση αυτή, είναι η maximum control air pressure, αντιστοιχεί στην πίεση του break –point και είναι ίση με 5,5bar. Η throttle/ non return valve, πρέπει να είναι πλήρως ανοικτή, ώστε η πίεση να είναι 5,5bar. Σε περίπτωση που ενώ είναι πλήρως ανοικτή, η πίεση είναι είτε μεγαλύτερη ή μικρότερη, με κοχλία που φέρει πάνω της η position sensor valve(D), θα πρέπει να προσαρμοστεί η πίεση των 5,5bar.

γ) Η throttle screw κατόπιν στρέφεται ώστε να κλείσει, κατά την φορά του ρολογιού-clockwise ή CW, μέχρις ότου η πίεση αρχίζει να μειώνεται. Σε αυτό το σημείο ο κοχλίας πρέπει να γυρίσει πίσω μία στροφή δηλαδή, αριστερόστροφα = CCW(one revolution counterclockwise). Αυτή η νέα θέση της throttle/non return valve, προλαμβάνει την ενδεχόμενη απότομη αύξηση του VIT index, δηλαδή την απότομη αύξηση της προπορείας, και επομένως της μέγιστης πίεσης καύσης(Pmax).

Για την αποτελεσματικότητα και την σταθερότητα της ρύθμισης πρέπει:

Κατά τη διάρκεια θαλασσοταραχής, μια ταχεία μεταβολή του + / - 2 fuel index, δεν πρέπει να επηρεάσει την θέση των VIT-rack position. Εάν η θέση VIT-rack position επηρεάζεται, πρέπει να πραγματοποιηθεί ξανά αναπροσαρμογή, με ταυτόχρονο έλεγχο της σταθερότητας του συστήματος.

Λόγω πιθανών διαρροών, ή εσφαλμένης ρύθμισης του VIT- regulating system, μπορεί να είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί εκ νέου η throttle valve. Εάν το VIT is hunting, πρέπει να γίνουν οι παραπάνω ενέργειες ξανά.

2.7 Πως επιτυγχάνεται ο μεταβλητός χρονισμός:

1. Μηχανικό-Πνευματικό Σύστημα (mechanic-pneumatic system)

Χαμηλή πίεση αέρα παρέχεται στη βαλβίδα ελέγχου πίεσης (pressure control valve), η έξοδος της οποίας τροφοδοτεί με τον αέρα εξόδου της, τον σέρβο VIT στην αντλία καυσίμου. Με σύνδεση από την έξοδο του governor ή από τον fuel pump control handwheel, κινείται μία pivoted bar (στρεφόμενη ράβδος), η θέση της οποίας καθορίζει την έξοδο της πίεσης της pilot valve.

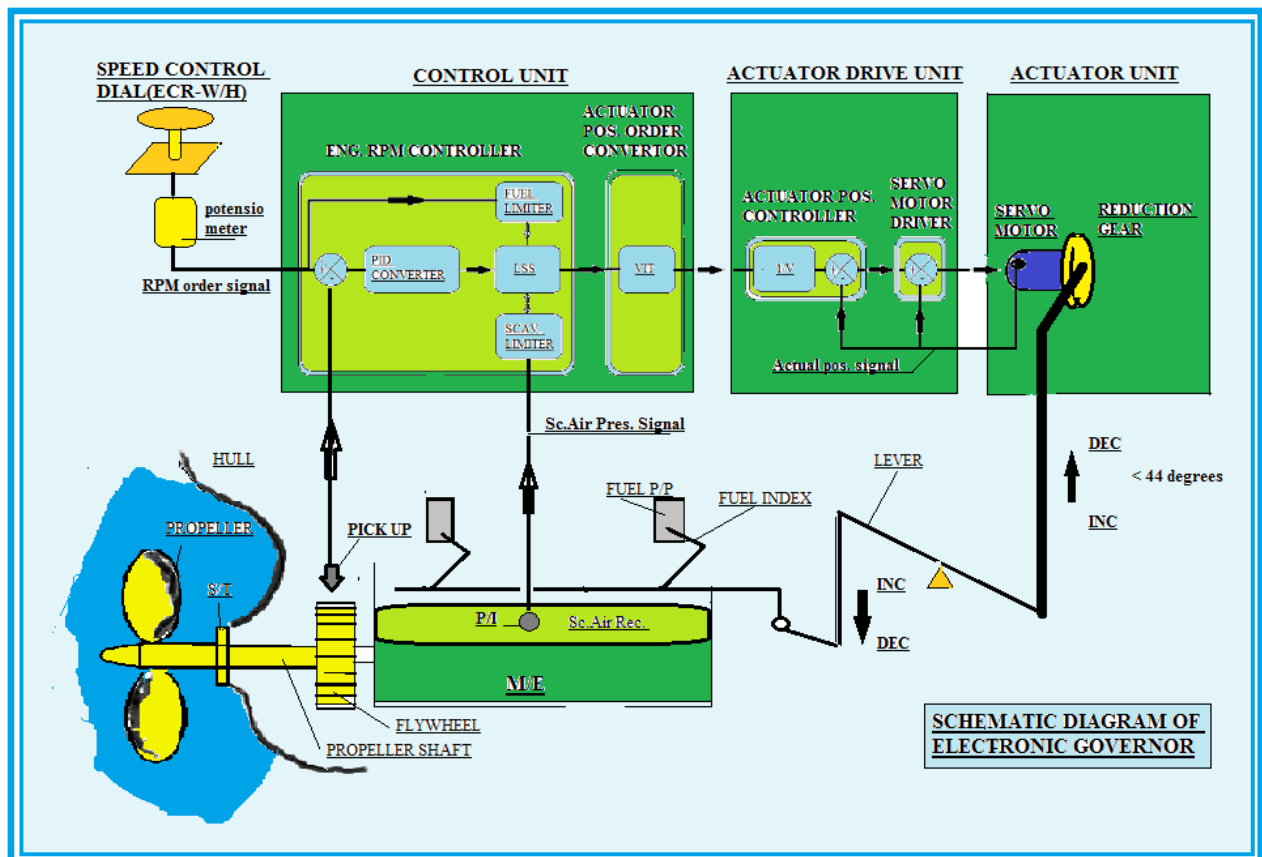
Η θέση της pilot valve είναι ρυθμιζόμενη, επιτρέποντας την απαιτούμενη προσαρμογή για καύσιμα διαφορετικές ποιότητες ανάφλεξης, ή τις αλλαγές που μπορούν να επέλθουν στο χρονισμό του εκκεντροφόρου, εξ' αιτίας της επιμήκυνσης της αλυσίδας.

Οι (άξονες) pivots είναι επίσης ρυθμιζόμενοι για την αρχική θέση του VIT και την προσαρμογή της θέσης του breakpoint position.

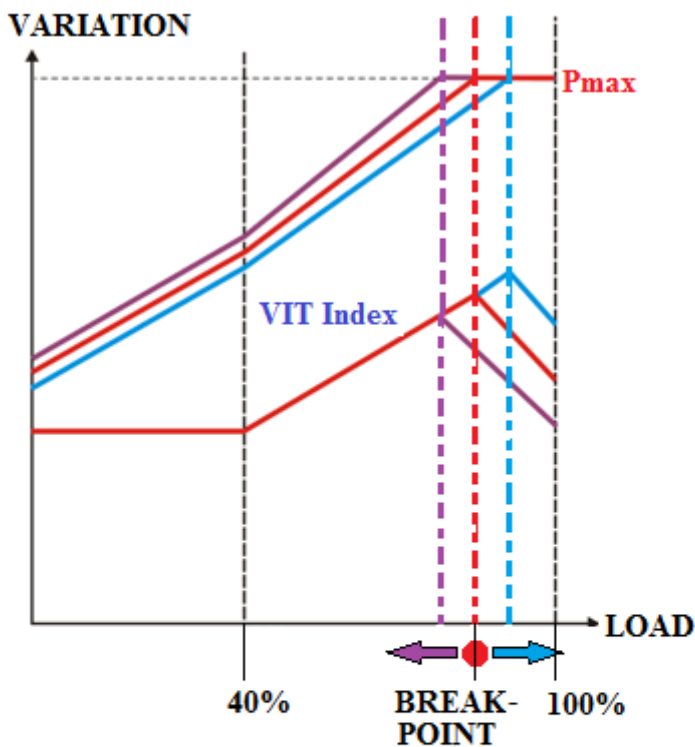
Η κίνηση της pilot valve, η οποία συνδέεται με τον άξονα ρύθμισης καυσίμου (fuel regulating shaft), φαίνεται στην παρακάτω εικόνα σε κάθε κατάσταση φορτίου του κινητήρα (engine load condition). Με τον αέρα από την pilot valve, τροφοδοτείται ο positioner, ώστε αυτός να ελέγχει το positioner index και την Pmax.

2. Ηλεκτρο – Πνευματικό Σύστημα (electro-pneumatic system)

Κύρια διαφορά μεταξύ του μηχανικού και του ηλεκτρικού συστήματος, είναι η χρήση του σημείου breakpoint και ο τρόπος ελέγχου αύξησης της πίεσης. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στο μηχανικό σύστημα το breakpoint είναι σταθερό (fixed), αντίθετα, με το ηλεκτρικό σύστημα VIT το breakpoint είναι μεταβλητό, και προσαρμόζεται συναρτήσει της πίεση σάρωσης.



Το σήμα αέρα προς τους VIT actuators της αντλίας καυσίμου που επενεργούν στα VIT rack, προσδίδεται από τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών (electronic governor), ο οποίος ρυθμίζει κάθε φορά την pilot valve. Έτσι, το governor δέχεται ηλεκτρικό σήμα από την πίεση της σάρωσης, που κυμαίνεται μεταξύ 4 και 20 mA. Αυτό το μήνυμα αποστέλλεται σε έναν IP converter που ρυθμίζει την έξοδο του governor, και ελέγχει την έξοδο της pilot valve, ώστε το πνευματικό σήμα ελέγχου να είναι μεταξύ 0,5 bar (ελάχιστη ρύθμιση VIT/ min VIT setting) και 5 bar (μέγιστη ρύθμιση VIT/Max VIT setting) ανάλογα με φορτίο (βλ. παραπάνω σχεδιάγραμμα του ηλεκτρονικού – ηλεκτρικού κυκλώματος του governor).



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΣΤΑ VIT, BREAK-POINT, P_{max}

Sc. Air Box Pres

- High
- Normal
- Low

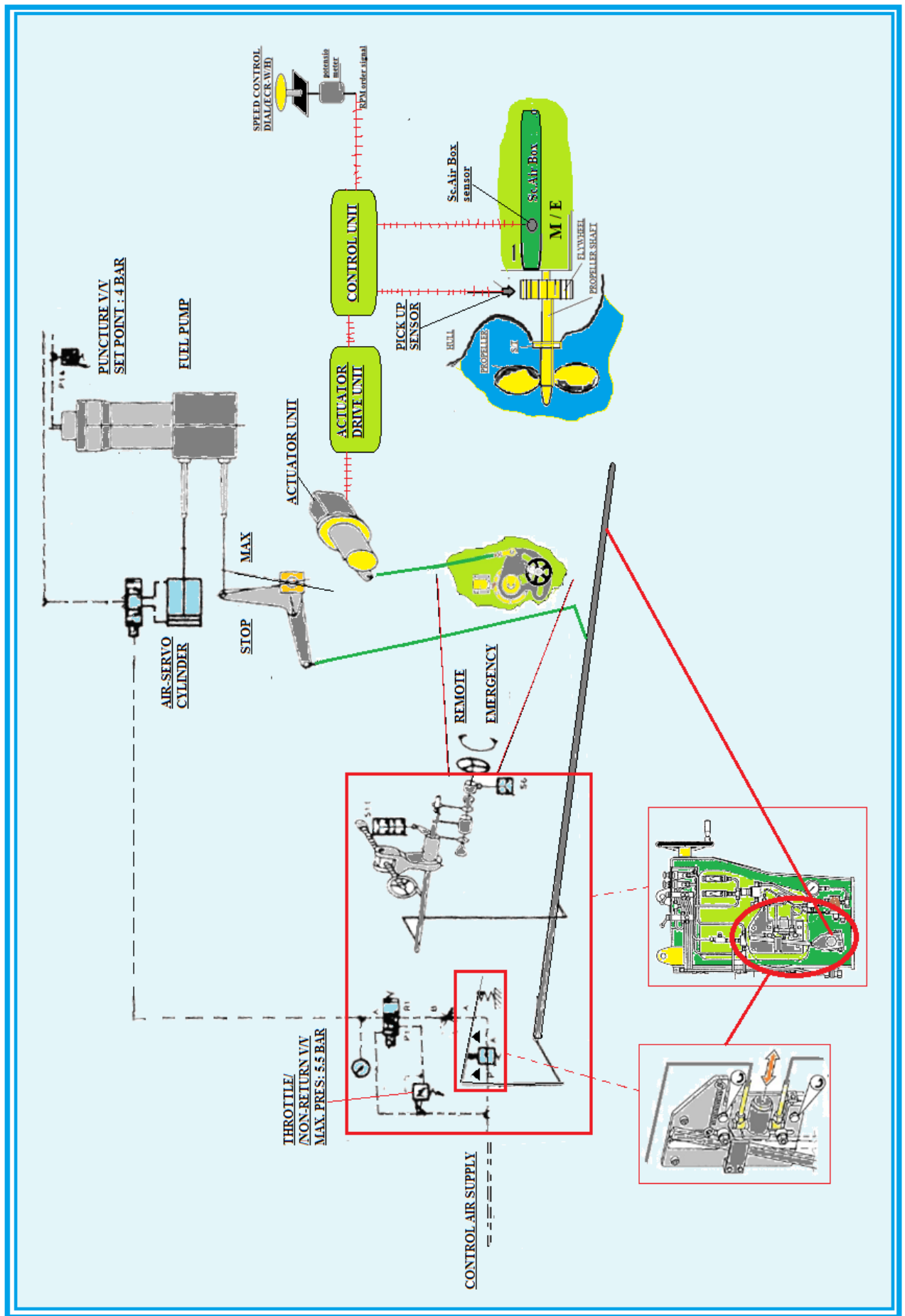
τότε το breakpoint κινείται πιο κοντά στο φορτίο του κινητήρα κατά 100%, ώστε η P_{max} να παραμένει διαρκώς σταθερή.

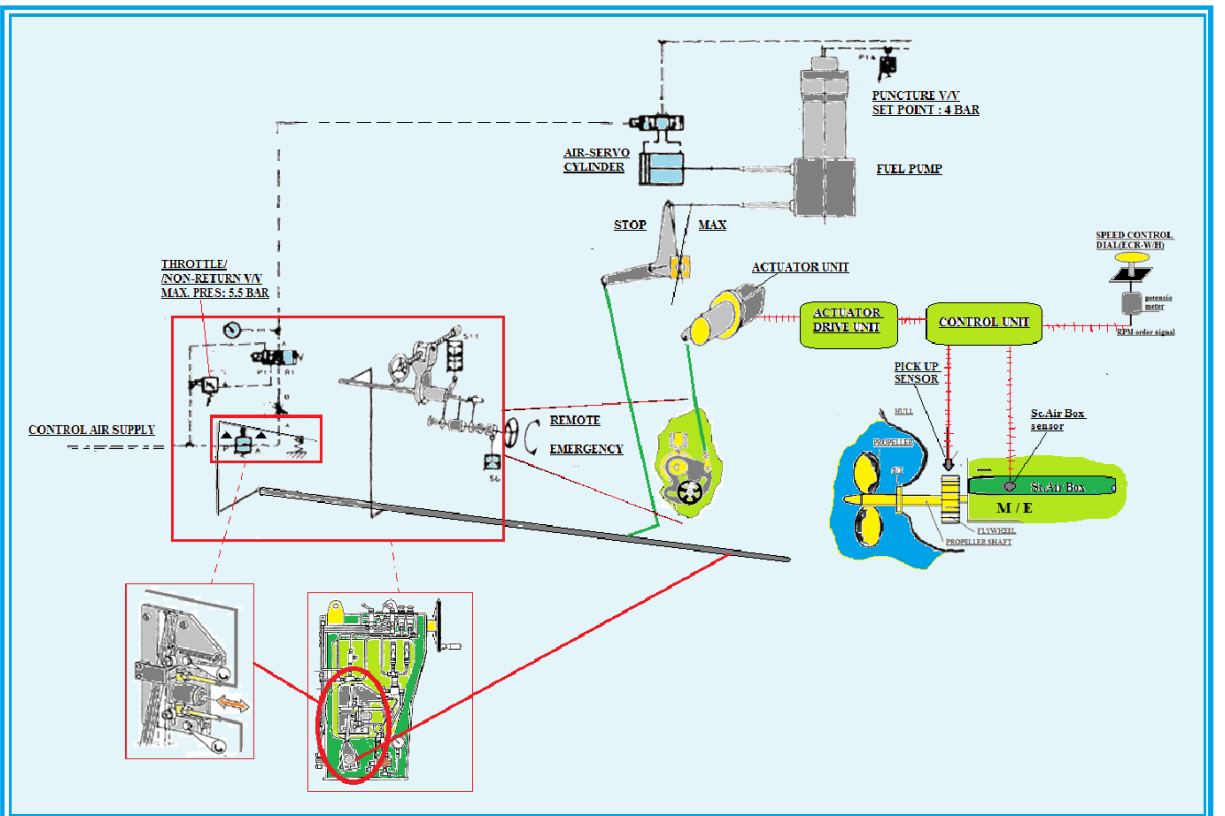
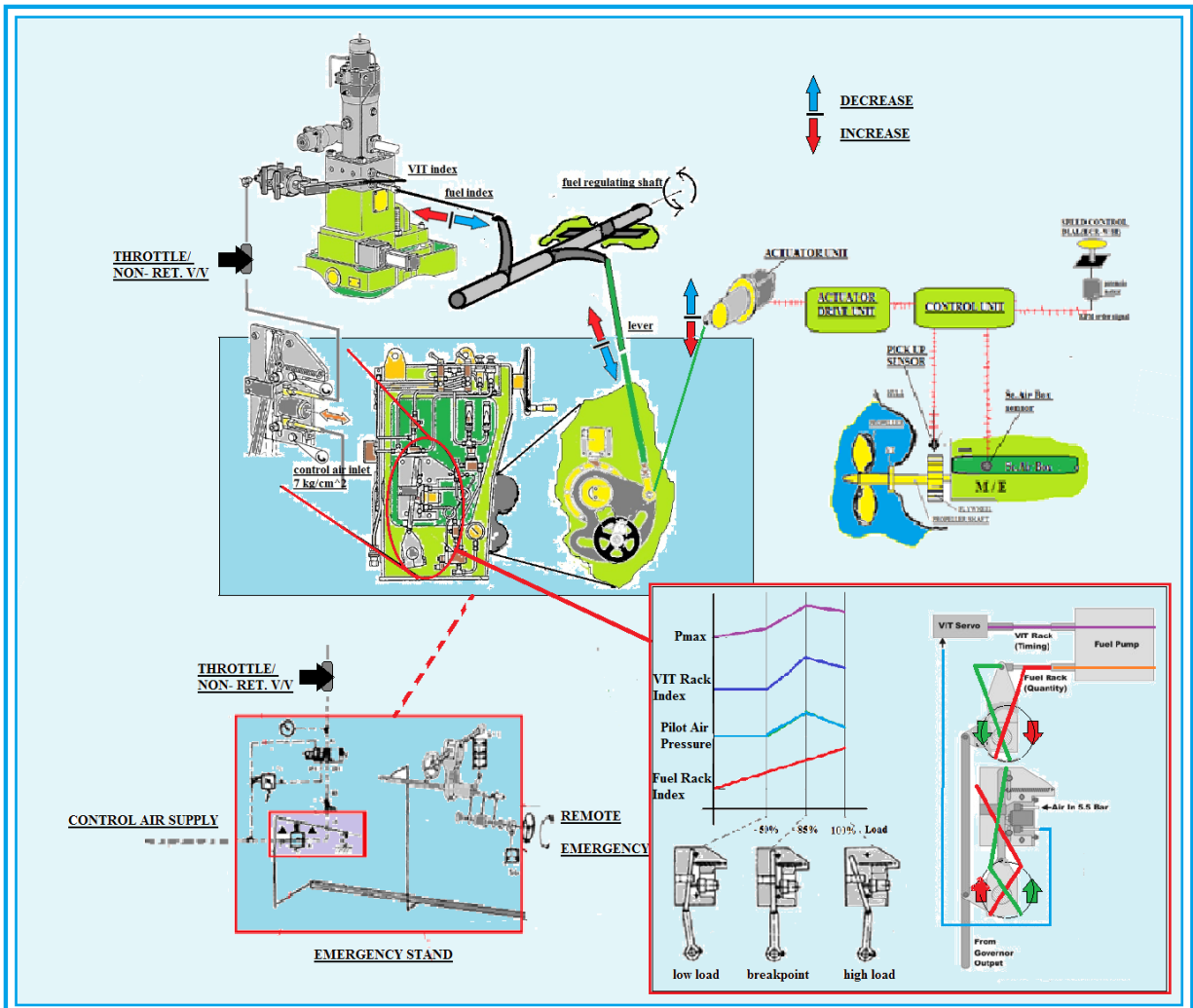
Ο ηλεκτρονικός έλεγχος (electronic control) είναι ενεργός όταν τα χειριστήρια μηχανής είναι γυρισμένα στη γέφυρας ή στο μηχανοστάσιο, και η μηχανή γυρίζει πρόσω. Όταν γυρίζει ανάποδα ή λειτουργεί από τα emergency χειριστήρια, το σύστημα ελιγμών (manoeuvring system) παρέχει ήδη μια προκαθορισμένη πίεση στους VIT actuators.

Στα παρακάτω σχήματα, απεικονίζεται ο τρόπος σύνδεσης του μηχανισμού ρύθμισης στροφών και χρονισμού, με τις αντλίες έγχυσης της κύριας μηχανής B&W 6S60MC.

Εάν η πίεση του οχετού σάρωσης είναι υψηλή, τότε η προκύπτουσα πίεση συμπίεσης (compression pressure) μέσα στον κύλινδρο θα είναι υψηλότερη. Αυτό σημαίνει ότι, εάν δε γίνουν προσαρμογές, η μέγιστη πίεση (maximum pressure) στον κύλινδρο θα υπερβεί τα επιθυμητά όρια. Μεταβάλλοντας το breakpoint σε χαμηλότερη ποσοστιαία μονάδα του φορτίου του κινητήρα, η P_{max} επιτυγχάνεται νωρίτερα και διατηρείται στο σημείο αυτό μέχρι το 100% του φορτίου.

Ομοίως, αν η πίεση σάρωσης (scavenge pressure) είναι χαμηλή,





Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Αντλία Sulzer

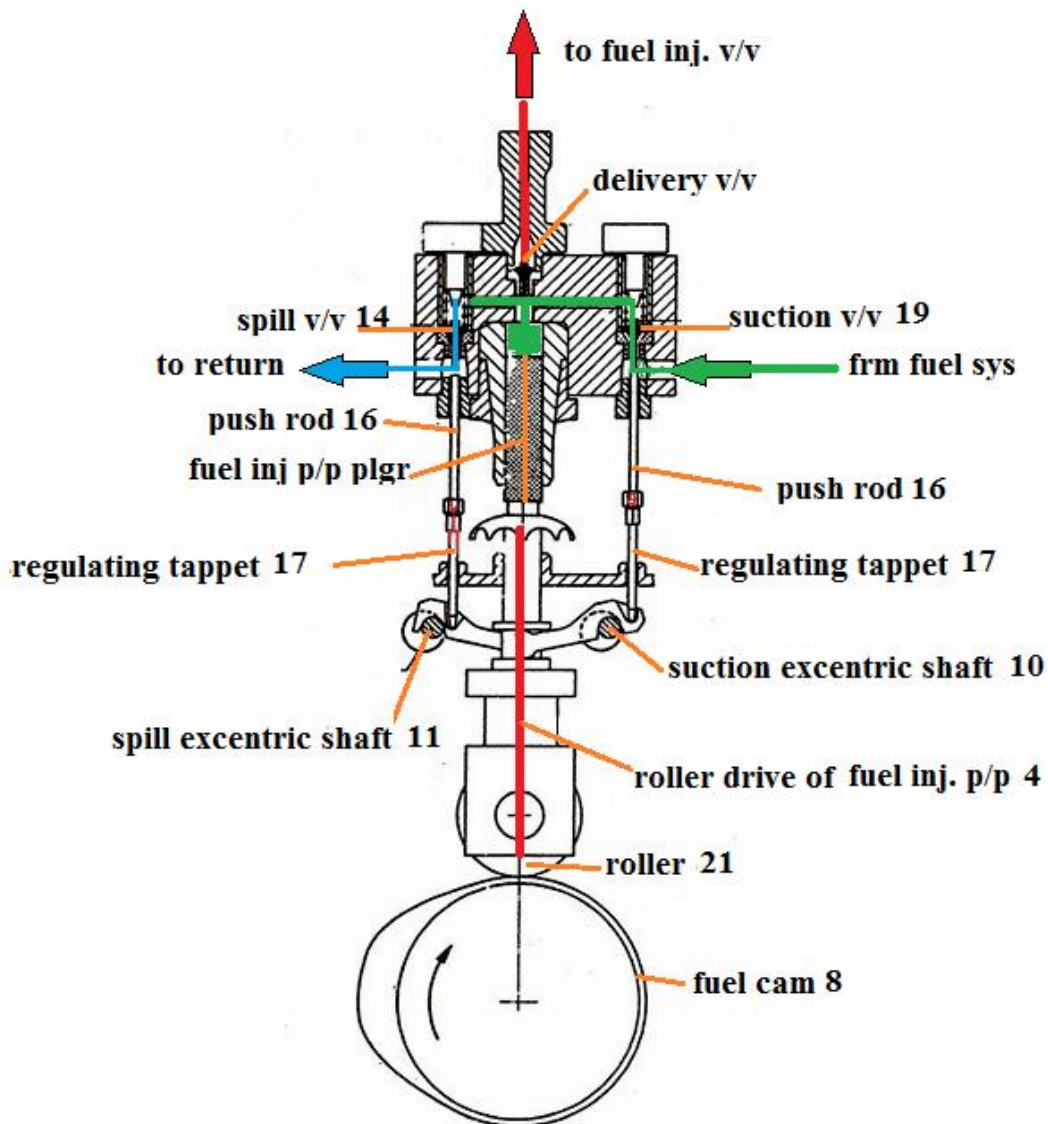
Τα συστήματα VIT(variable injection timing) και FQS(fuel quality system), εκτελούν δύο λειτουργίες. Το μέρος του VIT είναι μια αυτόματη λειτουργία που ελέγχει την έναρξη της έγχυσης ανάλογα με το πραγματικό φορτίο του κινητήρα, και φροντίζει για τη βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με το φορτίο . Το σύστημα FQS αποτελεί μια χειροκίνητη ρύθμιση που προσαρμόζει τον χρονισμό ψεκασμού με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά καύσης του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Αρχικά, τα δύο συστήματα εισήχθησαν με μηχανική μορφή, που πλέον αντικαταστάθηκαν με ηλεκτρονική.

Οι RTA μηχανές σχεδιάστηκαν ώστε να λειτουργούν, με τα συστήματα των VIT και FQS, παρ' όλ' αυτά, μπορούν να λειτουργήσουν με τα συστήματα αυτά εκτός, χωρίς επίπτωση στη λειτουργικότητά τους. Ωστόσο, λόγω της οικονομίας των συστημάτων στην κατανάλωση - ιδίως σε μερικό φορτίο, είναι σκόπιμη η ταυτόχρονη λειτουργία των VIT και FQS, κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα. Από τα τελευταία σχέδια κινητήρων RTA σύμφωνα με τον IMO σχετικά με τους κανονισμούς εκπομπών NO_x, το εύρος της προσαρμογής FQS είναι περιορισμένο, έτσι ώστε τα όρια εκπομπών NO_x να εξασφαλίζονται με οποιαδήποτε ρύθμιση του FQS.

Η καθυστερημένη έγχυση (επιπορεία), είναι ένα από τα μέτρα που χρησιμοποιούνται στις μηχανές Sulzer RTA για να υπόκεινται στις συμμορφώσεις με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) που αφορούν τους σχετικούς κανονισμούς με τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x). Η εφαρμοζόμενη καθυστέρηση έγχυσης(injection delay) εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα και αξιολόγησης και έχει εισαχθεί στο σύστημα DENIS ως μια παράμετρο, ανεξάρτητης του φορτίου . Συνεπώς, το σύστημα VIT έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία με την εισαγωγή της ρύθμισης εκπομπών οξειδίων του αζώτου στις μηχανές Sulzer RTA σύμφωνα με τους κανονισμούς του IMO.

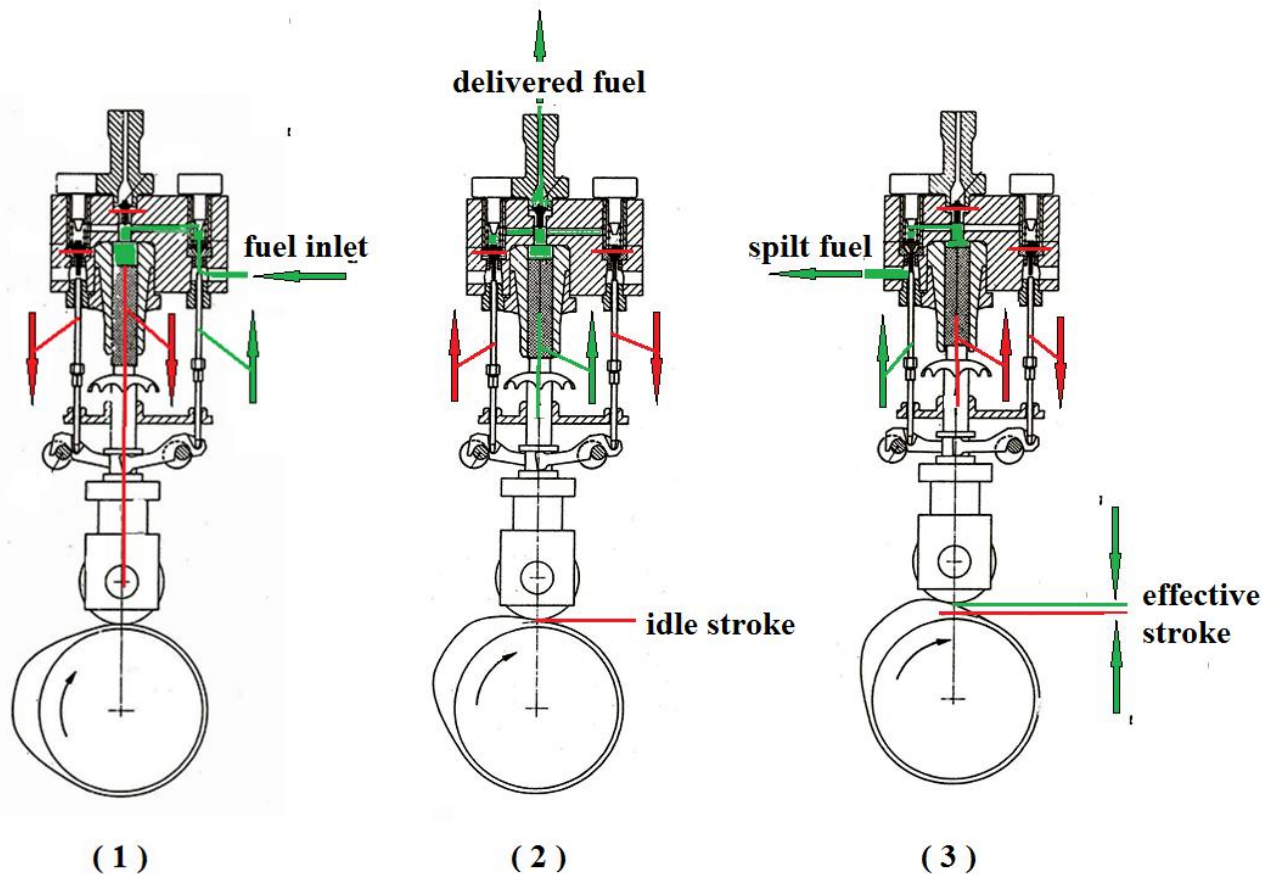
3.2.1 Συνοπτική περιγραφή της αντλίας

Αποτελείται από: μία βαλβίδα καταθλίψεως (delivery valve) d, μία βαλβίδα αναρροφήσεως (suction valve) s και μία βαλβίδα διαφυγής (spill valve) u. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της suction valve, και της spill valve s, ρυθμίζονται από τους δύο eccentric shaft ex της αντλίας, οι οποίοι τις ενεργοποιούν ανάλογα μέσω των suction valve push rod και spill valve push rod αντίστοιχα, καθορίζοντας τον χρονισμό έγχυσης.



3.2.2 Φάσεις της αντλίας

Το έμβολο της αντλίας κινείται παλινδρομικά σε ένα χιτώνιο. Καθώς το έμβολο παλινδρομεί, δυο περιστρεφόμενοι έκκεντροι μοχλοί(eccentric shafts) ρυθμίζουν κατάλληλα τα ωστήρια, που ανοίγουν τις βαλβίδες αναρρόφησης(suction valve) και διαφυγής(spill valve).



Κατά την φάση της αναρρόφησης πετρελαίου της αντλίας (1), ο τροχός του ωστηρίου είναι πάνω στη περιφέρεια του βασικού κύκλου του έκκεντρου εγχύσεως του εκκεντροφόρου άξονα. Το έκκεντρο ωστήριο της αναρρόφησης ανοίγει την αντίστοιχη βαλβίδα, ενώ και η βαλβίδα διαφυγής κλειστή. Με την suction valve ανοικτή και το έμβολο να κινείται προς τα κάτω, το χιτώνιο γεμίζει με πετρέλαιο.

Καθώς το εμβολο κινείται ανοδικά στο περιχιτώνιο, το ωστήριο της βαλβίδας αναρρόφησης κινείται προς τα κάτω, και η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει. Με την spill valve κλειστή, το πετρέλαιο διαφεύγει από την delivery valve προς τους καυστήρες, απ' όπου και ψεκάζεται. Η φάση αυτή σηματοδοτεί την έγχυση (2).

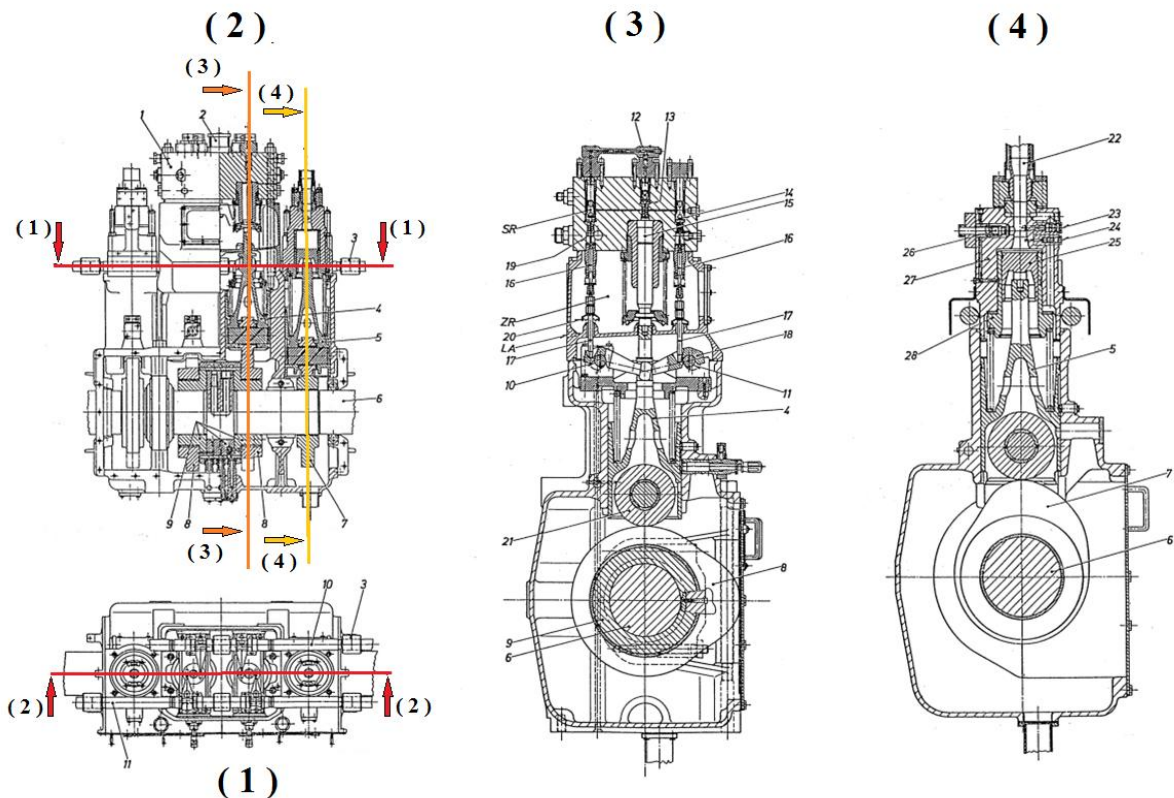
Με το εμβολο να συνεχίζει να κινείται προς τα πάνω, το ωστήριο της βαλβίδας διαφυγής θα ανοίξει τη spill valve , και τότε η πίεση πάνω από το εμβολο θα πέσει, το πετρέλαιο να διαφεύγει προς το δίκτυο των επιστροφών, και ως αποτέλεσμα να σταματήσει η έγχυση (3).

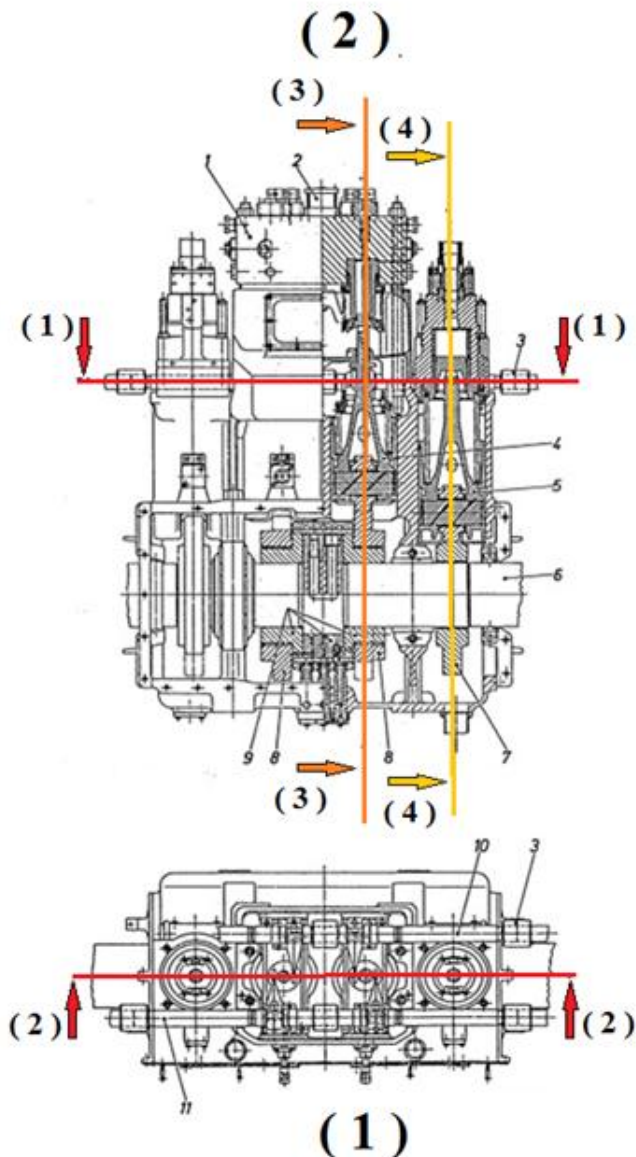
Η ποσότητα των παρεχόμενων καυσίμων, μπορεί να ρυθμίζεται με την αλλαγή της απόστασης του ωστηρίου άξονα, από το μοχλό της spill valve. Αυτό προκαλεί τη spill valve να ανοίξει νωρίτερα ή αργότερα.

Μεταβάλλοντας τη θέση του περιστρεφόμενου έκκεντρου μοχλού της βαλβίδας αναρρόφησης, η έναρξη της έγχυσης μπορεί να ελέγχεται, ρυθμίζοντας ανάλογα τον χρονισμό της έγχυσης.

3.2.3 Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας της αντλίας

Όψεις της αντλίας υψηλής πίεσης SULZER:





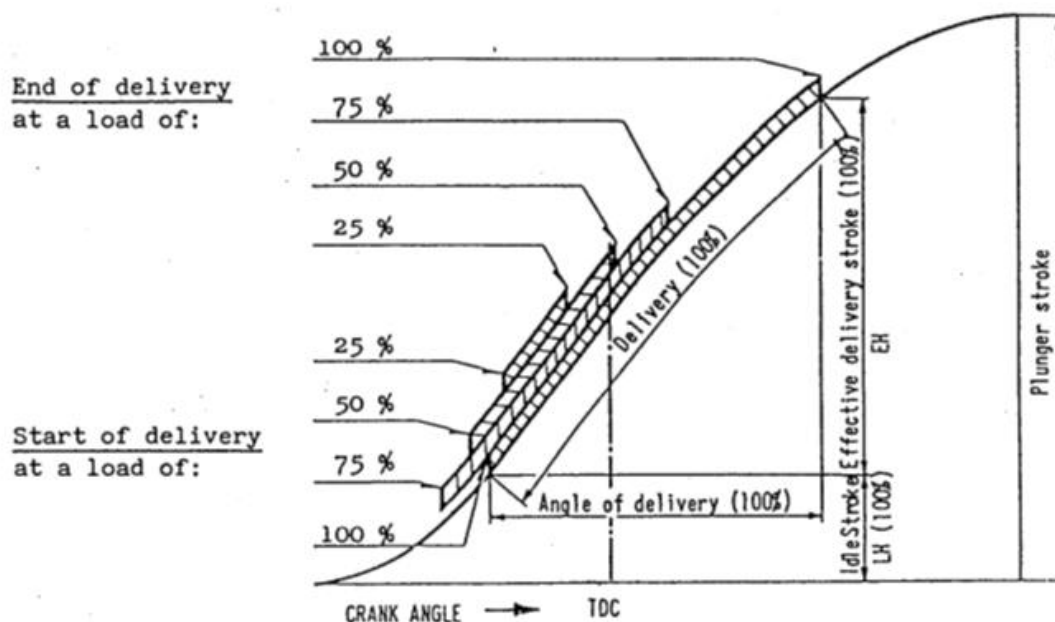
TOMH (1) KAI TOMH (2)	
1	1 fuel pump body
2	2 relief valve
3	3 coupling of excentric shaft
4	4 roller drive of fuel injection pump
5	5 roller guide of actuator pump
6	6 cam shaft section
7	7 actuator cam
8	8 fuel cam
9	9 reversing servomotor
10	10 excentric shaft of suction valves
11	11 excentric shaft of spill valves

Το έκκεντρο καυσίμου(fuel cam) 8 του reversing servo-motor 9, προσδίδει στο έμβολο(plunger) 15 μέσω της κίνησης του roller drive 4, κίνηση με σταθερές στροφές.

Ενώ ο roller 21 του roller drive 4 κινείται από το cam head circle προς το base circle, το προς τα κάτω κινούμενο έμβολο(plunger) 15 αντλεί καύσιμο από τον χώρο αναρρόφησης(suction space) SR της αντλία . Η βαλβίδα αναρρόφησης(suction valve) 19, ανοίγει μηχανικά μόνο στο κάτω μέρος της διαδρομής του εμβόλου από το μοχλό ελέγχου(control lever) 18 μέσω του push rod 16 και του regulating tappet.

Όταν το έμβολο 15 ωθείται προς τα άνω από το έκκεντρο καυσίμου 8 η βαλβίδα αναρρόφησης 19 κλείνει μετά από ένα ορισμένη plunger stroke, ανάλογα με τη θέση του excenter shaft 10. Οι excenter shafts 10 και 11 και τα τμήματα του εκκεντροφόρου(camshaft sections) 6. Μέχρι αυτή την κίνηση, καύσιμο δεν παρέχεται στις βαλβίδες έγχυσης(injection valves). Όλη αυτή η διάρκεια της διαδρομής που ονομάζεται άεργος διαδρομή(idle stroke). Η χρονική στιγμή ,κατά την οποία θα κλείσει η βαλβίδα αναρρόφησης (suction valve), ονομάζεται start of delivery(έναρξη έγχυσης).

Αφού η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει, το καύσιμο στον plunger guide πιέζεται ακόμα από την ανοδική κίνηση του plunger μέσα από τη pressure valve 13 προς τις injection valves, από όπου εγχέεται στο χώρο συμπίεσης(compression space) του κυλίνδρου. Η φάση(stroke) κατά την οποία το έμβολο κινείται κατά τη διάρκεια της περιόδου έγχυσης, ονομάζεται delivery stroke .



Ανάλογα με τη θέση του excenter shaft 11, η spill valve 14 ανοίγει με το control lever 18 μέσω των push rods, αφού το έμβολο έχει ολοκληρώσει ένα συγκεκριμένο μέρος της διαδρομής του . Αυτό το σημείο ονομάζεται end of delivery.

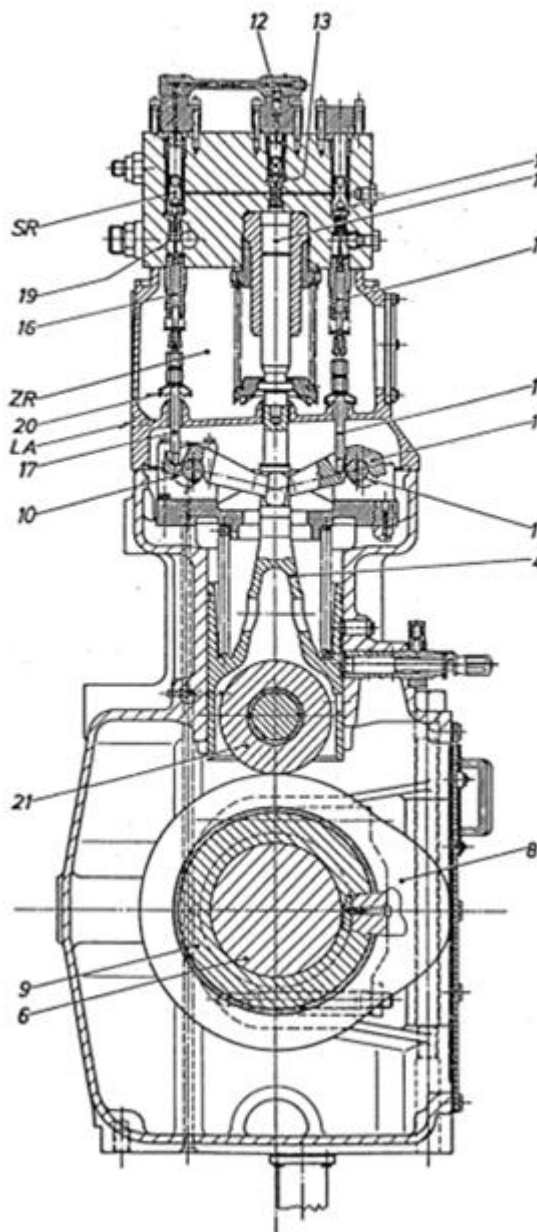
Το υπόλοιπο του καυσίμου στο plunger guide συμπιέζεται από το plunger μέσω της spill valve 14 και οδηγείται πίσω στο σύστημα καυσίμου, μέχρις ότου ο roller του roller guide πατά στο cam head circle. (βλέπε επίσης διάγραμμα 870-20).

Η pressure valve 13 (που λειτουργεί ως ανεπίστροφη βαλβίδα - non return valve) εμποδίζει το καύσιμο να ρέει πίσω προς τον σωλήνα υψηλής πίεσης στο fuel pump body 1 .

Η stagnation pressure control valve 12 εμποδίζει το after spray των injection nozzles, που μπορεί να προκληθεί από τις διακυμάνσεις της πίεσης στο κατά το πέρας της έγχυσης (delivery end), οδηγώντας το καύσιμο πίσω στη βαλβίδα αναρρόφησης 19 .

Οι Plungers 15 και οι push rods 16 , 17 λιπαίνονται από καύσιμο που διαφεύγει μεταξύ των plunger/push rods και των guides ως διαρροή . Κατά τη λειτουργία , είναι σημαντικό να ελέγχεται περιοδικά ότι λόγω αυτή της διαρροής δεν συσσωρεύεται μεγάλη ποσότητα καυσίμου, στον ενδιάμεσο χώρο (interspace) ZR. Πρέπει να εξασφαλίζεται η διαρροή καυσίμου του fuel drain LA, και τα drip shields 20 να μην είναι βουλωμένα, διότι μπορεί να αναμειχθεί καύσιμο με το λάδι λίπανσης .

(3)



TOMH (3)	
4	4 roller drive of fuel injection pump
6	6 camshaft section
8	8 fuel cam
9	9 reversing servomotor
10	10 excentric shaft of suction valves
11	11 excentric shaft of spill valves
12	12 stagnation pressure control valve
13	13 pressure valve
14	14 spill valve
15	15 fuel injection pump plunger
16	16 valve push rod
17	17 regulating tappet
18	18 control lever
19	19 suction valve
20	20 drip shield
21	21 roller
SR	SR suction space
LA	LA leakage fuel drain
ZR	ZR intermeditate space

Actuator pumps

Ο actuator cam 7, στο τμήμα του εκκεντροφόρου(camshaft section) 6 μεταδίδει στο piston 25 του actuator pump μέσω του roller drive 5 μια κίνηση με σταθερές στροφές.

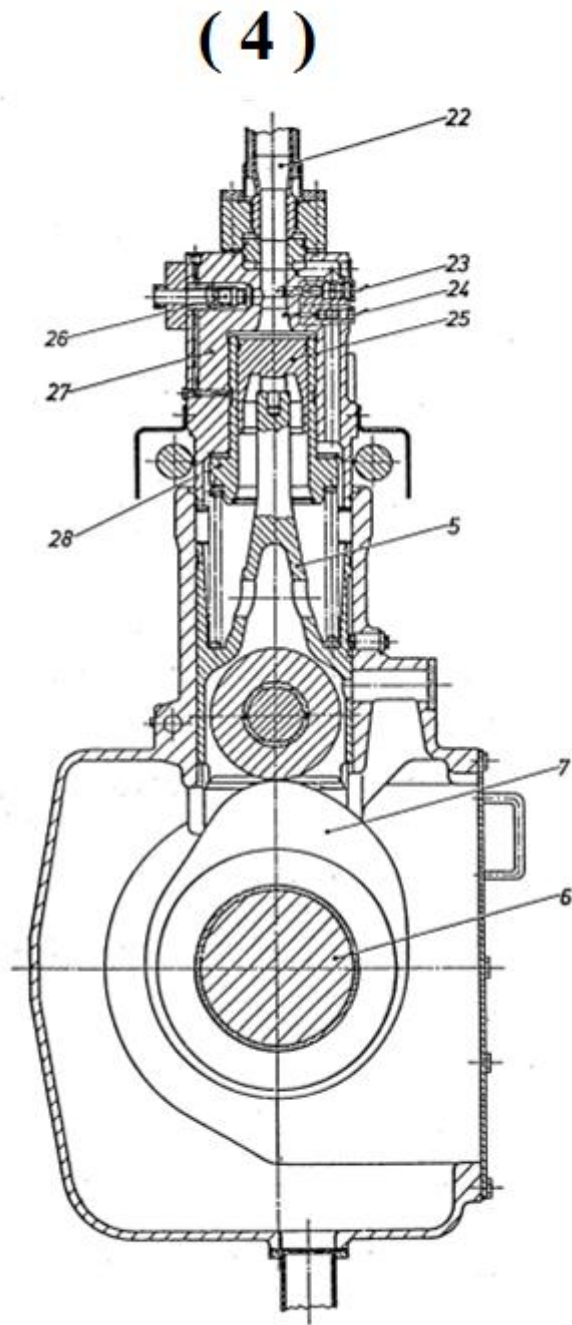
Οι actuator cylinders 28, υδραυλικοί σωλήνες(hydraulic pipes) 22 στη βαλβίδα εξαγωγής και οι exhaust valve drives, λειτουργούν υδραυλικά με λάδι.

Όταν βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση το actuator piston 25, κινεί προς τα άνω το έμβολο της βαλβίδας εξαγωγής(exhaust valve drive), και ανοίγει τη βαλβίδα εξαγωγής. Όταν το actuator piston 25 κινείται προς τα κάτω η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει πνευματικά, με air spring. Το λάδι στη βαλβίδα πιέζεται πίσω προς τον actuator cylinder 28.

Το υδραυλικό σύστημα μόνιμα εξαερίζεται. Διαρροή λαδιού αναπληρώνεται από το σωλήνα τροφοδοσίας λαδιού μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας (non return valve)26.

Η pressure limiting valve 23 προστατεύει το υδραυλικό σύστημα από υπερβολικές πιέσεις. Η βίδα αποστράγγισης λαδιού(oil drain screw) επιτρέπει την αποστράγγιση του υδραυλικού συστήματος.

TOMH (4)	
5	5 roller guide of actuator pump
6	6 cam shaft section
7	7 actuator cam
22	22 hydraulic high pressure pipe
23	23 pressure limiting valve
24	24 oil drain screw
25	25 piston of actuator pump
26	26 non return valve
27	27 actuator pump body
28	28 actuator pump cylinder



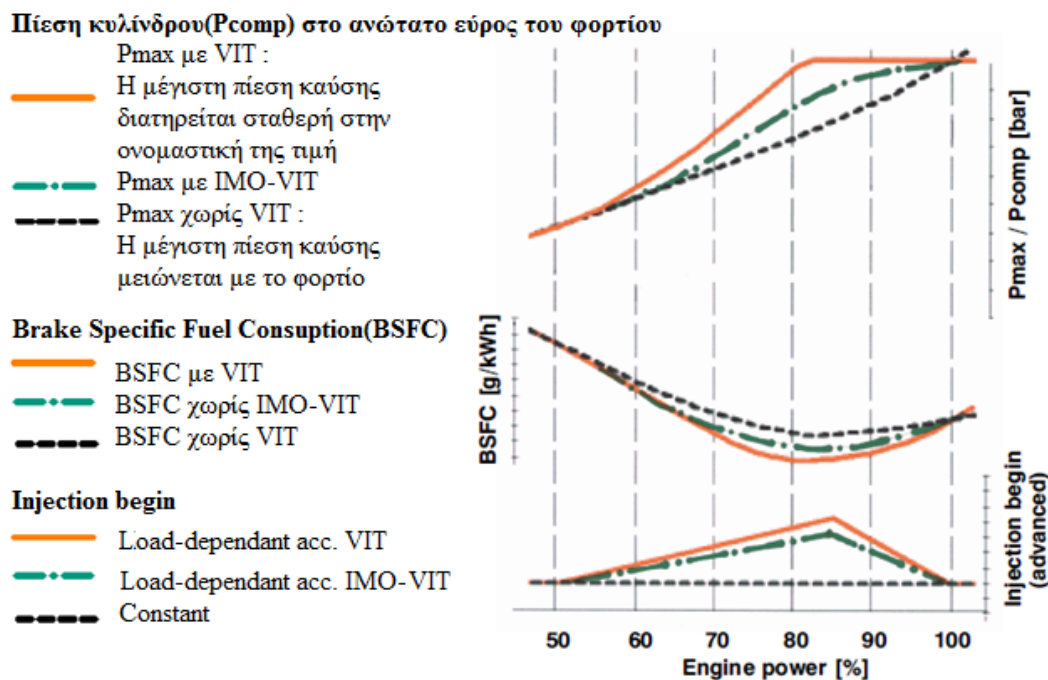
3.3 Αρχή λειτουργίας των συστημάτων VIT και FQS

3.3.1 VIT- Variable Injection Timing (Μεταβλητός χρονισμός έγχυσης)

Η λειτουργία VIT χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του εξαρτώμενου φορτίου της πίεσης καύσης (load dependent adjustment of the combustion pressure) σύμφωνα με το πρώτο διάγραμμα.

Με αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης σε μερικό φορτίο, η οποία είναι το κυρίαρχο φάσμα λειτουργίας του κινητήρα, η κατανάλωση καυσίμων μειώνεται. Δεδομένου ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ της έναρξης έγχυσης και της μέγιστης πίεσης καύσης, η έναρξη της κατάθλιψης(delivery) της αντλίας έγχυσης καυσίμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σήμα ελέγχου για την καύση (στο δεύτερο σχήμα φαίνεται η διάρκεια της έγχυσης).

Νωρίτερη έναρξη έγχυσης(advanced injection) αυξάνει τη μέγιστη πίεση .



Επίδραση της προπορείας(VIT), στην πίεση καύσης(Pmax) και στην ειδική κατανάλωση πέδης(BSFC), κατά την λειτουργία της μηχανής με μερικό φορτίο(part load operation)

Χωρίς VIT

Η έναρξη έγχυσης καθορίζεται από το fuel pump setting της αντλίας.

Αποτέλεσμα: Η Pmax, αυξάνεται με το φορτίο

Με VIT

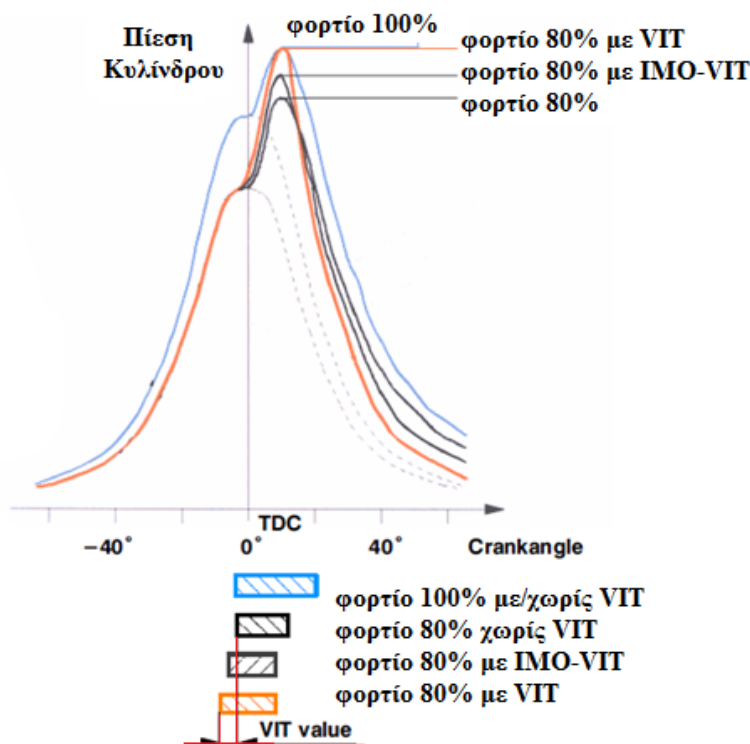
Η έναρξη έγχυσης μεταβάλλεται, προσαρμοζόμενη από το fuel pump setting της αντλίας, και το VIT-value.

Αποτέλεσμα: Η Pmax διατηρείται σταθερή, σε ονομαστική τιμή του ανώτατου εύρους φορτίου.

Με IMO-VIT

Η έναρξη έγχυσης μεταβάλλεται, ρυθμιζόμενη από το fuel pump setting και το VIT value.

Αποτέλεσμα: Η Pmax, μειώνεται με το φορτίο, σύμφωνα το IMO-VIT curve



Διάρκεια έγχυσης

3.3.2 FQS -Fuel Quality Setting (Ρύθμιση Ποιότητας Καυσίμων)

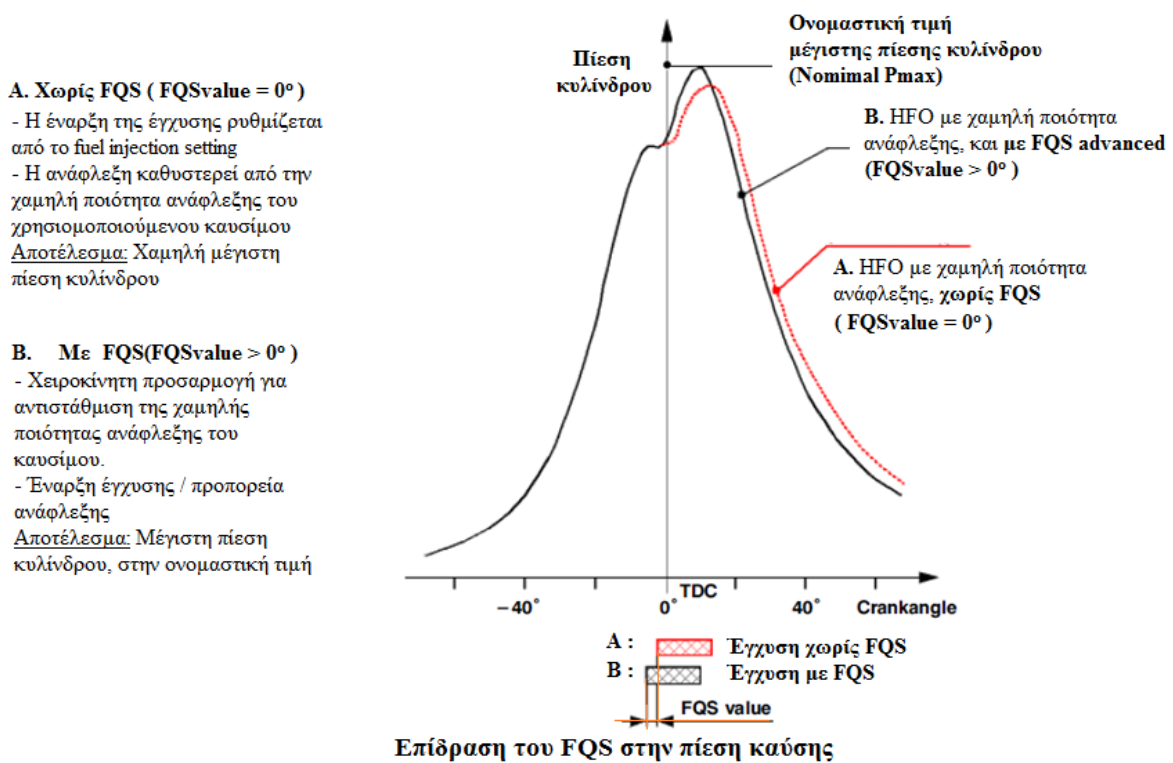
Το FQS επιτρέπει την προσαρμογή σε καύσιμα με χαμηλότερη ποιότητα ανάφλεξης. Καύσιμα που έχουν κακή ποιότητα ανάφλεξης προκαλούν χαμηλότερες πιέσεις ανάφλεξης (lower ignition pressures) στην ίδια ρύθμιση των βαλβίδων. Με τη μετατόπιση του FQS-lever 26 προς το « + », οι πιέσεις ανάφλεξης μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα.

Καύσιμα με καλύτερη ποιότητα ανάφλεξης προκαλεί υψηλότερες πιέσεις ανάφλεξης.

Το FQS-lever θα πρέπει να στραφεί προς το « - ».

Πριν την μετακίνηση του FQS-lever ελέγχεται αν η μείωση της πίεσης ανάφλεξης (ignition pressure reduction) οφείλεται σε μεταβολή τις ποιότητας των καυσίμων, και όχι από την απόφραξη (clogging) κλπ.

Με τη χειροκίνητη ρύθμιση της ποιότητας των καυσίμων - FQS (fuel quality setting), μπορεί να προσαρμοστεί τον χρονισμό ψεκασμού βάσει της ποιότητας του πετρελαίου. Καύσιμο με χαμηλή ποιότητα χαρακτηριστικών ανάφλεξης, έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη firing pressure(πίεση ανάφλεξης) στον ίδιο χρόνο έναρξης της έγχυσης. Με μεγαλύτερη καθυστέρηση ανάφλεξης, η μέγιστη πίεση θα μειωθεί επιδρώντας αρνητικά στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η διαφορά στην καθυστέρηση ανάφλεξης(ignition delay) μπορεί να αντισταθμιστεί από την εφαρμογή μιας τιμής ανεξάρτητου φορτίου “offset” (= FQS value) κατά την έναρξη έγχυσης του πετρελαίου.



Με τη ρύθμιση του FQS στο advanced, δηλαδή την νωρίτερη έναρξη της έγχυσης, η μέγιστη πίεση μπορεί να αυξηθεί στο σωστό επίπεδο και ως αποτέλεσμα, η ειδική κατανάλωση καυσίμου θα μειωθεί. Καύσιμα με καλύτερη ποιότητα ανάφλεξης, δηλαδή μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης, προσδίδουν υψηλότερη μέγιστη πίεση καύσης(maximum firing pressures), και κατά συνέπεια το FQS θα πρέπει να προσαρμόζεται στην κατεύθυνση επιβραδύνσεως, με χαμηλότερη και αρνητική τιμή(retard direction-lower/negative value FQS), έτσι ώστε μετά την έναρξη της έγχυσης να αποφευχθούν οι υπερβολικά υψηλές πιέσεις καύσης .

Αυτή η προσαρμογή πρέπει να διεξάγεται, κάθε φορά που νέο καύσιμο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Οι ιδιότητες της καύσης πρέπει να ελέγχονται με τη βοήθεια των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων(indicator diagrams), κάθε φορά που η ποιότητα των καυσίμων έχει αλλάξει, ώστε να εξασφαλιστεί ότι η μέγιστη πίεση και η αναλογία ανάφλεξης παραμένουν εντός των ορίων του σχεδιασμού (βλ. επίσης κεφάλαιο 5 και 6,7 για το έμβολο συμπεριφορά).

3.4 Τύποι συστημάτων VIT και FQS

Αρχικά, τα συστήματα των VIT και FQS ήταν μηχανικά, χρησιμοποιώντας ένα έκκεντρο για να εκτελέσει το εξαρτώμενο φορτίο από τη λειτουργία VIT . Το FQS ρυθμιζόταν με ένα μοχλό στον κινητήρα.

Προφανή μειονεκτήματα αυτής της μηχανικής διάταξης ήταν οι μηχανικοί περιορισμοί του σχήματος που είχε το έκκεντρο, και το γεγονός ότι κάθε κίνηση του συνδέσμου του ρυθμιστή καυσίμου(fuel regulating linkage) μεταφερόταν απευθείας στο VIT και FQS χωρίς απόσβεση, με αποτέλεσμα παραμορφώσεις στα έκκεντρα .

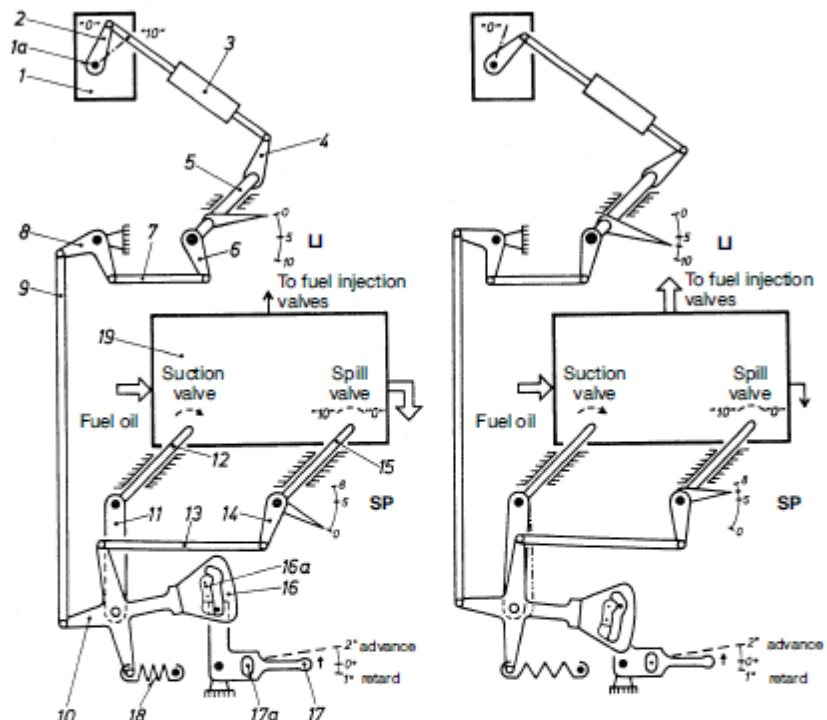
Με την εισαγωγή των ηλεκτρονικά ελεγχόμενων VIT και FQS επιτεύχθηκε εμφανής βελτίωση στο πρόβλημα αυτό. Ο χρονισμός έγχυσης πλέον ελέγχεται από τη θέση ενός πνευματικού κυλίνδρου που ακολουθεί το σήμα ελέγχου της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου(electronic control unit-ECU). Με τη χρήση ψηφιακών συστημάτων ελέγχου, σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα της καμπύλης VIT είναι δυνατό και η κίνηση του πνευματικού κυλίνδρου αποσβένεται για την ομαλή κίνηση του fuel regulating linkage.

Η πρώτη έκδοση του ηλεκτρονικού VIT και FQS που εισήχθη, είναι ισοδύναμη με το ένα μηχανικό δηλαδή ο χρονισμός έγχυσης ρυθμίζεται ακριβώς και μόνο σε συνάρτηση με τη θέση του fuel regulating linkage (= load indicator signal LI) .

Τα ηλεκτρονικά VIT και FQS βασίζονται στο μηχανικό τρόπο λειτουργίας . Σε αυτό το σχέδιο η έναρξη έγχυσης υπολογίζεται με βάση δύο σήματα εισόδου που μετρώνται, δηλαδή οι στροφές της μηχανής/engine speed (n) και η πίεση αέρος υπερπλήρωσης (Pch). Η πίεση του αέρα υπερπλήρωσης αντιπροσωπεύει την πραγματική ισχύ του κινητήρα με έναν πιο άμεσο τρόπο από το δείκτη φορτίου(load indicator) , ενώ η ταχύτητα του κινητήρα λαμβάνει υπόψη το σημείο λειτουργίας του κινητήρα(operating point of the engine) . Και τα δύο σήματα ελέγχου συμβάλλουν σε πολύ πιο ακριβή έλεγχο της μέγιστης πίεσης κυλίνδρου(maximum cylinder pressure) ειδικά όταν λειτουργεί υπό την ονομαστική καμπύλη της προπέλας(nominal propeller curve) .

Φαίνεται η αρχή λειτουργίας του fuel pump regulating linkage, με μηχανικά ελεγχόμενα VIT και FQS στις θέσεις '0' και '7'

MECHANICALLY CONTROLLED VIT AND FQS



Fuel Pump Regulating Linkage with Mechanically Controlled VIT and FQS in LI Position "0" and "7"

Index

- | | | | |
|----|--|-----|--|
| 1 | Speed governor | 13 | Adjustable rod |
| 1a | Governor output shaft | 14 | Lever |
| 2 | Lever | 15 | Eccentric shaft for operating spill valves |
| 3 | Air cylinder | 16 | Profile segment |
| 4 | Lever | 16a | VIT cam |
| 5 | Intermediate regulating shaft | 17 | Setting lever for start of injection (FQS) |
| 6 | Lever | 17a | Locking pin |
| 7 | Adjustable rod | 18 | Tension spring |
| 8 | Dog lever | 19 | Fuel injection pump |
| 9 | Adjustable rod | | |
| 10 | Dog lever | | |
| 11 | Suction valve regulating lever | LI | Load indicator |
| 12 | Eccentric shaft for operating suction valves | SP | Setting scale |

3.4.1 Fuel injection pump regulating linkage

Ο ρυθμιστικός σύνδεσμος της αντλίας έγχυσης (fuel injection pump regulating linkage ή regulating linkage), συνδέει τον RPM governor 1 με τις αντλίες έγχυσης καυσίμου. Ο RPM governor, μέσω του regulating linkage, ρυθμίζεται βάση της ποιότητας του καυσίμου που πρόκειται να εγχυθεί.

Ο air cylinder 2 είναι επιφορτισμένος με control air κατά τη λειτουργία. Μόλις ο shutdown servomotor λαμβάνει την εντολή να σταματήσει η μηχανή, ο air cylinder εξαερίζεται. Ο regulating linkage μετατοπίζεται προς το L.I.-position '0', ανεξάρτητα από την εντολή governor.

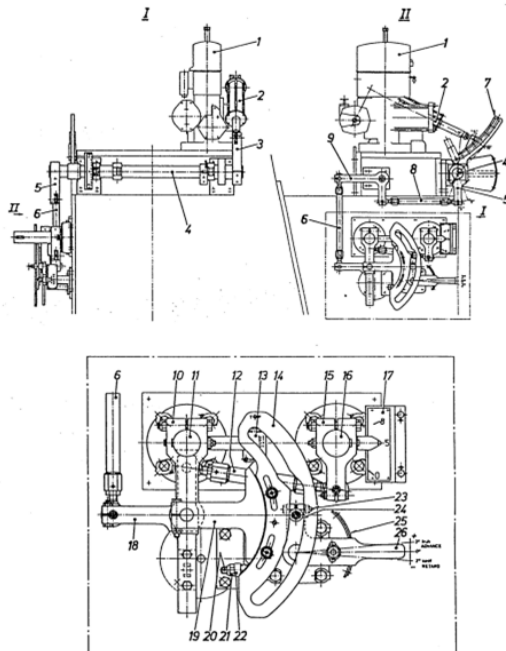
Ένα stop screw περιορίζει την κίνηση του regulating linkage στη μέγιστη θέση.

VIT (Variable Injection Timing):

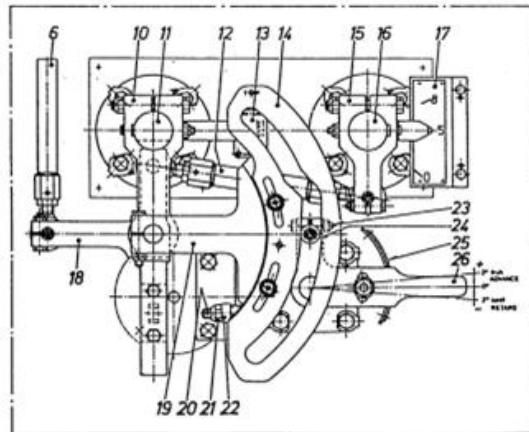
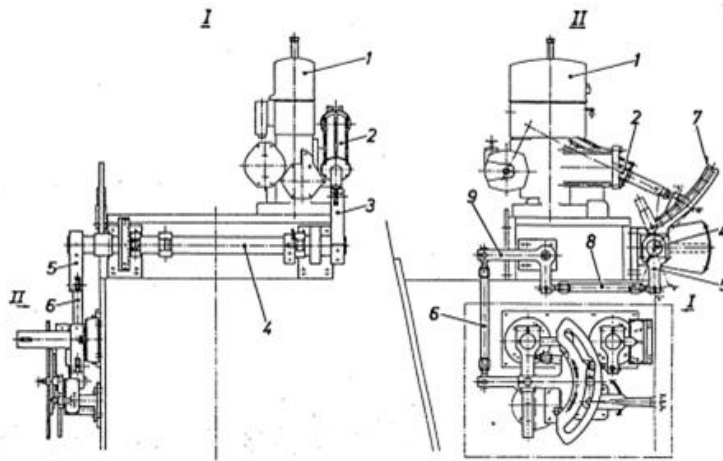
Το load dependent injection start control VIT επηρεάζει τον έλεγχο των βαλβίδων των αντλιών έγχυσης. Η μέγιστη πίεση των κυλίνδρων(maximum cylinder pressure) αυξάνεται περισσότερο σε σχέση με το φορτίο, με την οποία η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται.

Το VIT ρυθμίζεται από τον roller 24 του curve segment 14.

1	1RPM governor
2	2air cylinder
3	3lever
4	4intermediate regulating shaft
5	5lever
6	6adjustable rod
7	7lever for cylinder lubrication
8	8adjustable rod
9	9changeover lever
10	10 suction valve regulating lever
11	11eccentric shaft to suction valves
12	12 adjustable rod
13	13start of injection indicator



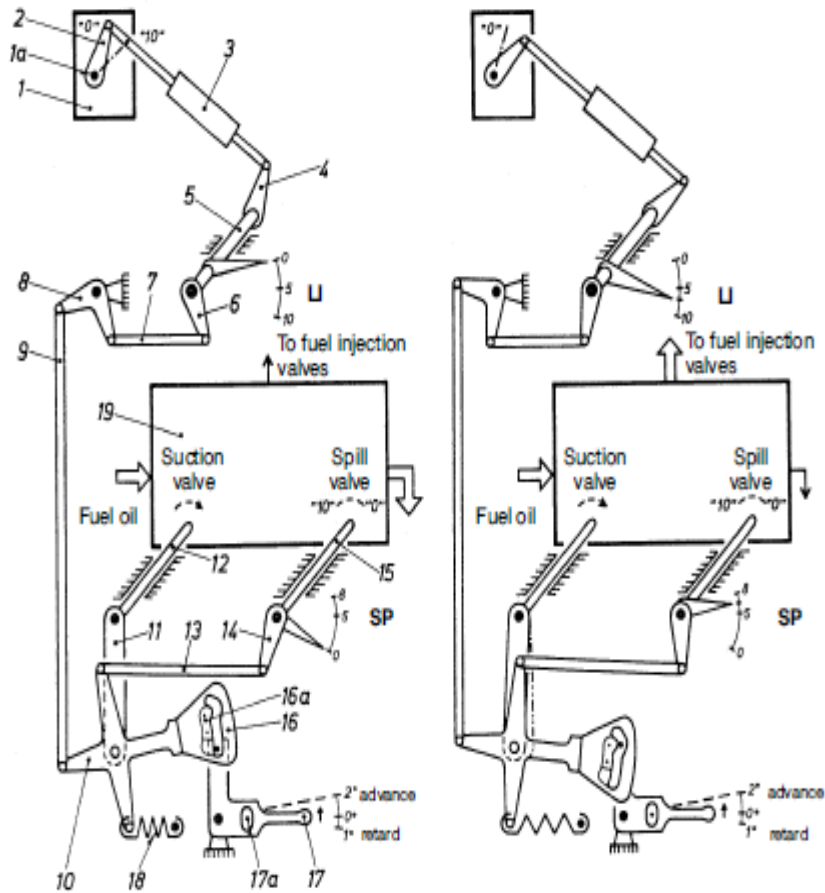
14	14curve segment
15	15 spill valve regulating lever
16	16eccentric shaft to the spill valves
17	17setting scale
18	18changeover lever
19	19 lever
20	20screw
21	21lock nut
22	22support
23	23clamp screw
24	24roller
25	25FQS scale
26	26FQS setting lever



1	1RPM governor
2	2air cylinder
3	3lever
4	4intermediate regulating shaft
5	5lever
6	6adjustable rod
7	7lever for cylinder lubrication
8	8adjustable rod
9	9changeover lever
10	10 suction valve regulating lever
11	11excentric shaft to suction valves
12	12 adjustable rod
13	13start of injection indicator

14	14curve segment
15	15 spill valve regulating lever
16	16excentric shaft to the spill valves
17	17setting scale
18	18changeover lever
19	19 lever
20	20screw
21	21lock nut
22	22support
23	23clamp screw
24	24roller
25	25FQS scale
26	26FQS setting lever

MECHANICALLY CONTROLLED VIT AND FQS



Fuel Pump Regulating Linkage with Mechanically Controlled VIT and FQS in LI Position "0" and "7"

Index

1	Speed governor	13	Adjustable rod
1a	Governor output shaft	14	Lever
2	Lever	15	Eccentric shaft for operating spill valves
3	Air cylinder	16	Profile segment
4	Lever	16a	VIT cam
5	Intermediate regulating shaft	17	Setting lever for start of injection (FQS)
6	Lever	17a	Locking pin
7	Adjustable rod	18	Tension spring
8	Dog lever	19	Fuel injection pump
9	Adjustable rod	LI	Load indicator
10	Dog lever	SP	Setting scale
11	Suction valve regulating lever		
12	Eccentric shaft for operating suction valves		

3.4.2 Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο VIT και FQS

Το ηλεκτρονικό σύστημα των VIT και FQS αποτελείται από δύο μέρη :

A : Το **λογικό κύκλωμα ελέγχου**(*logical control circuit*), το οποίο υπολογίζει τον απαιτούμενο χρονισμό έγχυσης με βάση το σήμα ελέγχου που χρησιμοποιείται στο αντίστοιχο σύστημα των VIT και FQS. Οι λειτουργίες ελέγχου είναι ενσωματωμένες στο αυτόματο σύστημα ελέγχου της κύριας μηχανής.

Το *logical control circuit* υπολογίζει το κατάλληλο *actuator position* σύμφωνα με τα σήματα εισόδου του, δηλαδή το *load indicator signal (LI)*, το *engine speed (n)* και το *charge air pressure (Pch)*. Με αυτή την τιμή θέσης(*position value*) ως *setpoint* , το σύστημα ελέγχου δίνει εντολές για τον έλεγχο των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων του *pneumatic cylinder*, έως ότου αυτός έχει φτάσει τη σωστή του θέση, η οποία επαληθεύεται από το ποτενσιόμετρο ανάδρασης(*feedback potentiometer*).

B: Ένα **πνευματικό κύλινδρο** που χρησιμοποιείται για να τοποθετήσει τους εκκεντρικούς άξονες των *suction* και *spill valves* με αποτέλεσμα το επιθυμητό χρονισμό έγχυσης .

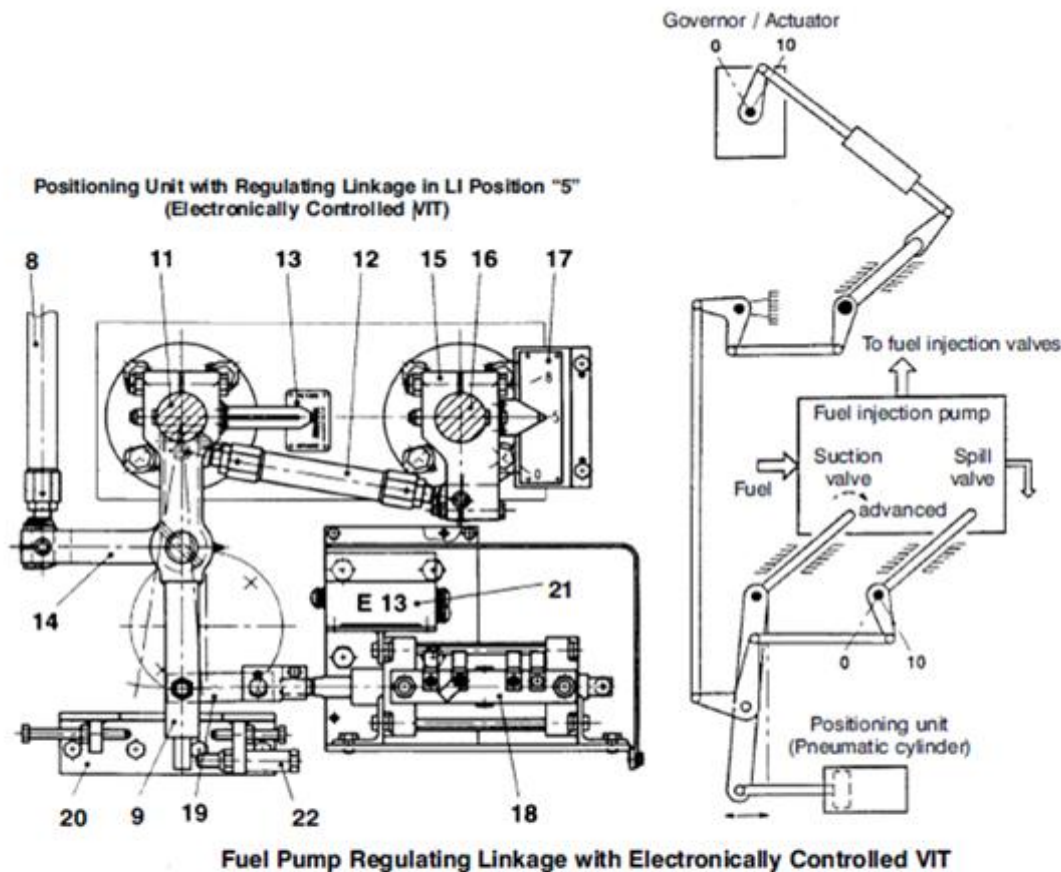
Fuel Regulating Linkage

Η θέση του *speed control system/governor*, ορίζει την ποσότητα του καυσίμου που εγχέεται από τις αντλίες έγχυσης καυσίμου . ρυθμίζει ανάλογα τη θέση του *spill valves eccentric shaft* σε σχέση με τη θέση του *suction valves eccentric shaft* άξονα και επομένως καθορίζει τη διάρκεια της έγχυσης.

Ο *actuator* του VIT και FQS συστήματος (*positioning unit 18*), επενεργεί στους δύο *eccentric shafts* των *spill* και *suction valves* των αντλιών έγχυσης καυσίμου και, επομένως, ρυθμίζει την έγχυση σε *advanced* ή *retarded injection*.

Η μηχανική διάταξη του πνευματικού κυλίνδρου μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανικά στοπ 25 και 25α για να μετακινήσετε τον κύλινδρο με το χέρι σε περίπτωση βλάβης στο σύστημα αυτόματου εντοπισμού θέσης .

Κάθε *positioning unit* έχει ένα *sleeve distance 22*, που θέτει το VIT και FQS σε *neutral position*.



Index

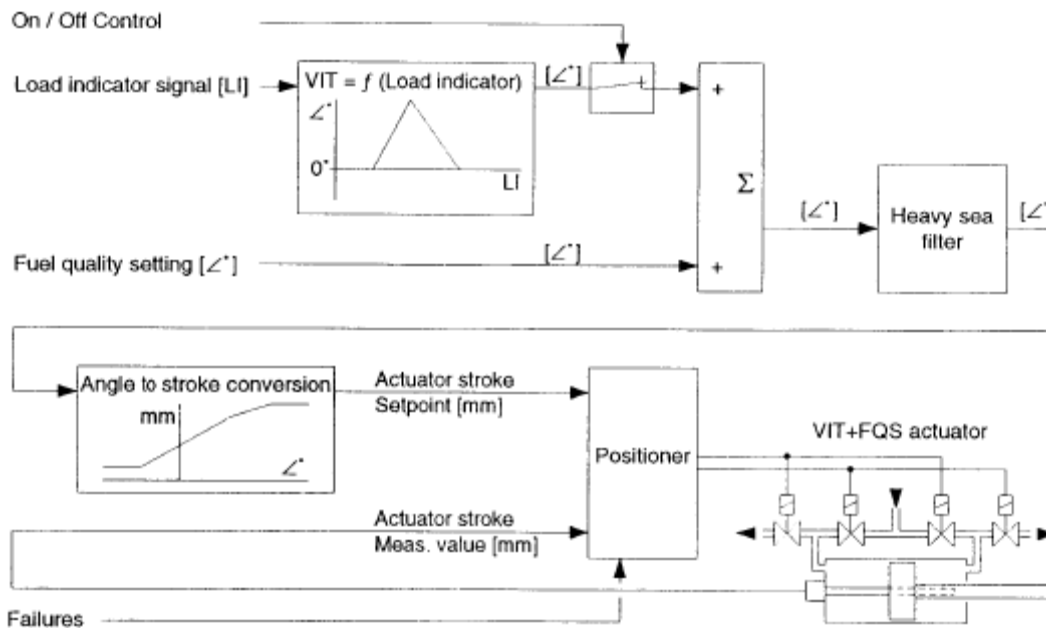
8	Vertical rod	17	Setting plate (LI position)
9	Suction valve regulating lever	18	Positioning unit
11	Eccentric shaft for suction valves	19	Connecting strap
12	Rod for eccentric shaft 16	20	Suction valve regulating lever blocking unit (LI position "0")
13	VIT indicator	21	Terminal box E 13 (RTA 62U)
14	Diverting lever for VIT	22	Distance sleeve (Tool)
15	Spill valve regulating lever		
16	Eccentric shaft for spill valves		

3.4.2.1 VIT = f (LI)

Η πρώτη έκδοση της ηλεκτρονικής VIT FQS είναι ισοδύναμο με το αντίστοιχο μηχανικό, δηλ. ο χρονισμός έγχυσης ρυθμίζεται ανάλογα μόνο με το load indicator position (LI).

Το αποτέλεσμα του χρονισμού έγχυσης είναι το άθροισμα μεταξύ των γωνιών VIT angle και FQS angle. Σε περίπτωση απενεργοποίησης της λειτουργίας VIT (VIT function), ο positioner θα ακολουθήσει μόνο τη ρύθμιση FQS (FQS setting only).

Το αποκαλούμενο φίλτρο heavy sea filter θα εξομαλύνει την κίνηση του actuator σε γρήγορες μεταβολές που προκαλούνται load indicator, για παράδειγμα, από την τρικυμία (by heavy sea).



Simplified Block Diagram for VIT and FQS
 $VIT = f(LI)$

απλοποιημένο διάγραμμα για VIT και FQS $VIT = f(LI)$

3.4.2.2 VIT = f (n, Pch)

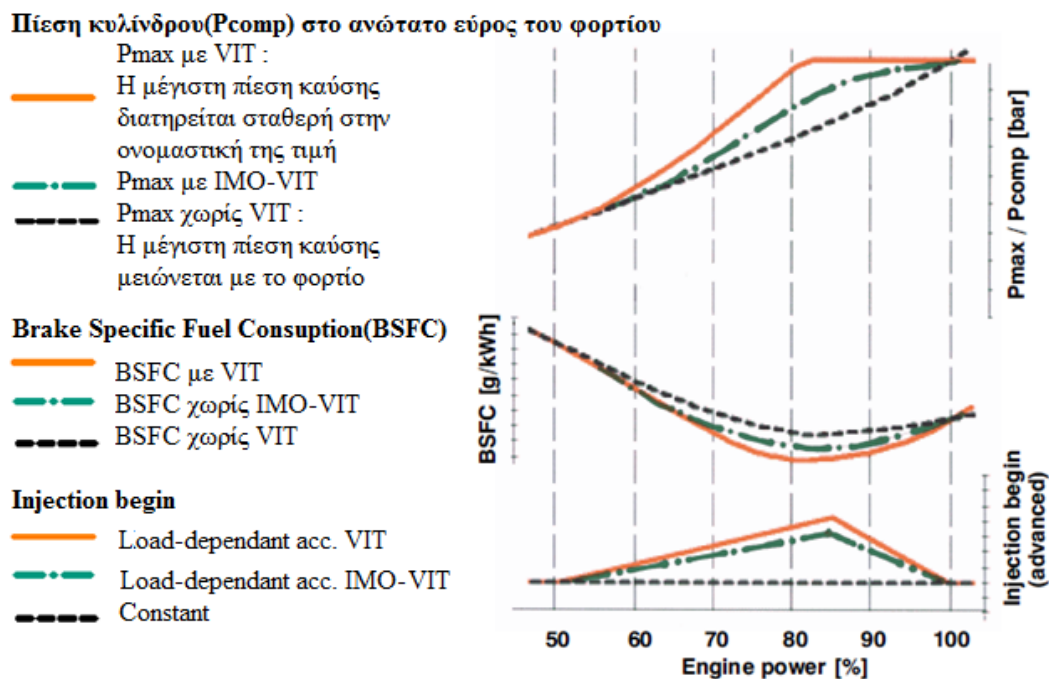
Η βελτιωμένη έκδοση του παραπάνω συστήματος, χρησιμοποιεί την μετρούμενη ταχύτητα του κινητήρα - engine speed (n) και πραγματική πίεση αέρα υπερπλήρωσης - actual charge air pressure (Pch), ως σήματα ελέγχου για το VIT. Λαμβάνοντας υπόψη τα δύο σήματα ταυτόχρονα, αυτή η έκδοση του VIT μπορεί να προσαρμοστεί καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες φορτίου του κινητήρα (real engine load conditions) από την ονομαστική καμπύλη της έλικας λόγω, για παράδειγμα, του sea margin και των αλλαγών φορτίου του κινητήρα που δημιουργούνται, για παράδειγμα από την ρύπανση της γάστρας του πλοίου (fouling of the ship's hull) ή από καιρικές συνθήκες.

Σε ορισμένους τύπους μηχανών (μηχανές της ομάδας 4/ DENIS 5), το εύρος ισχύος στην οποία η μέγιστη πίεση καύσης διατηρείται κοντά στην ονομαστική αξία, κυμαίνεται από 65% έως 100%. Προκειμένου να διατηρηθεί η αναλογία $P_{max\ combustion} / P_{compression\ at\ TDC}$ εντός των ορίων της, το VEC (Variable Exhaust Closing) εφαρμόζεται σε αυτούς τους τύπους κινητήρων. Η VEC

αυξάνει την πίεση συμπίεσης (compression pressure) στη χαμηλότερη κλίμακα ισχύος (lower power range) με αποτέλεσμα χαμηλότερες καύσης αναλογίες $P_{max} / P_{Compression}$ at TDC.

Ο χρόνος έγχυσης καθορίζεται από τη λειτουργία του VIT, που είναι ουσιαστικά το άθροισμα των δύο ανεξάρτητων σημάτων (VIT signal A και VIT signal B). Το VIT signal A είναι μια γωνία VIT angle που ορίζεται σε συνάρτηση με την πίεση του charge air, και του σήματος VIT signal B που ορίζεται σε συνάρτηση με τη μετρούμενη ταχύτητα του κινητήρα (measured engine speed).

Κατά την λειτουργία της μηχανής στην ονομαστική καμπύλη της έλικας, η προκύπτουσα καμπύλη VIT (VIT signal A + VIT signal B) προς την ισχύ της μηχανής, έχει παρόμοιο σχήμα με αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα που απεικονίζει την επίδραση του VIT, της P_{max} και της BSFC κατά το part load operation. Σε οποιαδήποτε άλλη κατάσταση λειτουργίας, η προκύπτουσα γωνία VIT ρυθμίζεται με κατάλληλο τρόπο, για την επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης μέγιστης πίεσης κυλίνδρου (maximum cylinder pressure) προς την ισχύ της μηχανής.

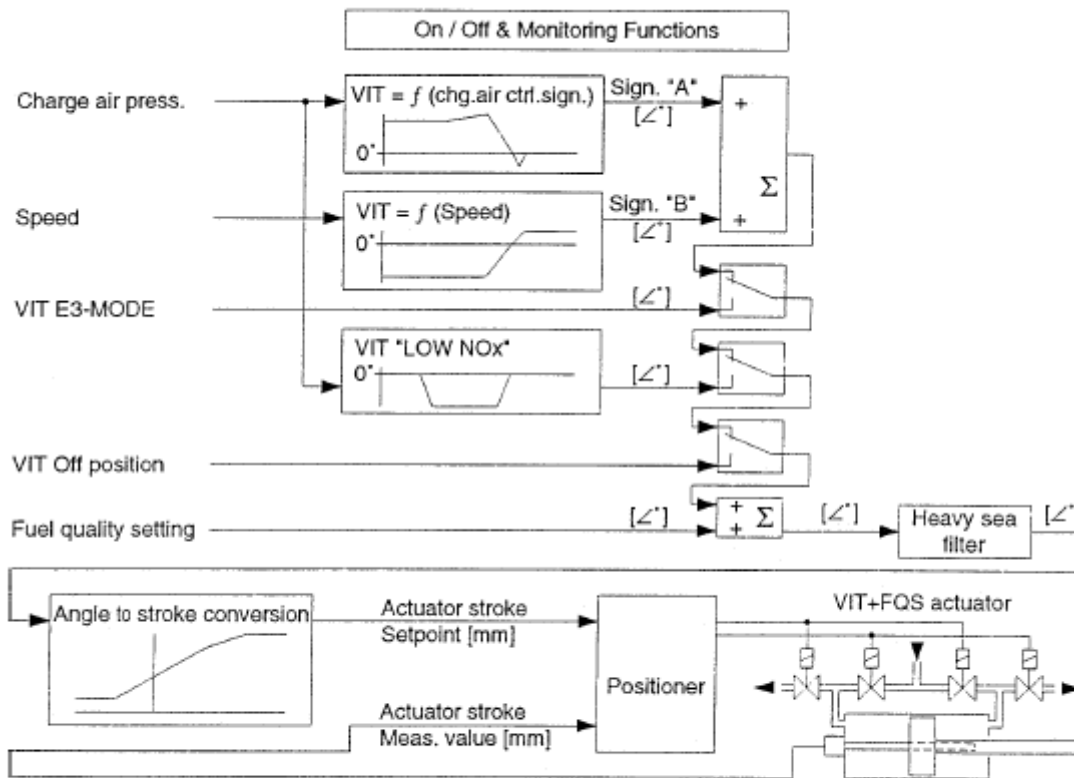


Επίδραση της προπορείας (VIT), στην πίεση καύσης (P_{max}) και στην ειδική κατανάλωση πέδησης (BSFC), κατά την λειτουργία της μηχανής με μερικό φορτίο (part load operation)

Ένα manually selectable “Low NO_x Mode” οδηγεί σε επιβραδυνόμενη έγχυση ενός μεγάλου εύρους ισχύος, επιτυγχάνοντας τη μείωση των εκπομπών NO_x και την κάλυψη για παράδειγμα,

στους τοπικούς κανονισμούς. Αυτή η λειτουργία δεν είναι απαραίτητη για τις IMO – tuned engines για να τηρούν τον IMO NOX κανονισμούς. Σε περίπτωση απενεργοποίησης της λειτουργίας VIT, ο actuator θα λάβει θέση που ορίζεται από το τιμή της παραμέτρου “VIT off position” (set to zero degrees) και το FQS setting.

Το heavy sea filter, θα εξομαλύνει τις απότομες κινήσεις του actuator σε γρήγορες μεταβολές που προκαλούνται στο load indicator, για παράδειγμα, από την τρικυμία.



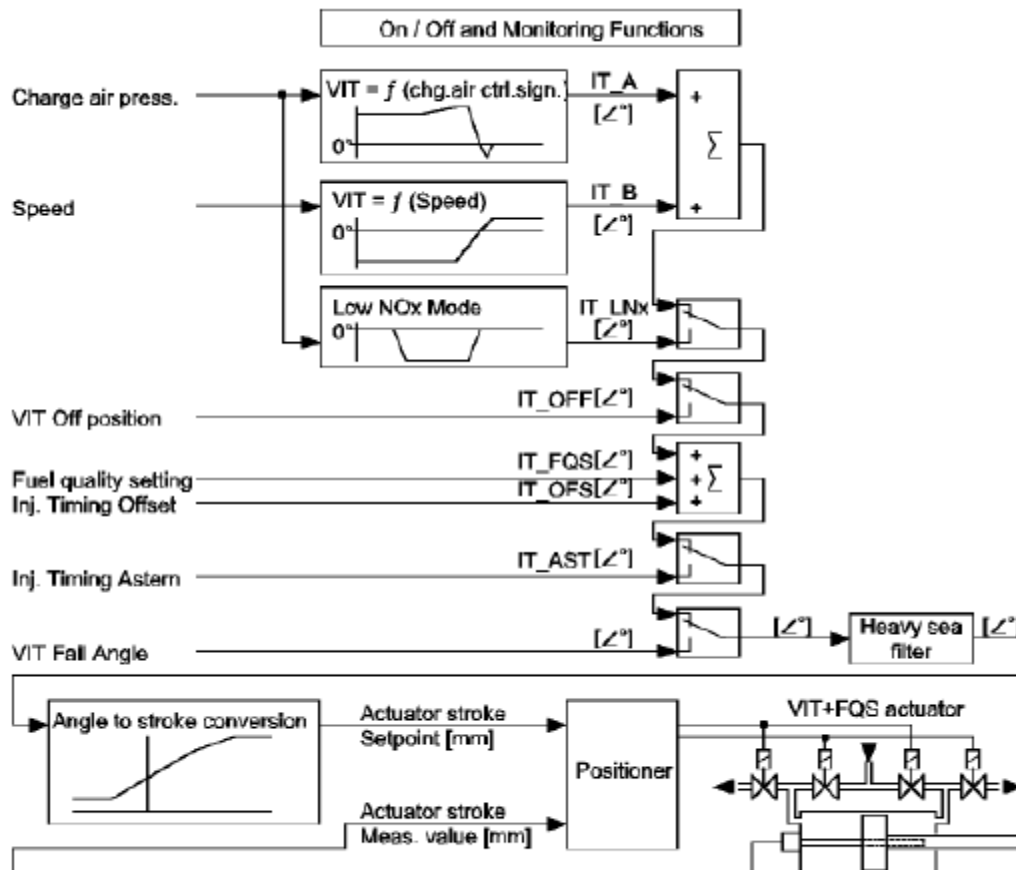
Simplified Block Diagram for VIT and FQS

$$VIT = f(n, p_{ch})$$

3.4.2.3 VIT = f(n, Pch) IMO

Με σκοπό την συμμόρφωση, στους όρους που έθεσε ο IMO σχετικά με τα την περιβαλλοντική ρύπανση από τα εκπεμπόμενα οξείδια του αζώτου, διεξήχθησαν ορισμένες μετατροπές στο σύστημα του VIT control circuit. Εκτός από τις λειτουργίες σύμφωνα με το σχήμα στη σελ.80, η παράμετρος “IT OFS” προστίθεται στην υπολογισμένη γωνία ψεκασμού (calculated injection angle)- διάγραμμα για VIT και FQS VIT = f(n, PCH) IMO Tuned. Αυτή η παράμετρος έχει εισαχθεί για τη βασική ρύθμιση της μέγιστης πίεσης καύσης και την πρόσθετη καθυστέρηση (εάν εφαρμόζεται) για τη μείωση των εκπομπών NOx (μειωμένη μέγιστη πίεση καύσης) . Η παράμετρος “ IT OFS” εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα.

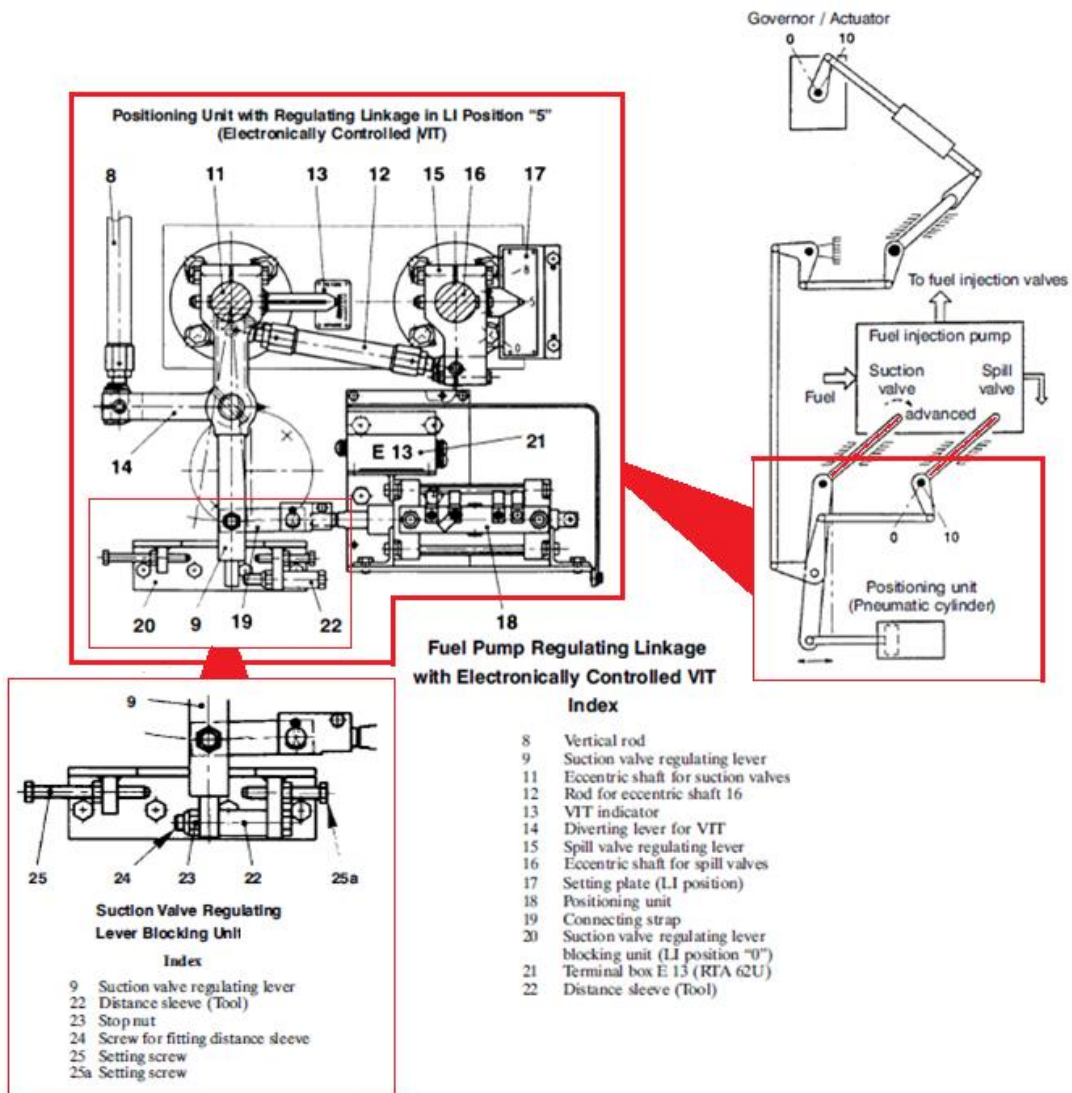
Μια άλλη συνέπεια της Tuning IMO είναι η παράμετρος IT AST . Με την λειτουργία της μηχανής σε ASTERN POSITION, ο χρονισμός έγχυσης κρατείται σταθερός στην τιμή ‘IT AST value’ που ορίζεται ξεχωριστά για κάθε κινητήρα ανάλογα με τον τύπο και τη διαβάθμιση.



Simplified Block Diagram for VIT and FQS
VIT = f(n, p_{ch}) IMO Tuned

3.5 VIT Actuator Setting

Ο έλεγχος της διαδρομής του actuator stroke στο VIT position '0', γίνεται μηχανικά εισάγοντας το distance sleeve 22, μεταξύ του suction valve regulating lever και του blocking unit(βλ. εικόνα του Suction Valve Regulating Lever Blocking Unit). Το distance sleeve καθορίζει την ουδέτερη θέση του VIT leverage χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθεί ο actuator. Η θέση του regulating linkage φαίνεται πάνω στο setting plate 17, και αντιστοιχεί στη θέση '0'.



3.6 Ειδικές συνθήκες λειτουργίας της μηχανής

Όπως προαναφέρθηκε, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας της μηχανής, το σύστημα VIT και FQS θα πρέπει πάντα να είναι σε λειτουργία. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις λειτουργίας(πχ Στρώσιμο των νέων χιτώνια κυλίνδρων και / ή εμβόλου), κατά τις οποίες το VIT πρέπει να απομονωθεί, για τη μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης.

- Στρώσιμο των νέων χιτώνια κυλίνδρων και / ή εμβόλου

Για τη λειτουργία σε πρόσφατα τοποθετηθεί χιτώνια κυλίνδρων τη VIT και FQS θα πρέπει να απενεργοποιηθεί για 50-200 ώρες λειτουργίας (βλ. Operating Instructions and Service Bulletin – Running-in of Cylinder Liners and Piston Rings). Όταν το VIT είναι σε λειτουργία , συνιστάται να μην τοποθετηθεί το distance sleeve 22 , προκειμένου το FQS να είναι σε θέση να καθορίσει ηλεκτρονικά μια τιμή, ανάλογα με την ποιότητα του πετρελαίου και τη μέγιστη επιτρεπόμενη αναλογία $P_{max\ combustion} / P_{compression\ at\ TDC}$.

Όταν VIT και FQS απενεργοποιούνται, το VIT actuator position καθορίζεται από την παράμετρο VIT off Position και το FQS value. Με το VIT off Position set to '0', πρέπει να παραμένει πάντα '0' με την μηχανή σε λειτουργία, και ο VIT actuator θα κρατήσει τη θέση που από το FQS.

3.7 VIT failure

Με την ενδεχόμενη δυσλειτουργία του συστήματος VIT, η combustion peak pressure δεν μπορεί να ελεγχθεί πλέον από τον pneumatic actuator. Το distance sleeve 22 πρέπει να τοποθετηθεί για να καθορίσει το neutral position του VIT / FQS.

Πριν από την ρύθμιση του FQS, απαιτείται ακριβής μέτρηση της firing pressure. Επίσης, πρέπει να εξεταστεί αν οι πιθανές αποκλίσεις από την κανονική firing pressure οφείλεται πραγματικά στην αλλαγή της ποιότητας του πετρελαίου. Αποκλίσεις στην firing pressure που οφείλονται στον ασυνήγητο εξοπλισμό έγχυσης και σάρωσης, δεν πρέπει να αντισταθμίζονται με τη προσαρμογή του FQS.

3.8 Ignition Ratio (Λόγος ανάφλεξης)

Η αναλογία καύσεως $P_{max} / P_{Compression}$ στο ANΣ είναι μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την απόδοση των ελατηρίων του εμβόλου, την οικονομία καυσίμου και εκπομπών. Δεν υπάρχει κανένας φυσικός ή θερμοδυναμικός ορισμός για τη βέλτιστη και μέγιστη αναλογία καύσης $P_{max} / P_{Compression}$ at TDC. Με βάση την εμπειρία και τα αποτελέσματα της μελετών, ο λόγος ανάφλεξης για τις μηχανές έχουν βελτιωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μεσολαβούν μεγάλα χρονικά διαστήματα από τα Overhauls, ενώ επιτυγχάνεται χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Οι RTA μηχανές σχεδιάζονται έτσι ώστε η αναλογία $P_{max} / P_{Compression}$ at TDC σε φορτίο 100% να ισούται με 1,2, και σε περίπου 1.5 με λειτουργία σε μερικό φορτίο.

Για τις IMO-tuned RTA engines, το firing ratio στο 100 % του φορτίου κυμαίνεται από 0,90 έως 1,25, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Σε μερικό φορτίο, η διαφορά μεταξύ firing pressure (P_{max} Combustion) και η πίεση κατά την έναρξη της καύσης ($P_{ignition}$), δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 bar.

Αυτοί οι λόγοι μπορεί να ποικίλλουν σε κάθε μηχανή, λόγω του scavenging air pressure και του injection timing. Ως κατευθυντήρια γραμμή, αύξηση της πίεσης (P_{Start} of Combustion => P_{max} Combustion) υψηλότερη από 40-45 bar πρέπει να αποφεύγεται, λόγω του κινδύνου της καταστροφής των ελατηρίων του εμβόλου ή θραύσης λόγω κόπωσης του υλικού. Εκτός από τα παραπάνω, πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε το ignition ratio και το maximum pressure να μην υπερβαίνουν τις τιμές των sea trial.

Επίλογος - Συμπεράσματα

Τελικά, το σύστημα του μεταβλητού χρονισμού παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην λειτουργία της μηχανής, όσο και στην απόδοση, την συντήρησή της, και την εκπομπή ρύπων(οξειδίων του αζώτου και άκαυστων υδρογονανθράκων του καυσίμου).

Όσον αφορά το καύσιμο, προτάσεις για τον καλύτερο καθαρισμό των ναυτικών καυσίμων από στερεά σωματίδια και στοιχεία που προκαλούν περιβαλλοντικές βλάβες(sulphur, κλπ) είναι ακόμη ανέφικτες, καθώς η δαπάνη ενέργειας, και ο προϋπολογισμός για τις νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αγγίζουν υπέρογκα ποσά κεφαλαίων και επενδύσεων, ενώ η εκπομπή ρύπων από τα διυλιστήρια για τον καθαρισμό των residual fuels, είναι εκθετικά μεγαλύτερες από την καύση των σημερινών ναυτικών καυσίμων.

Το σύστημα VIT, αποσκοπεί στη νωρίτερη έγχυση του καυσίμου(early injection ή προπορεία). Σε αυξημένες στροφές - που η χρονική διάρκεια κάθε φάσης του κύκλου της μηχανής μειώνεται, με την προπορεία που προσδίδεται από το σύστημα VIT, το καύσιμο εγχύεται λίγο νωρίτερα, ώστε να προλάβει να αναφλεχθεί όλη του η ποσότητα, καθ' όλη την διάρκεια της έγχυσης. Το ίδιο συμβαίνει και στα βραδέως αναφλεγόμενα καύσιμα, λόγω της υψηλής ποσότητας αρωματικών ενώσεων που παρουσιάζουν και των ασφατενίων. Γενικά, όσο πιο νωρίς γίνεται η έγχυση, η μέγιστη πίεση καύσης(P_{max}) αυξάνεται, ενώ η θερμοκρασία των καυσαερίων ελαττώνεται.

Αντίθετα, με την επιπορεία(καθυστερημένη έγχυση), η μέγιστη πίεση καύσης(P_{max}) μειώνεται, ενώ η θερμοκρασία των καυσαερίων αυξάνεται, καθώς ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής ενώ συνεχίζεται η καύση και η εκτόνωση των καυσαερίων. Σε αυτή την περίπτωση, προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην θερμοκρασία των καυσαερίων, η οποία δεν πρέπει να υπερβεί τους $550^{\circ}C$. Στην θερμοκρασία αυτή σχηματίζεται βαναδιούχο νάτριο, που σε συνδυασμό με τα θερμά καυσαέρια προκαλείται high temperature corrosion, και καύση των επιφανειών του συστήματος εξαγωγής. Ταυτόχρονα, κατά την φάση την καύσης η θερμοκρασία ανέρχεται στιγμιαία πάνω από τους $1200^{\circ}C$, με αποτέλεσμα το αδρανές άζωτο που εμπεριέχεται στην σύσταση του αέρα να γίνεται ενεργό, που σε συνδυασμό με τους υδρογονάνθρακες και το οξυγόνο να σχηματίζονται οξείδια αζώτου(NO_x) και άλλες ενώσεις, επιβλαβείς για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Με την προπορεία, δεν υπάρχουν αυξημένες θερμοκρασίες των καυσαερίων, διότι κατά την εκτόνωση το πετρέλαιο καίγεται πλήρως, με άμεση επίδραση στον περιορισμό των εκπομπών NO_x . Παράλληλα, με την προπορεία αυξάνεται και η μέγιστη πίεση καύσης, αυξάνοντας την παραγόμενη ισχύ της μηχανής και συνεπώς, μειώνοντας την ειδική κατανάλωση του καυσίμου(SFOC) δηλαδή την παραγόμενη ισχύ ανά μάζα καυσίμου και οδηγώντας στην οικονομία του καυσίμου. Παρ' όλ'

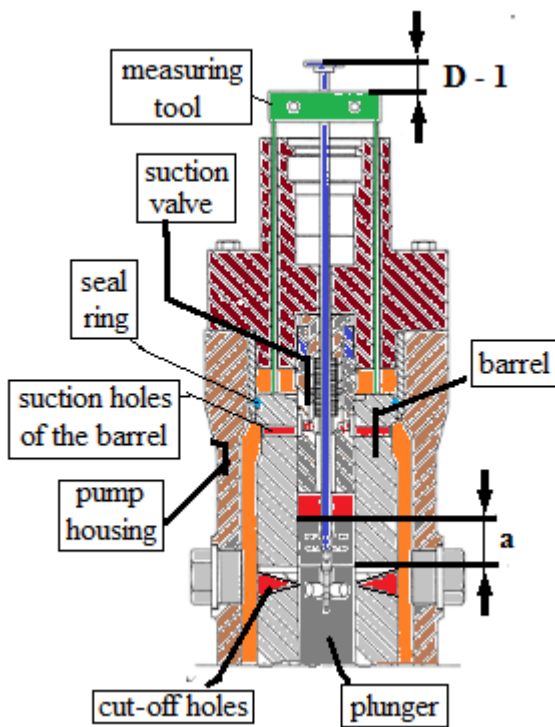
αυτά, πρέπει να τονιστεί ότι η αυξημένη προπορεία, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων κάτω των 150° C. Η θερμοκρασία αυτή, αποτελεί κατώτατο όριο της θερμοκρασίας των καυσαερίων και dew point του θείου, διότι συμπυκνώνονται οι ατμοί του θείου, σχηματίζοντας ενώσεις θειϊκού και θειώδους οξέος(SO₃, SO₂)που διαβρώνουν την μηχανή. Επίσης, η αυξημένη P_{max}, θα έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση και στα ελατήρια των εμβόλων, προκαλώντας ενδεχόμενη θραύση τους, λόγω των αυξημένων τάσεων.

Βιβλιογραφία

1. MANBW_VIT_pump.htm
2. Manual RTA-53
3. Manual RTA-54
4. Manual SL87-223
5. σημειώσεις κ. Σάαντ Φαντί
6. σημειώσεις κ. Γουργούλη Δημητρίου
7. σημειώσεις κ. Σχοινά Χρήστου
8. <http://www.chemeng.ntua.gr/>
9. Βιβλίο MEK Βούσουρα
10. http://www.youtube.com/watch?v=SMdaMdLZk_w (VIT adjustment-video)
11. http://www.eugenfound.edu.gr/appdata/documents/books_pdf
12. <http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=resource&cresrc=687&cnode=>
81

Παράρτημα

Προπορεία (*fuel pump lead ή effective lead*): **a**, ορίζεται η απόσταση μεταξύ του άνω μέρους του εμβόλου της αντλίας, κινούμενο προς τα πάνω, και πάνω των άνω άκρων των οπών του χιτωνίου της αντλίας (cut-off holes), όταν το έμβολο του συγκεκριμένου κυλίνδρου, βρίσκεται στο ΑΝΣ.



Για τον έλεγχο της προπορείας, θα πρέπει να αφαιρεθεί το πετρέλαιο της αντλίας και να βγει η puncture valve. Στην θέση της, θα τοποθετηθεί το ειδικό όργανο μέτρησης. Επίσης θα πρέπει να αποσυνδεθεί ο πείρος που συνδέει τον actuator με τον VIT-index arm, ο οποίος θα πρέπει να τοποθετηθεί στο μηδέν (ένδειξη VIT-index arm=0).

Η μηχανή θα πρέπει να είναι ήδη σε ΠΡΟΣΩ (AHEAD direction). Με τον κρίκο θα πρέπει να γυριστεί με φορά ΠΡΟΣΩ, μέχρι το έμβολο του συγκεκριμένου κυλίνδρου της μηχανής να βρίσκεται ακριβώς στο ΑΝΣ.

Με το έμβολο της μηχανής στο ΑΝΣ, και το έμβολο της αντλίας στην φάση της κατάθλιψης του καυσίμου, το όργανο θα φέρει μια ένδειξη x . Η προπορεία a υπολογίζεται βάση του τύπου:

$$a = x - "D1"$$

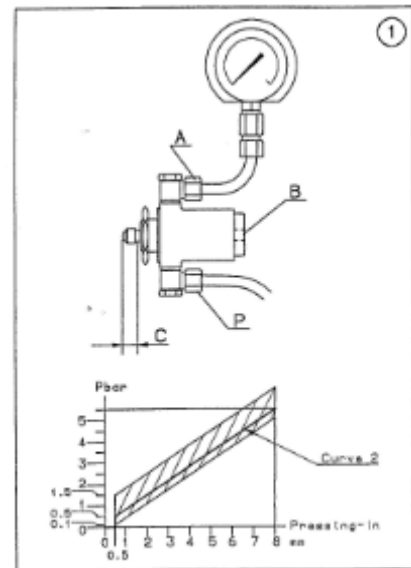
Σε περίπτωση που το VIT-index arm δεν βρίσκεται στο μηδέν κατά την διάρκεια των μετρήσεων, θα πρέπει η ένδειξη να συνυπολογιστεί στον τύπο:

$$a = x - "D-1" - "VIT-index"$$

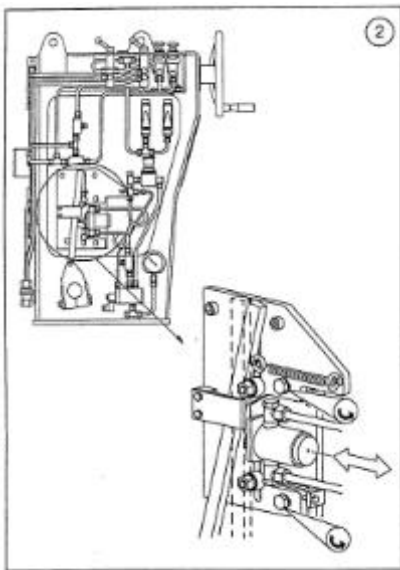
MCR (*Maximum Continuous Rating*): Η μέγιστη ισχύς, που μπορεί να αποδίδει η μηχανή χωρίς πρόβλημα, κατά την διάρκεια της λειτουργίας της.

Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου (*SFOC-Special Fuel Oil Consumption*): μέτρο με το οποίο προσδιορίζεται κατανάλωση μάζας καυσίμου, για την παραγωγή της δεδομένης ισχύος σε μία ώρα. Μετρείται σε BHP / kg/h, ή σε kW / kg/h

Pilot valve: Η pilot valve τροφοδοτείται με control air, πίεσης 0,5 - 5,5 bar, που αντιστοιχεί σε εξώθηση της ακίδας(pin) C, από 0,5 έως 8,0mm και βάση της καμπύλης. Σε περίπτωση που οι αντίστοιχες πιέσεις δεν συμβαδίζουν με τα ανάλογα μήκη που εξωθείται η ακίδα γίνεται κατάλληλη διόρθωση, με τον ρυθμιστικό κοχλία(adjusting screw) B.



Η ρύθμιση της Pmax στο breakpoint(για όλους τους κυλίνδρους), γίνεται με την αξονική μετατόπιση του bracket μαζί με την pilot valve. Επομένως, για αύξηση της Pmax, η pilot valve πρέπει να μετακινηθεί προς την ράβδο. Αντίστοιχα, για την μείωση της Pmax, η pilot valve πρέπει να απομακρυνθεί από την ράβδο.



Κνώδακας: αλλιώς έκκεντρο, αμύγδαλο, κάμα, cam. Το τμήμα του κνωδακοφόρου άξονα(αλλιώς, εκκεντροφόρου άξονα) που μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε παλινδρομική, προσδίδοντας κίνηση στον roller guide και στον exhaust valve actuator.

Σταθερότητα Καυσίμου (Fuel Stability): Μέγεθος που χαρακτηρίζει το καύσιμο, σε σχέση με τις συνθήκες που διαστρωματώνεται, σχηματίζοντας ιζήματα. Διακρίνεται σε χημική σταθερότητα, που χαρακτηρίζει τους παραφινικούς υδρογονάνθρακες - δηλαδή δεν σχηματίζουν ιζήματα κατά την πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με τους αρωματικούς - και θερμική σταθερότητα. Οι αρωματικοί παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα, δηλαδή δεν σχηματίζουν στρώσεις από ιζήματα ανθρακούχων υπολειμμάτων, ασφατενίων, και παραφινών, στην όγκο του καυσίμου, όπως οι παραφινικοί, σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

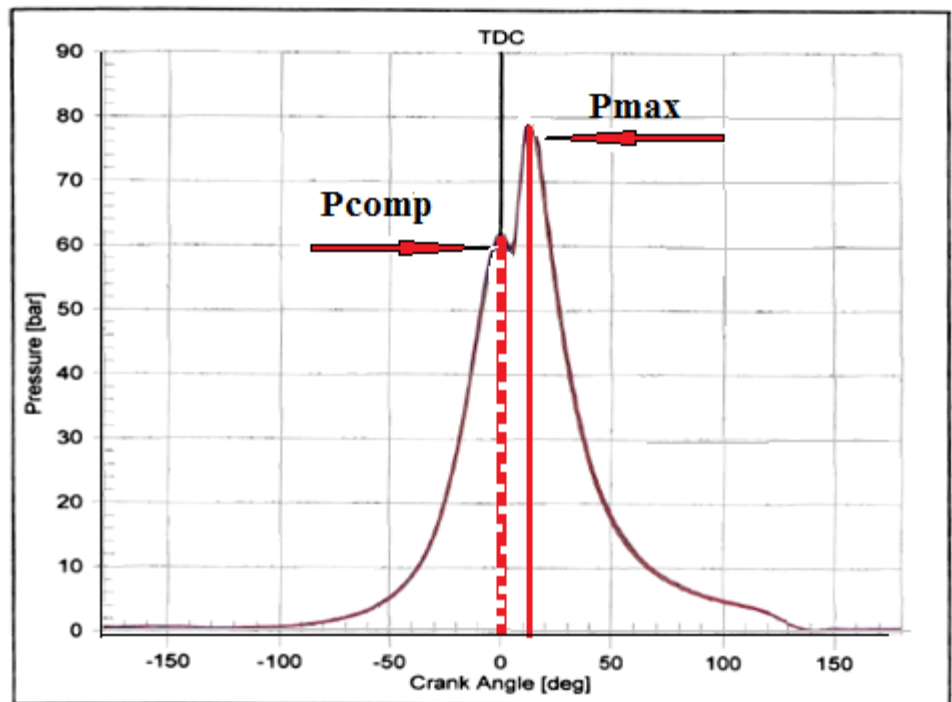
Pmax ή Maximum Combustion Pressure (Μέγιστη πίεση καύσης):

Η πίεση που επικρατεί στον κύλινδρο κατά την φάση της καύσης, στην μέγιστη τιμή της. Η τιμή της αυξάνεται με την αύξηση της προπορείας, δηλαδή με την με την νωρίτερη έγχυση του καυσίμου. σε συγκεκριμένο εύρος τιμών, η αύξηση τις Pmax ωφελεί, αυξάνοντας την ισχύ της μηχανής. Πάνω σ' αυτή την αρχή βασίζεται το VIT.

Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι χαμηλή. Έτσι περιορίζονται οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου, καθώς παύει να είναι ενεργό σε θερμοκρασίες άνω των 1100° C, δηλαδή ανέφικτες θερμοκρασίες για την προπορεία. Παρ' όλ' αυτά, θα πρέπει να αποφεύγονται θερμοκρασίες καυσαερίων κάτω των 150° C, διότι αποτελεί σημείο δρόσου (dew point) των ατμών SO2, SO3.

Συγκεκριμένα, οι ατμοί των οξειδίων του θείου κάτω από την θερμοκρασία αυτή συμπυκνώνονται, διαβρώνοντας τις επιφάνειες της μηχανής.

Αντιθέτως, με την επιπορεία η μέγιστη πίεση μειώνεται, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ισχύς της μηχανής, και να αυξάνονται οι



θερμοκρασίες των καυσαερίων. Θα πρέπει να αποφεύγονται θερμοκρασίες καυσαερίων άνω των 550° C, λόγω του σχηματισμού βαναδικού νατρίου, το οποίο προκαλεί θερμική διάβρωση στις μεταλλικές επιφάνειες που επικάθεται. Επίσης αυξάνονται οι εκπομπές ρύπων αφού η στιγμιαίες θερμοκρασίες καύσης ξεπερνάν τους 1100° C, με αποτέλεσμα των σχηματισμό οξειδίων του αζώτου, και τις αυξημένες θερμικές καταπονήσεις των μεταλλικών τμημάτων της μηχανής.

Pcomp ή Compression pressure (Πίεση συμπίεσης):

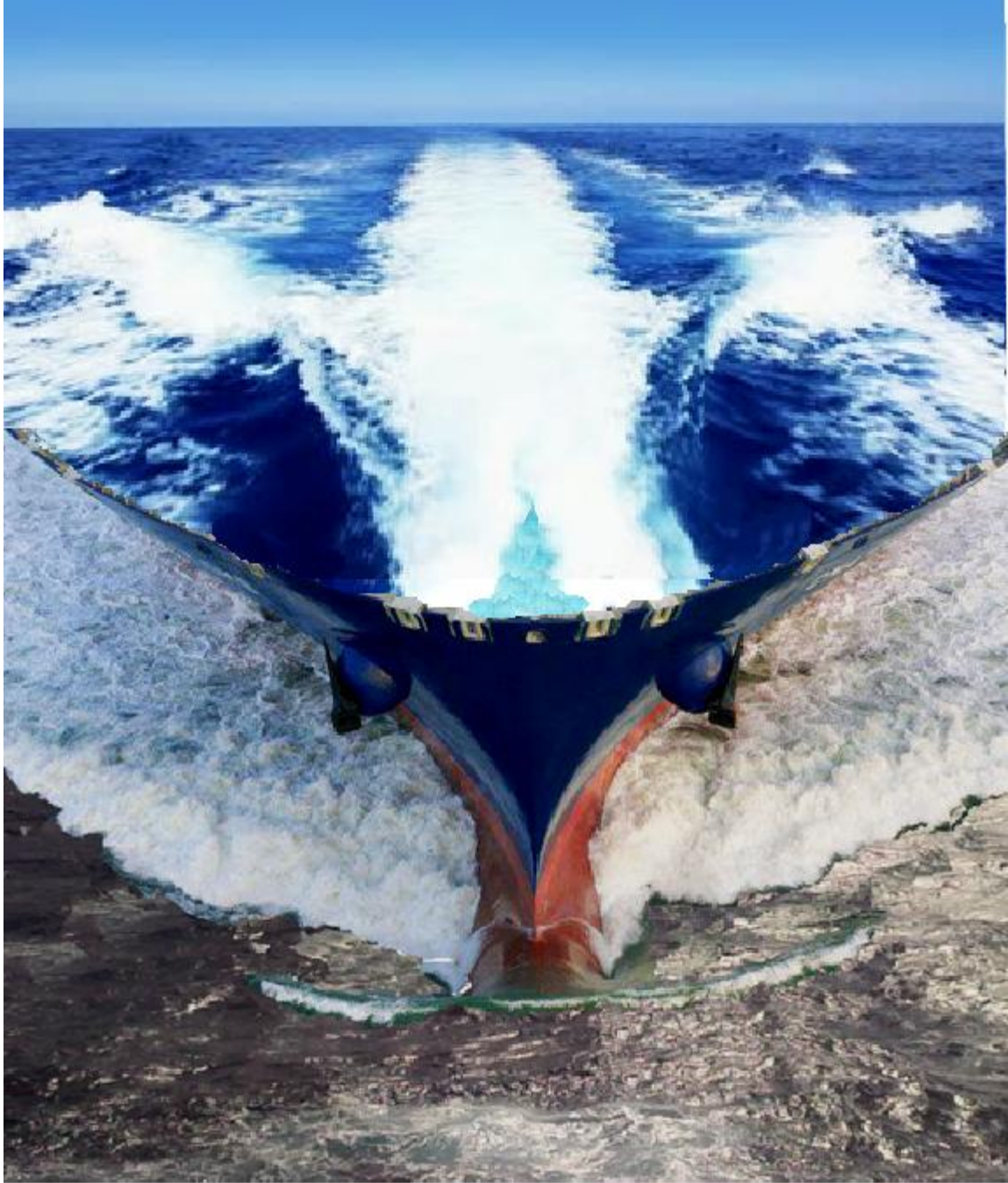
Η πίεση που αγγίζει ο αέρας κατά το πέρας της σάρωσης-συμπίεσης, και πριν την έναρξη της έγχυσης. Μειωμένη Pcomp, υποδηλώνει δυσλειτουργία της μηχανής, με πιθανά προβλήματα την χαμηλή πίεση σάρωσης λόγω ακάθαρτου air cooler, σπασμένα ελατήρια, καμένη κεφαλή εμβόλου, ή καμένες έδρες βαλβίδων.

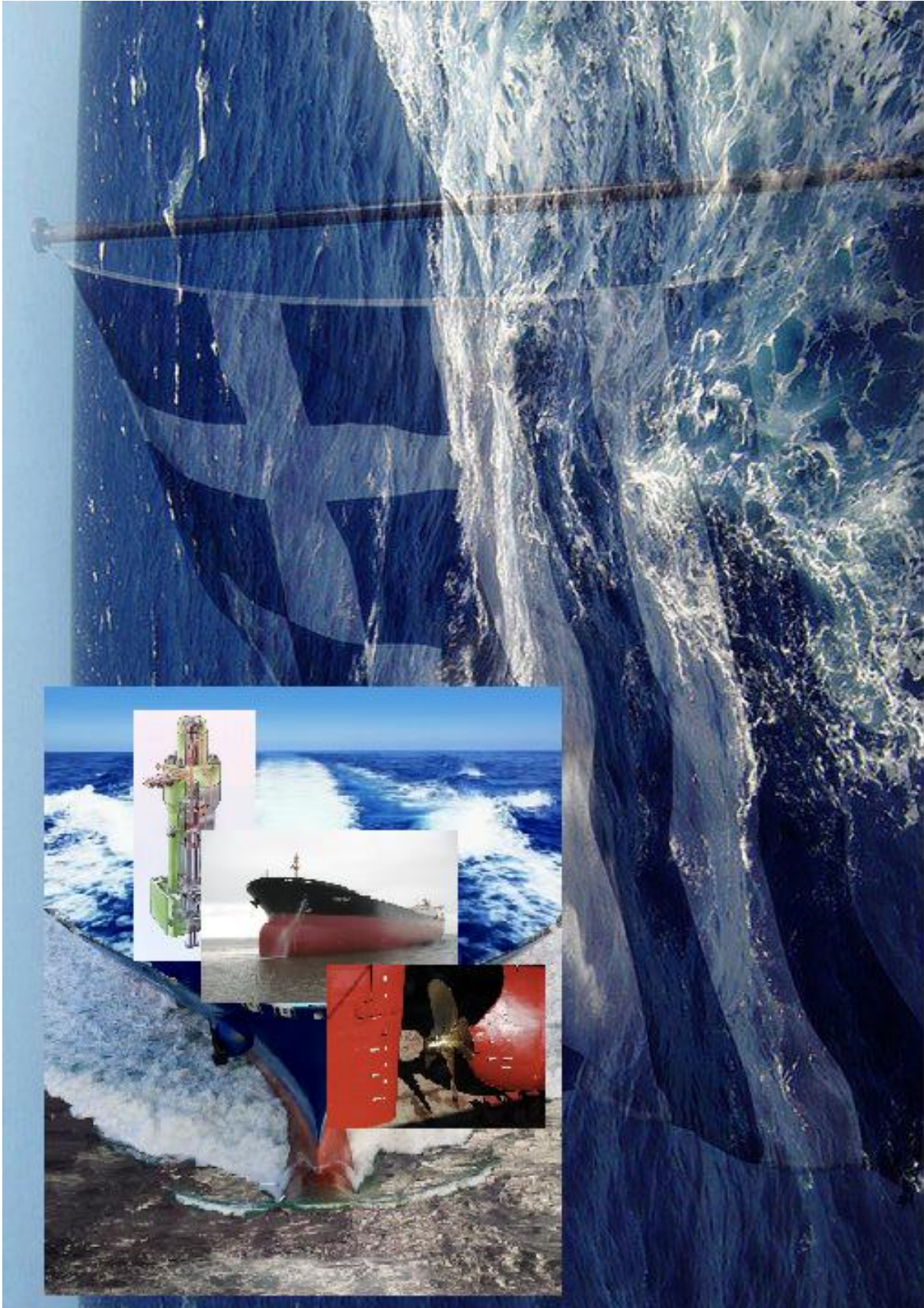
Η μέτρηση των Pmax και Pcomp, γίνεται με την λήψη δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων, με κατακόρυφο τον άξονα των πιέσεων σε bar και οριζόντιο άξονα τις μοίρες(degrees) που

αντιστοιχούν στον στροφαλοφόρο άξονα κατά την περιστροφή του, και συνεπάγεται την ανάλογη θέση του εμβόλου σε κάθε φάση του κύκλου της μηχανής.

Οι τιμές των δύο αυτών πιέσεων με κατάλληλους κανόνες επάνω στα διαγράμματα που ελήφθησαν, μετρούνται από τον Πρώτο Μηχανικό, και με επισημάνσεις του κατασκευαστή συμπεραίνεται η οποιαδήποτε δυσλειτουργία στη φάση της καύσης, και η αντίστοιχη επιδιόρθωσή της(με προσαρμογή του VIT, κλπ).







Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Πρόλογος	7
Κεφάλαιο 1: Ναυτικά Καύσιμα	8
Κεφάλαιο 2: Αντλία υψηλής πίεσης τύπου Bosch.....	26
Κεφάλαιο 3: Αντλία υψηλής πίεσης τύπου Sulzer	58
Επίλογος - Συμπεράσματα	85
Βιβλιογραφία.....	87
Παράρτημα.....	88
Περιεχόμενα.....	92

