



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΔΑ**

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Απόστολος Νομικός Κουλλιάς

Επιβλέπων Καθηγητής: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΟΣ



Βόλος, Ιανουάριος 2020

Εγκρίθηκε από τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Πρώτος εξεταστής (Επιβλέπων) : Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής : Δρ Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής : Δρ. Γεώργιος Χαραλάμπους
Επ. Καθηγητής Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω θερμές ευχαριστίες στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και ειδικότερα στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών που μου έδωσε την ευκαιρία να αναπτύξω την ακαδημαϊκή μου κουλτούρα και μου προσέφερε απλόχερα τις γνώσεις, που διαθέτω, μέσω των καθηγητών μου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Αναστάσιο Σταματέλλο, για την ανάθεση της πτυχιακής αυτής εργασίας καθώς και για τις υποδείξεις, τη συνεχή παρακολούθηση, επίβλεψη, φροντίδα και διόρθωση ώστε να καταστεί εφικτή η παρούσα πτυχιακή εργασία. Η θέληση για προσφορά και η προθυμία του κυρίου Σταματέλλου για καινοτόμες προτάσεις στη θεματολογία, στη διάρθρωση και στη συνολική εικόνα της εργασίας, ήταν καταλυτικής σημασίας για το τελικό αποτέλεσμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες καθηγητές της σχολής μου, για την αγαστή συνεργασία καθηγητή - φοιτητή, την απλόχερη προσφορά των γνώσεων τους όπως επίσης και την διαθεσιμότητά τους για υποστήριξη και επίλυση αποριών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την οικονομική και την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Απόστολος Νομικός Κουλλιάς

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

Επιβλέπων Καθηγητής : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η έγχυση του καυσίμου είναι μια διεργασία η οποία πρέπει να χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια, καθώς το σύστημα έγχυσης οφείλει να ρυθμίζει επακριβώς την εγχεόμενη μάζα καυσίμου, τον χρόνο έναρξης και τη διάρκεια της έγχυσης.

Η έγχυση του καυσίμου μέσα στον θάλαμο καύσης της μηχανής πραγματοποιείται μέσω του εγχυτήρα, ο οποίος φέρει βελόνα και κατάλληλο ακροφύσιο με κατάλληλα διαστασιολογημένες οπές. Ο εγχυτήρας παραλαμβάνει το καύσιμο σε υψηλή πίεση από την αντλία υψηλής πίεσης.

Τα πλέον διαδεδομένα συστήματα έγχυσης του καυσίμου σε αργόστροφες δίχρονες μηχανές είναι το μηχανικό σύστημα και το σύστημα κοινού συλλέκτη (Common Rail System- CRS). Το σύστημα μηχανικής έγχυσης αποτελείται από αντλίες εγχύσεως καυσίμου υψηλής πίεσης θετικής εκτοπίσεως για κάθε κύλινδρο χωριστά. Σε αντίθεση με τα συστήματα μηχανικής έγχυσης, όπου ο χρονισμός της έγχυσης εξαρτάται από μηχανικές παραμέτρους (έκκεντρα και στροφές της μηχανής) και επομένως η μεταβολή του χρονισμού είναι πολύ περιορισμένη, στα συστήματα έγχυσης κοινού συλλέκτη ο χρονισμός ρυθμίζεται ηλεκτρονικά.

Έτσι, είναι εφικτή η μεταβολή των παραμέτρων του προφίλ έγχυσης, ώστε να επιτυγχάνεται βελτιωμένη απόδοση του κινητήρα σε όλο το εύρος λειτουργίας του, με ταυτόχρονη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην περιγραφή και συγκριτική μελέτη των συστημάτων έγχυσης των κινητήρων diesel, που συναντώνται κυρίως σε ναυτικές εγκαταστάσεις πρόωσης.

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών τα τελευταία χρόνια στις ναυτικές μηχανές, ήταν η αιτία που επιλέχτηκε το συγκεκριμένο θέμα για μελέτη. Ωστόσο, για να παρουσιαστούν σωστά τα συστήματα αυτά, οφείλουμε να βασιστούμε στην ιστορική εξέλιξη αυτών των συστημάτων που έγινε στη διάρκεια του 20ού-21^{ου} αιώνα. Για το λόγο αυτό προηγείται ένα κεφάλαιο σχετικό με την ιστορική εξέλιξη των κινητήρων Diesel και των συναφών συστημάτων έγχυσης. Η συνεχής εξέλιξη των συστημάτων αυτών εδώ και 120 χρόνια, έχει οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση και τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα Diesel.

Οι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων ήταν αρκετοί σε αριθμό πριν από 30 χρόνια, (σήμερα είναι λίγοι λόγω των συγχωνεύσεων) αλλά οι κατασκευαστές συστημάτων έγχυσης ήταν πάντοτε ολιγάριθμοι. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος έγχυσης από τον κατασκευαστή βασιζόταν στο είδος του κινητήρα (2x ή 4x), το μέγεθος και την περιοχή αριθμού στροφών λειτουργίας του. Εδώ θα παρουσιαστούν τα κυριότερα είδη, που κατέκτησαν την αγορά της ναυτιλίας και συνεχίζουν να εξελίσσονται και να εφαρμόζονται.

Σήμερα, τα συστήματα που υπερτερούν τεχνολογικά είναι αυτά που διαθέτουν ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου. Γεγονός το οποίο τους επιτρέπει να παρέχουν με αξιοπιστία υψηλές πιέσεις έγχυσης, μεταβλητή γραμμή έγχυσης με φαινόμενα προέγχυσης και μετ-έγχυσης, υψηλή απόδοση και ειδική ισχύ. Τα συστήματα αυτά για τους ναυτικούς κινητήρες είναι κυρίως τα Unit- Injector Systems και τα Unit- Pump Systems.

Οι κατασκευαστές όμως των συστημάτων έγχυσης οχημάτων έχουν ήδη επικεντρώσει την έρευνα και την προσοχή τους την τελευταία 20ετία στο σύστημα Common – Rail (κοινός συλλέκτης), το οποίο έχει ακόμη περισσότερες δυνατότητες. Με το σύστημα αυτό υπάρχει η δυνατότητα ρυθμίσεως τόσο της γραμμής έγχυσης, όσο και της πίεσης έγχυσης, σε όλο το εύρος λειτουργίας της μηχανής. Σήμερα οι εξελίξεις αυτές ακολουθούνται και στις ναυτικές μηχανές Diesel, όπου το common rail έχει προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες του μεγέθους των μηχανών αυτών, σπαζοντας σε μικρότερα τμήματα.

TABLE OF CONTENTS

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	IV
TABLE OF CONTENTS.....	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΓΧΥΣΗΣ	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Η ιστορική εξέλιξη των Μ.Ε.Κ.....	17
2.3 Κατασκευή της μηχανής του Diesel.	18
2.4 Ιστορική αναδρομή μηχανών Diesel στον κλάδο της ναυτιλίας	19
2.5 Ιστορικό συστημάτων έγχυσης	21
2.5.1 Έγχυση με αέρα.....	21
2.5.2 Έγχυση χωρίς αέρα	22
2.5.3 Έγχυση καυσίμου με κοινή σωλήνωση.....	22
2.5.4 Εμβολοφόρες αντλίες	22
3 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ.....	23
3.1 Γενικά23	
3.2 Περιγραφή των τμημάτων των εγχυτήρων.....	24
3.3 Είδη εγχυτήρων	26
3.4 Βασικές αρχές της έγχυσης	28
3.5 Βλάβες και έλεγχος εγχυτήρων.....	30
3.6 Μέθοδοι έγχυσης.....	31
4 ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ BOSCH	33
4.1 Γενική περιγραφή της αντλίας	33
4.2 Εξαρτήματα της αντλίας.....	34
4.3 Περιγραφή λειτουργίας της αντλίας.....	35
4.4 Σύστημα μεταβαλλόμενου χρόνου έγχυσης (variable injection timing -VIT)	38
4.5 Πλεονεκτήματα από την χρήση του VIT	38

4.6	Πώς επιτυγχάνεται ο μεταβλητός χρονισμός.	39
4.6.1	Μηχανικό - Πνευματικό Σύστημα (<i>mechanic - pneumatic system</i>) 40	
4.6.2	Ηλεκτρο - Πνευματικό Σύστημα (<i>electro - pneumatic system</i>).....	40
4.7	Σύστημα VIT για μηχανή Wartsila	42
4.7.1	Γενικά	42
4.7.2	Λειτουργία της αντλίας.....	42
4.8	Σύστημα VIT για την μηχανή MAN B&W	43
4.8.1	Λειτουργία της αντλίας.....	43
5	ΑΝΤΛΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ SULZER.....	45
5.1	Γενικά.....	45
5.2	Φάσεις της αντλίας	46
5.3	Παρουσίαση της αντλίας.....	47
5.4	Αρχή λειτουργίας των συστημάτων VIT και FQS σε αντλία τύπου Sulzer	51
5.4.1	VIT - <i>Variable Injection Timing</i> (μεταβλητός χρονισμός έγχυσης)...	51
5.4.2	FQS - <i>Fuel Quality Setting</i> (ρύθμιση ποιότητας καυσίμου)	52
6	ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΟΙΝΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (COMMON RAIL)	55
6.1	Περιγραφή λειτουργίας μηχανής με σύστημα common rail.....	55
6.2	Πλεονεκτήματα του συστήματος common rail.	59
6.3	Συνοπτικές επισημάνσεις.....	60
7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΟΙΝΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΤΥΠΟΥ SULZER RT-FLEX	63
7.1	Περιγραφή λειτουργίας συστήματος ψεκασμού καυσίμου τύπου κοινής σωλήνωσης Sulzer.	63
7.2	Μηχανικά μέρη της RT-Flex	65
7.2.1	Αισθητήρας γωνίας στροφάλου (<i>CA</i>).....	65
7.2.2	<i>Tachometer</i>	67
7.2.3	Συστήματα διαύλου <i>WECS-9500/FCM-20 Module Bus</i>	68

7.2.4	Μονάδα τροφοδοσίας	70
7.2.5	Αντλίες πετρελαίου	72
7.2.6	Λάδι servo	73
7.2.7	Λάδι ελέγχου.....	74
7.2.8	Μονάδα γραμμής (Rail)	76
7.2.9	Μονάδα ελέγχου έγχυσης πετρελαίου (INJECTION CONTROL SYSTEM - ICU)	76
7.2.10	Βοηθητική αντλία λαδιού	79
7.3	Πιέσεις λειτουργίας.....	79
7.4	Ηλεκτρονικός έλεγχος	80
7.5	Αξιοπιστία στο σύστημα RT-Flex.....	80
8	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ COMMON RAIL ΓΙΑ 4-Χ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ MAN 32/44 CR, 48/60 CR.....	83
8.1	Προδιαγραφές λειτουργίας συστήματος CR της MAN B&W.....	83
8.2	Περιγραφή συστήματος Common Rail	85
8.3	Δοκιμαστήρια συστήματος CR της MAN B&W	87
8.4	Γραμμή ψεκασμού συστήματος CR	88
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΤΥΠΟΥ MAN B&W ME	91
9.1	Περιγραφή και παρουσίαση λειτουργίας μηχανών ME	91
9.2	Υδραυλικό Σύστημα (Hydraulic oil system).....	92
9.3	Μονάδα φιλτραρίσματος.....	94
9.4	Σύστημα έγχυσης πετρελαίου.....	94
9.5	Ενεργοποίηση ανοίγματος βαλβίδας εξαγωγής.....	97
9.6	Αρχή λειτουργίας ενεργοποιητή βαλβίδας εξαγωγής.....	99
9.7	Ηλεκτροκίνητες αντλίες.....	99
9.8	Εξαρτημένες υδραυλικές αντλίες	100
9.9	Σωληνώσεις υψηλής πίεσης	100
9.9.1	Υδραυλική μονάδα κυλίνδρου.....	101

9.9.2	Υδραυλική μονάδα παροχής ισχύος	103
9.10	Ηλεκτρονικά ελεγχόμενη έγχυση πετρελαίου	104
9.11	Μονάδα εγχυτήρα.....	105
9.12	Καύση LNG σε κινητήρες διπλού καυσίμου	107
10	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΓΛΩΣΣΑΡΙ	111
12	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	115

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. μηχανή εσωτερικής καύσης	17
Εικόνα 2. ο Rudolph Diesel με τον πρώτο κινητήρα που σχεδίασε το 1895.....	19
Εικόνα 3 Η κύρια μηχανή του δεξαμενόπλοιου ‘Devon’ της Europan.	20
Εικόνα 4 Όρια εκπομπών NOx που θέτουν τα 3 στάδια εξέλιξης της Νομοθεσίας IMO ανάλογα με τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα (αριστερά) και εξέλιξη των επιτρεπτών ορίων περιεκτικότητας σε θείο του καυσίμου.	21
Εικόνα 5 Συγκρότημα ακροφυσίου εγχυτήρα	23
Εικόνα 6 Φωτορεαλιστική απεικόνιση εγχυτήρα.....	25
Εικόνα 7 Φωτορεαλιστική απεικόνιση εγχυτήρα σε τομή.....	25
Εικόνα 8 Φωτορεαλιστική απεικόνιση ακροφυσίων εγχυτήρα μιάς οπής.....	26
Εικόνα 9 Παραλλαγές εγχυτήρα πολλών οπών σε τομή.	27
Εικόνα 10 Σχηματισμός νέφους σωματιδίων κατά την έγχυση και εξέλιξη της καύσης του εγγεόμενου καυσίμου.....	27
Εικόνα 11 Εγχυτήρας και σύστημα έγχυσης τύπου unit pump [17]	29
Εικόνα 12 Συστήματα έγχυσης diesel και εφαρμογές στις διάφορες κατηγορίες οχημάτων – μηχανημάτων – μέσων μεταφοράς [17]	29
Εικόνα 13. (α) παλαιότερη σχεδίαση ακροφυσίου με μεγάλο όγκο εσωτερικής κοιλότητας, (β) εξελιγμένη σχεδίαση ακροφυσίου με προέκταση της βελόνας, (γ) εξελιγμένη σχεδίαση βελόνας ακροφυσίου με κοίλη προέκταση της βελόνας.....	32
Εικόνα 14 Τα εξαρτήματα της αντλίας Bosch.....	34
Εικόνα 15 Η συνεργασία του VIT με το barrel και του plunger με το fuel quality rack.	37
Εικόνα 16. η ενεργός διαδρομή της έγχυσης [20].....	37

Εικόνα 17. ηλεκτρο-πνευματικό σύστημα.....	41
Εικόνα 18 εγκαρσία τομή αντλίας VIT της Wartsila	42
Εικόνα 19. εγκαρσία τομή της βαλβίδας αναρρόφησης της αντλίας VIT της MAN B&M	44
Εικόνα 20 αντλία τύπου Sulzer	45
Εικόνα 21 οι φάσεις της αντλίας Sulzer.....	46
Εικόνα 22: όψεις της αντλίας υψηλής πίεσης SULZER.....	48
Εικόνα 23: όψεις της αντλίας υψηλής πίεσης SULZER.....	48
Εικόνα 24 καμπύλη κατάθλιψης αντλίας εγχύσεως τύπου Sulzer.....	49
Εικόνα 25 όψη αντλίας τύπου SULZER	50
Εικόνα 26 επίδραση της προπορείας (VIT) στην πίεση καύσης (P_{max}) και στην ειδική κατανάλωση πέδης (BSFC), κατά την λειτουργία της μηχανής με μερικό φορτίο (part load operations).....	51
Εικόνα 27 διάρκεια έγχυσης.....	52
Εικόνα 28 επίδραση της FQS στην πίεση καύσης.	53
Εικόνα 29 απεικόνιση συστήματος κοινού συλλέκτη	55
Εικόνα 30 μονάδα ελέγχου έγχυσης (injection control unit)	56
Εικόνα 31 αντλία υψηλής πίεσης CP1 για σύστημα Common Rail [17].....	58
Εικόνα 32 γενική μορφή του συστήματος έγχυσης καυσίμου με κοινό συλλέκτη σε μηχανή Sulzer RT- Flex.....	58
Εικόνα 33 επιμέρους στοιχεία συστήματος Common Rail για κινητήρα diesel [17]..	60
Εικόνα 34 system architecture of common rail system	61
Εικόνα 35 μηχανή Wartsila RT-Flex [21].....	64

Εικόνα 36 αισθητήρας γωνίας στροφάλου	66
Εικόνα 37 ο αισθητήρας γωνίας στροφάλου με το στήριγμά του και το καλώδιο μετάδοσης ψηφιακού σήματος.....	67
Εικόνα 38 αισθητήρας μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής του στροφαλοφόρου	67
Εικόνα 39 θέση τοποθέτησης του Tachometer.....	68
Εικόνα 40 Wartsila engine control system (WECS-9500)	69
Εικόνα 41 FCM-20 Module Bus	70
Εικόνα 42 κεντρική μονάδα τροφοδοσίας πετρελαίου και ελαίου (supply unit)	72
Εικόνα 43 αντλία πετρελαίου υψηλής πίεσης (μέρος της μονάδας τροφοδοσίας) .	73
Εικόνα 44 σωλήνες servo oil και control oil	75
Εικόνα 45 πλατφόρμα σωλήνων του συστήματος common rail	75
Εικόνα 46 μονάδα ελέγχου έγχυσης πετρελαίου (ICU).....	77
Εικόνα 47 διαγραμματική απεικόνιση του ελέγχου και της λειτουργίας της ICU.....	78
Εικόνα 48 βοηθητική αντλία servo oil	79
Εικόνα 49 Σύστημα Common Rail για 4-χ μηχανές MAN 32/44CR	84
Εικόνα 50 Σύστημα Common Rail για 4-χ μηχανές MAN 32/44CR	85
Εικόνα 51 Βαλβίδα ελέγχου συστήματος Common Rail MAN	86
Εικόνα 52 Θέσεις της βαλβίδας ελέγχου στη διάρκεια της έγχυσης στο σύστημα Common Rail της MAN, σύστημα ανίχνευσης διαρροών (δεξιά) [29].....	86
Εικόνα 53 Σύγκριση υπολογισμού και μέτρησης γραμμής έγχυσης (πίεση rail και θέση βελόνας εγχυτήρα) [29]	88

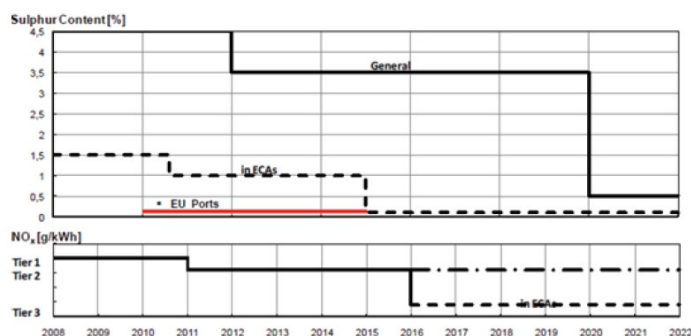
Εικόνα 54 Εγκατάσταση δοκιμών του συστήματος CR (αριστερά) και Προσαρμογή της γραμμής ρυθμού έγχυσης με συνδυασμό της μετατόπισης της βελόνας του ακροφυσίου και της πίεσης του rail (δεξιά) [29]	89
Εικόνα 55 η πρώτη εγκατάσταση ηλεκτρονικής μηχανής στο M/T BOW Cecil 1990 .	91
Εικόνα 56 σχηματική διάταξη κατεύθυνσης του εργαζόμενου ελαίου από την ελαιολεκάνη έως την υδραυλική μονάδα.	93
Εικόνα 57 αντλία πετρελαίου ME με όλα τα εξαρτήματά της.	95
Εικόνα 58 σχηματική διάταξη λειτουργίας αντλίας πετρελαίου ME.....	96
Εικόνα 59 τα σημεία προετοιμασίας από την ηλεκτρονική εντολή έως την έγχυση. .	97
Εικόνα 60 σχηματική διάταξη ενεργοποιητή της βαλβίδας εξαγωγής με τα εξαρτήματά της.....	98
Εικόνα 61 σχηματική διάταξη υδραυλικής μονάδας κυλίνδρων.	102
Εικόνα 62 σχηματική διάταξη υδραυλικής μονάδας κυλίνδρων για την έγχυση πετρελαίου και την ενεργοποίηση της βαλβίδας καθώς και η διαδρομή του ελαίου.	102
Εικόνα 63 βαλβίδα ELFI, πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος ασφαλισμένη με σταθερή συναρμολόγηση.....	103
Εικόνα 64 διάγραμμα παροχής υδραυλικής ισχύος.	103
Εικόνα 65 απεικόνιση της εγκαταστάσεως για την υδραυλική παροχή ισχύος.	104
Εικόνα 66 ενισχυτής πίεσης πετρελαίου μηχανής τύπου ME. (αντλία υψηλής πίεσης)	105
Εικόνα 67 εγχυτήρας πετρελαίου μηχανής MAN B&W τύπου ME.....	106
Εικόνα 68 Σχηματικό διάγραμμα καύσης LNG-HFO σε κινητήρες MAN B&W	108

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα έγχυσης του κινητήρα Diesel ψεκάζει το καύσιμο σε υγρή μορφή (σταγονίδια), τα οποία αυταναφλέγονται και καίγονται στη συνέχεια. Ιστορικά, στα τρία πρωτότυπα του Rudolf Diesel (1895), έχουμε πρωτόλεια συστήματα έγχυσης με χρήση πεπιεσμένου αέρα. Από τις αρχές του 20ού αιώνα έγινε εφικτή η μηχανική έγχυση σε πιέσεις που αύξαναν όλο και περισσότερο με την τεχνολογική εξέλιξη [1]. Ο κινητήρας Diesel ήταν καθοριστικός για την ανάπτυξη της ναυτιλίας: στο μεσοπόλεμο και το 2^ο ΠΠ αντικαταστάθηκαν οι εμβολοφόρες ατμομηχανές από ναυτικούς κινητήρες Diesel. Το σύστημα έγχυσης επιτυγχάνει την κατάλληλη δοσιμετρία καυσίμου ανάλογα με το σημείο μόνιμης ή μεταβατικής λειτουργίας, στον κατάλληλο χρόνο. Ο βέλτιστος διαμερισμός σε σταγονίδια και η ανάμειξή του με τον αέρα επηρεάζουν την εξέλιξη της καύσης [2]. Λόγω των παραπάνω αλλά και των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που καταπονούν τα διάφορα μέρη του συστήματος, απαιτούνται υψηλές προδιαγραφές ακριβείας και χρήση σύγχρονων υλικών και κατασκευών για την κατασκευή τους. Αυτό συνεπάγεται βέβαια και υψηλό κόστος, ενώ οι απαιτήσεις αξιοπιστίας είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν την είσοδο την αγορά νέων κατασκευαστών πέρα από τις ελάχιστες εξειδικευμένες εταιρείες που τα παράγουν [3, 4]. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των αργόστροφων ναυτικών μηχανών, το κυρίαρχο καύσιμο είναι το HFO (ISO 8217) που προκύπτει με επεξεργασία του ημιστερεού υπολείμματος διύλισης του αργού πετρελαίου.

Fuel-system related characteristics values			
Viscosity (at 50 °C)	mm ² /s (cSt)	max.	700
Viscosity (at 100 °C)	mm ² /s (cSt)	max.	55
Density (at 15 °C)	kg/m ³	max.	1,010
Flash point	°C	min.	60
Pour point	°C	max.	30
Hydrogen sulfide	mg/kg	max.	2
Acid number	mg KOH/g	max.	2.5
Total sediment aged	mass %	max.	0.10
Engine-related characteristic values			
Carbon residues (Conradson)	m%	max.	20
Sulphur	m%	max.	5
Ash	m%	max.	0.15
Vanadium	mg/kg (=ppm)	max.	450
Water	Vol. %	max.	0.5

Επιπλέον, σήμερα είναι αναγκαία η συμμόρφωση των πλοιοκτητών με τις υφιστάμενες και επερχόμενες Νομοθεσίες ελέγχου των εκπομπών ρύπων οι οποίες επεκτείνονται από τις κλειστές θάλασσες (ECA, βλ. διάγραμμα [5]) που ίσχυαν μέχρι τώρα¹, σε όλο το εύρος των θαλασσών, σε συνδυασμό με τις οικονομικές απαιτήσεις για ελαχιστοποίηση των ναύλων με χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, αναδεικνύονται σε αυξανόμενης σημασίας παράγοντα επιτυχίας των ναυτικών μηχανών Diesel.



Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται πλέον στη λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες χαμηλών στροφών – χαμηλού φορτίου, όπου τα συμβατικά συστήματα έγχυσης με εκκεντροφόρο δεν έχουν δυνατότητες παραπέρα βελτιστοποίησης, αφού οι στροφές του εκκεντροφόρου είναι δεδομένες με βάση τις στροφές της μηχανής. Επομένως, οι δυνατότητες σχεδιασμού του ελέγχου της έγχυσης ανεξάρτητα από το φορτίο είναι περιορισμένες για τα συμβατικά συστήματα έγχυσης. Αρχικά η εφαρμογή της έγχυσης περιορίζονταν στις μηχανές Diesel, αλλά μετά το 1990 εισήχθησαν συστήματα έγχυσης χαμηλής πίεσης και στους βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων, αντικαθιστώντας τον εξεριστή [6].

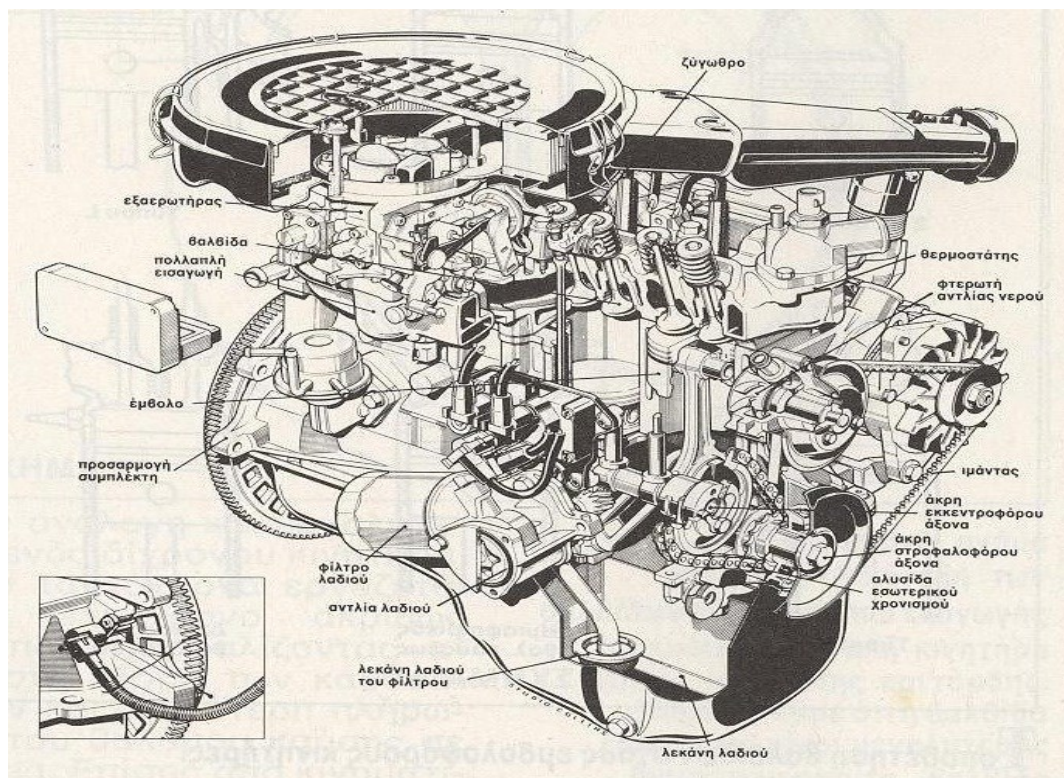
Το σύστημα έγχυσης του κινητήρα Diesel αποτελείται από δύο ή τρία βασικά τμήματα: την αντλία υψηλής πίεσης, ενδεχόμενα μια αποθήκη καυσίμου υπό υψηλή πίεση και έναν ή περισσότερους εγχυτήρες (injectors). Ο εγχυτήρας είναι ένα ακροφύσιο σε συνδυασμό με μια βαλβίδα η οποία ελέγχει το ρυθμό έγχυσης σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου [7].

¹ Σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL), Οι καθιερωμένες ECA (Emission Control Areas) είναι: Η περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας (μόνο SO_x), η περιοχή της Βόρειας Θάλασσας (μόνο SO_x), η περιοχή της Βόρας Αμερικής (SO_x, NO_x και PM) και η περιοχή της Καραϊβικής (SO_x, NO_x και PM).

2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΓΧΥΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Η παραγωγή έργου με τη χρήση θερμικών μηχανών εσωτερικής καύσης βασίζεται στην πρόσδοση θερμότητας από την καύση κατάλληλων καυσίμων σε υψηλή πίεση στο εργαζόμενο μέσο, τμήμα της οποίας μπορεί να ανακτηθεί με τη μορφή μηχανικού έργου, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται στο περιβάλλον.



Εικόνα 1. μηχανή εσωτερικής καύσης

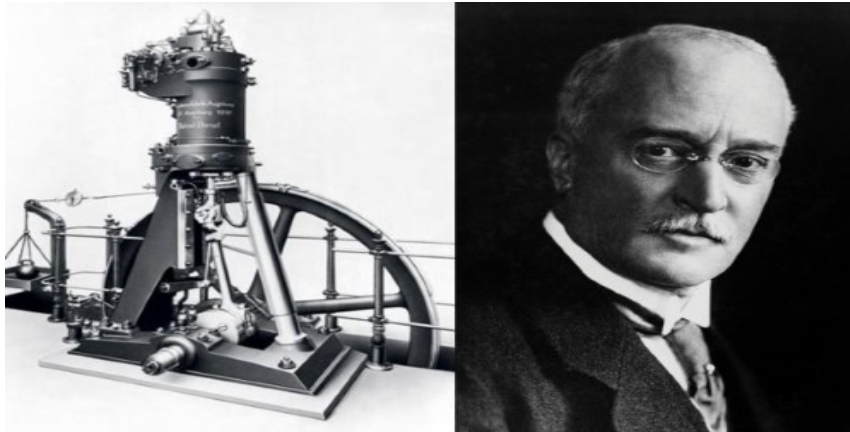
2.2 Η ιστορική εξέλιξη των Μ.Ε.Κ

Στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα, η ανάγκη για ανάπτυξη ισχυρότερων, ελαφρύτερων και υψηλότερης απόδοσης κινητήρων οδήγησε στη στην εφεύρεση των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης (Otto και Diesel, 4-χρονων και 2-χρονων). Οι νέοι κινητήρες έγιναν δεκτοί με ενθουσιασμό από την αγορά και επέτρεψαν την αντικατάσταση των αλόγων στις άμαξες αλλά και στις διατάξεις έλξης [8].

2.3 Κατασκευή της μηχανής του Diesel.

Μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας των κινητήρων εσωτερικής καύσεως, πέτυχε ο Γερμανός μηχανικός Rudolph Diesel. Το έτος 1892 κατοχύρωσε το πρώτο από μιά σειρά διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας για τον κινητήρα που φέρει το όνομά του ο οποίος αναπτύχθηκε με ρεαλιστική μορφή στα επόμενα έτη με την υποστήριξη των εταιριών Friedrich Krupp AG, Maschinenfabrik Augsburg και Gebrueder Sulzer.

Το πρώτο αξιόλογο λειτουργικό πρωτότυπο με καλό βαθμό αποδόσεως (16.6%) , κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο της σημερινής εταιρίας MAN στην πόλη Augsburg της Βαυαρίας [1]. Ο εφευρετής δεν κατάφερε βέβαια να κάψει καρβουνόσκονη, όπως είχε υποσχεθεί στην πρώτη πατέντα και στην αρχική σύμβαση που υπέγραψε, , όμως γρήγορα δοκίμασε διάφορα είδη και ποιότητες φυσικών υγρών καυσίμων (σπορέλαια) αλλά και παραγώγων της ναφθας που είχαν ήδη αρχίσει να διατίθενται από τα πρώτα υποτυπώδη διύλιστήρια, με βάση εξοπλισμό έγχυσης με πεπιεσμένο αέρα. Οι πρώτες δοκιμές με τον ψεκασμό αέρα αποδείχθηκαν τόσο επιτυχείς ώστε αυτό έγινε η αποδεκτή μέθοδος ψεκασμού για πολλά χρόνια. Έτσι, νωρίς στην ανάπτυξη αυτού του νέου κινητήρα, τονίστηκε η σημασία της διαδικασίας ψεκασμού του καυσίμου κατά την καύση του κινητήρα, ώστε η μετέπειτα πρόοδος στην ανάπτυξη του κινητήρα ντίζελ, να εξαρτάται ουσιαστικά από τη βελτίωση της τεχνολογίας έγχυσης του καυσίμου.



Εικόνα 2. ο Rudolph Diesel με τον πρώτο κινητήρα που σχεδίασε το 1895

Συνεχίζοντας την ιστορική ανασκόπηση για την τεχνολογία diesel, αξίζει να σημειωθεί το χρονικό τους, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:

- ◆ 1892: Ο Rudolph Diesel καταθέτει το 1^ο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας
- ◆ 1893: κατασκευή του πρώτου λειτουργικού πρωτότυπου κινητήρα Diesel
- ◆ 1903: ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας τοποθετείται σε πλοίο
- ◆ 1924: το πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό όχημα (MAN)
- ◆ 1936: το πρώτο πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο (Mercedes-benz)
- ◆ 1962: η πρώτη περιστροφική αντλία διανομής πετρελαίου (Bosch)
- ◆ 1986: το πρώτο ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης (Bosch)
- ◆ 1988: ο πρώτος ταχύστροφος κινητήρας Diesel απ' ευθείας έγχυσης (χωρίς προθάλαμο)
- ◆ 1994: εμφάνιση του συστήματος EUI (electronic unit injector)
- ◆ 1997: σύστημα common rail (FIAT)

2.4 Ιστορική αναδρομή μηχανών Diesel στον κλάδο της ναυτιλίας

Όπως προαναφέρθηκε, η ευρεία διάδοση του κινητήρα Diesel ήταν καθοριστική για την ανάπτυξη της σύγχρονης ναυτιλίας. Το πρώτο μεγάλο πλοίο με κινητήρες Diesel ήταν το Romagna 678 τόνων (1910), με πρόωση μέσω δύο τετρακύλινδρων κινητήρων Sulzer (180 kW έκαστος), με διάμετρο x διαδρομή 310x 460mm και μέγιστο αριθμό στροφών 250rpm [9].



Εικόνα 3 Η κύρια μηχανή του δεξαμενόπλοιου 'Devon' της Euronav.

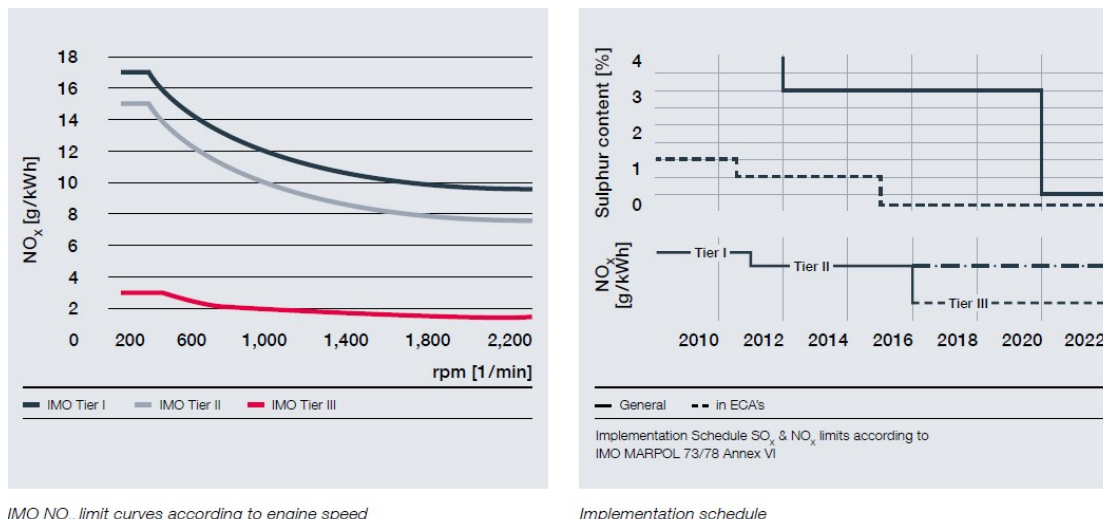
Η πρώτη εγκατάσταση σε ποντοπόρο εμπορικό πλοίο υλοποιήθηκε το 1912 από την εταιρεία Burmeister & Wain στο πλοίο Selandia, το οποίο διήνυσε 20.000 ναυτικά μίλια από την Κοπεγχάγη στην Κίνα. Ήδη μέχρι το 1920 είχαν κατασκευασθεί 16 πλοία με πρόωση Diesel από το ίδιο ναυπηγείο. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι κατασκευαστές μείωσαν το μέγεθος των ναυτικών μηχανών και αύξησαν την ισχύ και την απόδοσή τους, αλλάζοντας ριζικά και την αρχιτεκτονική των πλοίων [10, 11].

Μεγάλη ώθηση στην κατασκευή μικρότερων κινητήρων με μεγαλύτερη ισχύ έδωσε η υιοθέτηση της υπερπληρώσεως. Η υπερπλήρωση άρχισε να εφαρμόζεται από τη δεκαετία του 1920 στις τετράχρονες μηχανές, για την αποτελεσματικότερη απόπλυση των κυλίνδρων, με χρήση όμως μηχανικών συμπιεστών [12]. Σημαντική εξέλιξη στις ναυτικές μηχανές αποτέλεσε η χρήση βαρέος πετρελαίου από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Χρησιμοποιήθηκαν, μάλιστα, κατάλληλα λιπαντικά, τα οποία ουδετεροποιούσαν τα όξινα παράγωγα της καύσεως του βαρέος πετρελαίου και επέτρεπαν την μείωση της φθοράς του κινητήρα [13].

Η ραγδαία ανάπτυξη των ναυτικών μηχανών τα τελευταία χρόνια έστρεψε το ενδιαφέρον στην κατασκευή αργόστροφων μηχανών μεγάλης διαμέτρου εμβόλου, μεγαλύτερου βαθμού συμπίεσεως και υψηλού βαθμού αποδόσεως [10]. Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως των μηχανών αυτών υπερβαίνει πλέον το 54%, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε ο βαθμός αποδόσεως των ελίκων με τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής τους, φτάνοντας μέχρι και τα 55rpm [14].

Όμως η Νομοθεσία μείωσης εκπομπών ρύπων η οποία έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό των κινητήρων οχημάτων την τελευταία 30-ετία,

έχει ήδη εισχωρήσει και στην κατηγορία των ναυτικών κινητήρων. Τα τελευταία χρόνια, οι κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) απαιτούν αυξημένο έλεγχο στις εκπομπές των αέριων ρύπων και τη βελτίωση της απόδοσης των ναυτικών κινητήρων.



Εικόνα 4 Όρια εκπομπών NO_x που θέτουν τα 3 στάδια εξέλιξης της Νομοθεσίας IMO ανάλογα με τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα (αριστερά) και εξέλιξη των επιτρεπτών ορίων περιεκτικότητας σε θείο του καυσίμου.

Όπως είναι φυσικό, ένα μεγάλο βάρος των προσπαθειών για την ικανοποίηση των νέων ορίων εκπομπών πέφτει πάνω στο σύστημα έγχυσης καυσίμου και στα συστήματα επεξεργασίας καυσαερίου τα οποία σχετίζονται με αυτό.

2.5 Ιστορικό συστημάτων έγχυσης

2.5.1 Έγχυση με αέρα

Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων έγχυσης που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Rudolph Diesel, ήταν με πεπιεσμένο αέρα. Ο ψεκασμός γίνεται όταν η βαλβίδα έγχυσης ανοίγεται από μηχανισμό κνώδακα. Υψηλής πίεσης αέρας μπαίνει στον κύλινδρο μεταφέροντας μαζί του τη ρυθμισμένη ποσότητα καυσίμου. Έως το 1900, η κατασκευή του ψεκαστήρα του Diesel δεν έχει εξελιχθεί πλήρως, οπότε εμφανίζεται ο ψεκαστήρας με διάτρητο δίσκο. Το 1908, ο Knut Hesselman ανέπτυξε τον εγχυτήρα με αναρροφητική βαλβίδα [15].

2.5.2 Έγχυση χωρίς αέρα

Μετά από δύο έτη, το 1910, απο την εταιρεία Vickers, με την αύξηση της πίεσης ψεκασμού εφαρμόζεται για πρώτη φορά σύστημα ψεκασμού χωρίς την χρήση αέρα. Έτσι, με την ενεργοποίηση ενός κνώδακα επιτρέπεται στο καύσιμο να εγχυθεί στον κύλινδρο της μηχανής, καθώς το έμβολο επιστρέφει στην κατώτερη θέση του με τη βοήθεια ενός ελατηρίου.

2.5.3 Έγχυση καυσίμου με κοινή σωλήνωση

Η ίδια εταιρεία λίγα χρόνια αργότερα, το 1913, παρουσιάζει ένα καινούργιο σύστημα αυτό της κοινής σωλήνωσης. Σε αυτή τη περίπτωση, το καύσιμο αντλείται από μια περιστροφική αντλία σε έναν κοινό συλλέκτη, στον οποίο η πίεση ελέγχεται από βαλβίδες ανακούφισης (relief valve) [16].

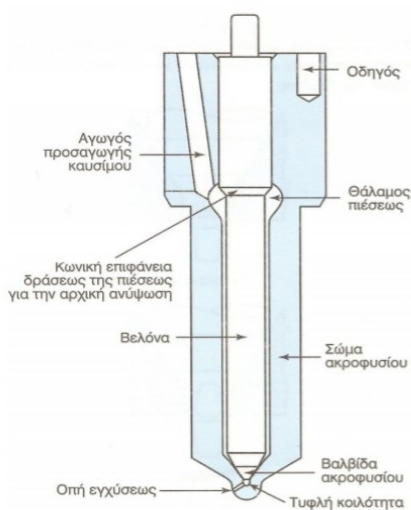
2.5.4 Εμβολοφόρες αντλίες

Αντλίες τύπου εμβόλου είναι αντλίες παλινδρομήσεως που χρησιμοποιούν έμβολο για την μετακίνηση μέσων μέσω ενός κυλινδρικού θαλάμου. Χρησιμοποιούν έναν μηχανισμό στροφάλου για να δημιουργήσουν μια παλινδρομική κίνηση κατά μήκος ενός άξονα, ο οποίος στη συνέχεια δημιουργεί πίεση σε έναν κύλινδρο για τον ψεκασμό πετρελαίου μέσω της αντλίας. Μια τέτοιου τύπου αντλία χρησιμοποίησε η εταιρεία De La Vergne της Φιλαδέλφειας, το 1914 .

3 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ

3.1 Γενικά

Το σύστημα έγχυσης καυσίμου φροντίζει για τη σωστή ανάμειξη του πετρελαίου με το συμπιεσμένο μέσα στον κύλινδρο αέρα. Η καλή ανάμειξή τους είναι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη σωστής καύσεως. Αποτέλεσμα σωστής καύσεως είναι να διατηρούνται καθαρά τα εμπλεκόμενα στη καύση εξαρτήματα του κινητήρα, ενώ μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς για δεδομένη ποσότητα καυσίμου, εξασφαλίζοντας οικονομική λειτουργία.



Εικόνα 5 Συγκρότημα ακροφυσίου εγχυτήρα

Λόγω του κρίσιμου ρόλου του συστήματος έγχυσης, αλλά και εξαιτίας των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που καταπονούν τα διάφορα μέρη του συστήματος, απαιτούνται υψηλές προδιαγραφές ακριβείας και χρήση σύγχρονων υλικών και κατεργασιών για την κατασκευή τους. Αυτό συνεπάγεται βέβαια και υψηλό κόστος, ενώ οι απαιτήσεις αξιοπιστίας είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν την είσοδο στην αγορά νέων κατασκευαστών πέρα από τις ελάχιστες εξειδικευμένες εταιρείες που τα παράγουν. Η έγχυση

πραγματοποιείται στην περιοχή των 20-25° πριν το Ανω Νεκρό Σημείο ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, και η ακριβής προπορεία παραμένει στα ίδια επίπεδα ανεξαρτήτως του σημείου λειτουργίας του κινητήρα, αφού βασίζεται σε αντίστοιχη απαίτηση για θερμοκρασία του αέρα εντός του κυλίνδρου που να επιτρέπει την αυτανάφλεξη του πετρελαίου (570°C). Προφανώς, ο χρονισμός της προπορείας έγχυσης θα πρέπει να τηρείται με μεγάλη ακρίβεια σε όλους τους κυλίνδρους του κινητήρα, πράγμα που απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη και τα φαινόμενα διάδοσης των ακουστικών διαταραχών μέσα στους αγωγούς του καυσίμου από την αντλία υψηλής πίεσης προς τους εγχυτήρες.

3.2 Περιγραφή των τμημάτων των εγχυτήρων

Ο τύπος εγχυτήρα αλλάζει ανάλογα το μέγεθος και τον τύπο του κινητήρα στον οποίο θα τοποθετηθεί. Κυρίως, όμως, αποτελούνται από τα παρακάτω τρία μέρη [15]:

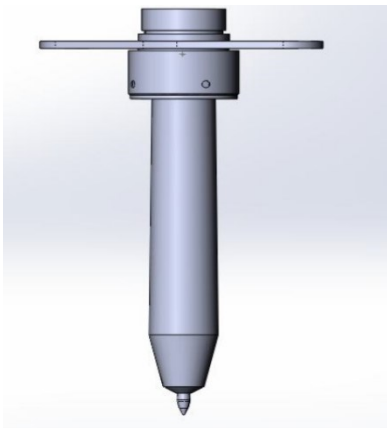
- 1) *Το σώμα (κορμός)*
- 2) *Την βελόνα (needle) με το ελατήριο επαναφοράς της*
- 3) *Το συγκρότημα του ακροφυσίου (nozzle assembly)*

Ο κορμός είναι ένα κούφιο εσωτερικά κυλινδρικό σώμα από χάλυβα, εντός του οποίου προσαρμόζονται τα υπόλοιπα τμήματα του εγχυτήρα. Στο εξωτερικό του μέρος φέρει, συνήθως, σπείρωμα για την προσαρμογή του στο αντίστοιχο σπείρωμα της κεφαλής των κυλίνδρων. Η προσαρμογή εναλλακτικά, μπορεί να γίνει και με ειδική διαμόρφωση για να προσαρμοστεί και να στερεωθεί με κοχλίες στη φωλιά που δημιουργείται για το σκοπό αυτό πάνω στην κυλινδροκεφαλή. Στο άνω άκρο του φέρει κοχλία για να ρυθμίζει την τάση στο ελατήριο επαναφοράς της βελόνας, ενώ στο κάτω άκρο του προσαρμόζεται το ακροφύσιο.

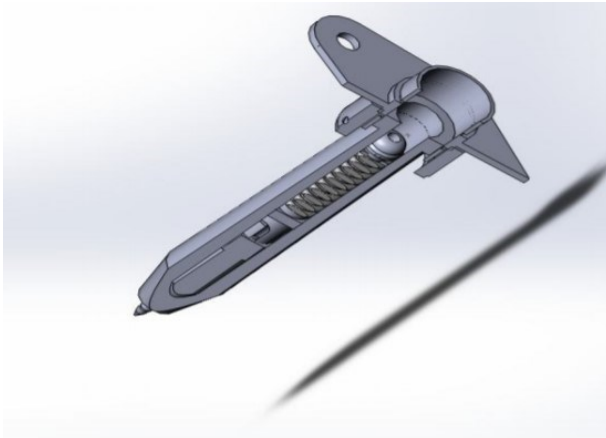
Στο εσωτερικό μέρος του κορμού διαμορφώνεται ένας κεντρικός κυλινδρικός αγωγός για την έδραση του ελατηρίου και του στελέχους της βελόνας. Μέσα από αυτό τον αγωγό γίνεται και η απόρριψη του πλεονάζοντος καυσίμου προς τον αγωγό των επιστροφών. Παράλληλα με τον κεντρικό αγωγό διαμορφώνεται ο αγωγός προσαγωγής του καυσίμου από το σωλήνα υψηλής πίεσεως στο χώρο της βελόνας [4].

Το συγκρότημα του ακροφυσίου (nozzle assembly) προσαρμόζεται με σπείρωμα στο κάτω μέρος του κορμού. Περιλαμβάνει μία ή περισσότερες οπές

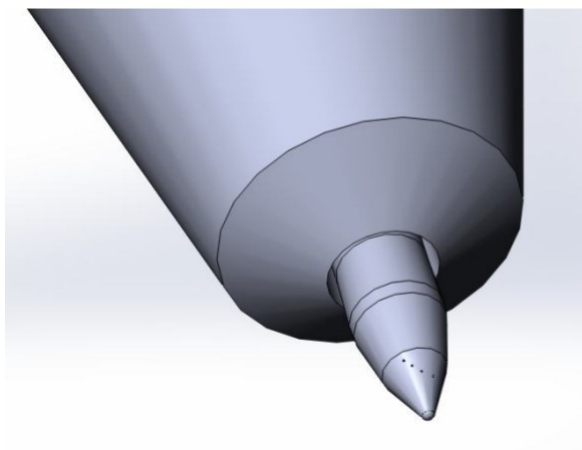
(τα ακροφύσια - nozzles), μέσα από τις οποίες γίνεται η ροή του καυσίμου και ο διασκορπισμός του σε νέφος σταγονιδίων. Στο εσωτερικό του συγκροτήματος του ακροφυσίου σχηματίζεται κοιλότητα (θάλαμος πίεσεως), που καταλήγει σε κωνική έδρα. Εκεί καταλήγει και η βελόνα. Το κωνικό της άκρο εφαρμόζει σε μία γενέτειρα της κωνικής έδρας του ακροφυσίου, όταν ο εγχυτήρας βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Το συγκεκριμένο τμήμα μαζί με την βελόνα σχηματίζουν την βαλβίδα του ακροφυσίου. Στο σημείο που η βελόνα περνά μέσα από το θάλαμο πίεσης, μειώνεται με κατάλληλη κωνικότητα η διάμετρός της. Στο τμήμα αυτό ασκείται η πίεση του καυσίμου για το άνοιγμα της βαλβίδας [17].



Εικόνα 6 Φωτορεαλιστική απεικόνιση εγχυτήρα



Εικόνα 7 Φωτορεαλιστική απεικόνιση εγχυτήρα σε τομή

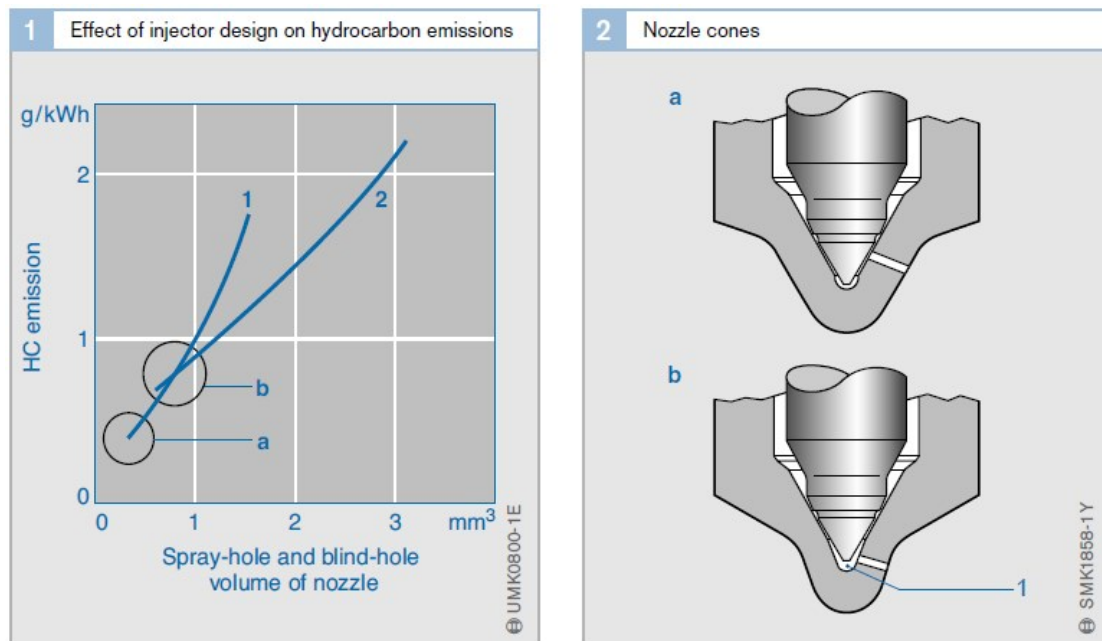


Εικόνα 8 Φωτορεαλιστική απεικόνιση ακροφυσίων εγχυτήρα μίας οπής

3.3 Είδη εγχυτήρων

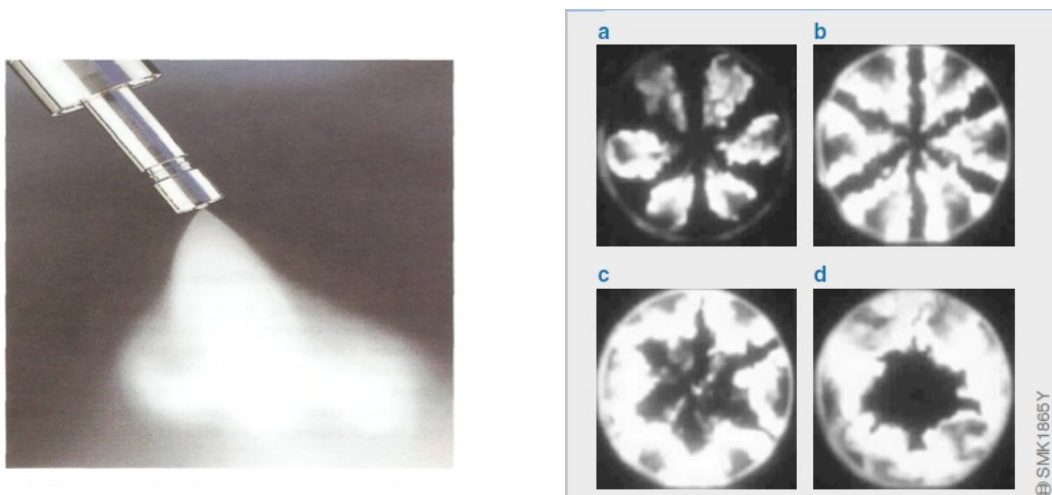
Οι εγχυτήρες διακρίνονται σε εγχυτήρες μιας ή και πολλών οπών. Τα ακροφύσια μιας οπής χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στους κινητήρες με προθάλαμο (τώρα πλέον είναι σπάνιοι). Η βελόνα του ακροφυσίου μετά τη βαλβίδα εγχύσεως φέρει προέκταση στο κάτω άκρο με κωνική απόληξη. Ο συνδυασμός της εσωτερικής κωνικότητας της οπής με την εξωτερική κωνική διαμόρφωση της βελόνας επηρεάζει άμεσα τη μορφή της δέσμης του εγχέομένου καυσίμου (συμπαγής ή κοίλη δέσμη). Στην αρχή της έγχυσης το αξονάκι βυθίζεται ελάχιστα, δημιουργώντας κοίλη δέσμη ψεκασμού. Στην πλήρη βύθιση δημιουργείται συμπαγής δέσμη, ώστε η μεγαλύτερη ποσότητα να εγχέεται στο τέλος (μείωση θορύβου στους κινητήρες με προθάλαμο) [17].

Τα ακροφύσια πολλών οπών χρησιμοποιούνται κυρίως σε θαλάμους καύσεως ενιαίου τύπου, ενώ δεν διαφέρουν αισθητά από τα ακροφύσια μίας οπής, με κύρια διαφορά το χαρακτηριστικό ότι η βελόνα τους δεν προεξέχει. Οι οπές είναι ευθύγραμμες, ακτινικά διατεταγμένες γύρω από την τυφλή κοιλότητα (dead volume) και κάτω από την έδρα της βαλβίδας (κωνική απόληξη βελόνας). Υπάρχουν παραλλαγές στο σχεδιασμό με εκμηδενιση του νεκρού όγκου (Εικόνα 9), ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές ακαύστων HC στο κλείσιμο της βελόνας.



Εικόνα 9 Παραλλαγές εγχυτήρα πολλών οπών σε τομή.

Το σχήμα του νέφους του καυσίμου κατά την έγχυση εξαρτάται από τη θέση των οπών. Για να υπάρξει καλή κατανομή του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως, οι οπές πρέπει να είναι κατανομημένες συμμετρικά. Όσον αφορά στον αριθμό τους είναι μέχρι 12, ενώ σε ορισμένους κινητήρες μεγάλης ισχύος φτάνουν μέχρι και 18. Η διάμετρος και το μήκος των οπών επηρεάζουν τη μορφή και την πορεία της εκάστοτε δέσμης του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως. Η διάμετρος των οπών στα πιο διαδεδομένα ακροφύσια αρχίζει από 0,2mm [17].



Εικόνα 10 Σχηματισμός νέφους σωματιδίων κατά την έγχυση και εξέλιξη της καύσης του εγχεόμενου καυσίμου

3.4 Βασικές αρχές της έγχυσης

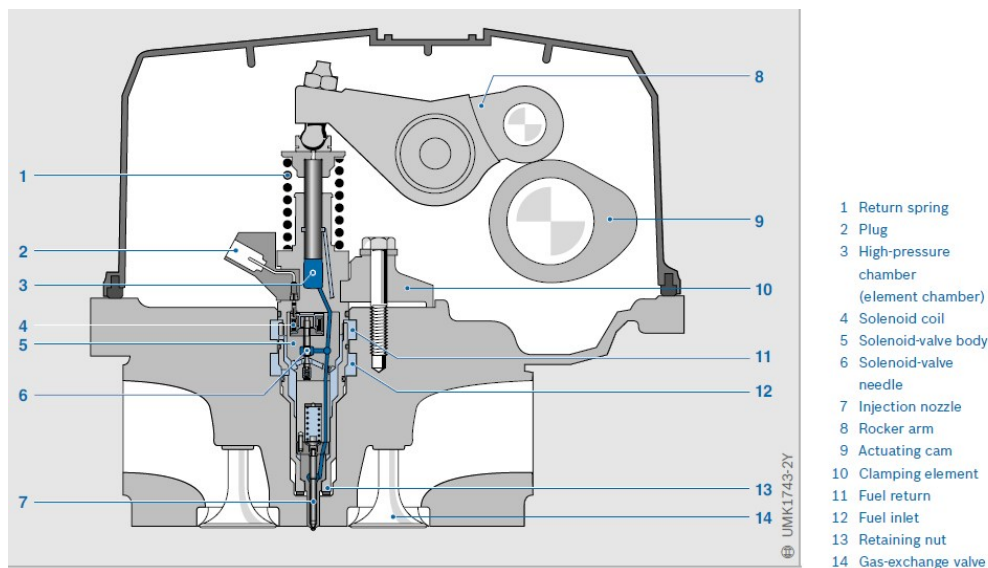
Η έγχυση ξεκινά στις 20-25° πριν το ΑΝΣ, όπως προαναφέρθηκε. Το καύσιμο πρέπει να διασκορπίζεται σε μικροσκοπικά σταγονίδια μεγέθους της τάξης των 10 μm (εκνέφωση) και υψηλής ταχύτητας, ώστε να επιτυγχάνεται η διείσδυση στο προβλεπόμενο τμήμα του θαλάμου καύσης, (συνήθως στην εσοχή του εμβόλου) και μέσω του στροβιλισμού του συμπιεσμένου αέρα να επιτευχθεί πλήρης και ομοιόμορφη ανάμιξη.

Συνεπώς, απαιτείται υψηλή πίεση έγχυσης η οποία ενώ παλαιότερα ήταν της τάξης των 150-300 bar, στις σύγχρονες ναυτικές μηχανές (ακολουθώντας την τάση που υπάρχει στις μηχανές οχημάτων) είναι στην περιοχή 1000 έως 2000 barH μεγάλη ταχύτητα των σταγονιδίων που εξέρχονται από τον εγχυτήρα απαιτείται λόγω της σταδιακής μείωσης του μέσου μεγέθους των σταγονιδίων (για λόγους μείωσης εκπομπών αιθάλης), τα οποία θα επιβραδύνονταν λόγω αεροδυναμικής αντίστασης (αύξηση λόγου μετωπικής επιφάνειας προς όγκο), με συνέπεια να μειωθεί η διείσδυση στο θάλαμο καύσης.

Με την τυρβώδη διφασική ροή που επιτυγχάνεται κατά την ανάπτυξη και ανάμιξη της δέσμης στον θάλαμο καύσης, διευκολύνεται η διάσπαση σε μικρότερα σταγονίδια τα οποία εξατμίζονται, αναμιγνύονται και αναφλέγονται στον διαθέσιμο χρόνο. Η ανάμιξή τους με τον αέρα του θαλάμου καύσης υποβοηθείται από την τυρβώδη ανάμιξη λόγω ισχυρού στροβιλισμού του αέρα εντός της εσοχής του εμβόλου προς το τέλος του εμβολισμού της συμπίεσης (αρχή διατήρησης της στροφορμής της δίνης – vortex του αέρα) [2].

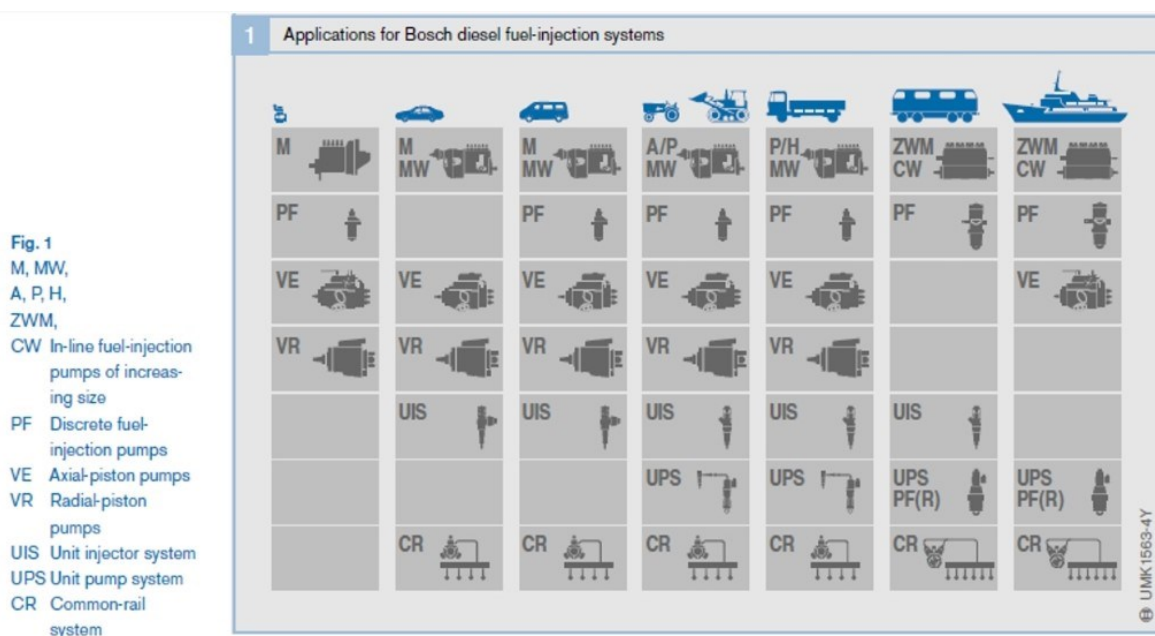
Στα συμβατικά συστήματα έγχυσης το καύσιμο οδηγείται μετά τα φίλτρα στις αντλίες υψηλής πίεσεως, οι οποίες βρίσκονται στον κινητήρα και παίρνουν κίνηση από εκκεντροφόρους. Αυτές αυξάνουν την πίεση του καυσίμου, ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζουν την δοσιμετρία του καυσίμου που θα οδηγηθεί στους εγχυτήρες, σε συνάρτηση με τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος εγχύσεως μπορεί να υπάρχει εναλλακτικά ανεξάρτητη εμβολοφόρος παλινδρομική αντλία για κάθε κύλινδρο (σύστημα unit-pump, βλέπε Εικόνα 11).

Εναλλακτικά μπορεί να υπάρχει μια μοναδική αντλία υψηλής πίεσεως, η οποία όμως να τροφοδοτεί με καύσιμο κοινό αγωγό υψηλής πίεσεως (το λεγόμενο common rail), από το οποίο τροφοδοτούνται όλοι οι εγχυτήρες (ή οι εγχυτήρες της κάθε σειράς (bank) σε κινητήρες τύπου V).



Εικόνα 11 Εγχυτήρας και σύστημα έγχυσης τύπου unit pump [17]

Στο σύστημα αυτό η ρύθμιση της εγχέομενης ποσότητας και του του χρονισμού της έγχυσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, οι οποίες ελέγχονται ηλεκτρονικά, όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Τα διάφορα είδη και παραλλαγές συστημάτων έγχυσης παρουσιάζονται συνοπτικά στην Εικόνα 12 κατά τον τύπο οχήματος/ μηχανήματος/ μέσου μεταφοράς/ εφαρμογής [18].



Εικόνα 12 Συστήματα έγχυσης diesel και εφαρμογές στις διάφορες κατηγορίες οχημάτων – μηχανημάτων – μέσων μεταφοράς [17]

3.5 Βλάβες και έλεγχος εγχυτήρων

Οι φθορές των εγχυτήρων εντοπίζονται συνήθως στον οδηγό της βελόνας, στην έδρα της βελόνας, στο ελατήριο, καθώς και στις οπές των ακροφυσίων.

Η έδρα της βελόνας φθείρεται λόγω των περιεχομένων στερεών μικροσωματιδίων στο καύσιμο, λόγω χημικής προσβολής από διαβρωτικές ουσίες που περιέχονται, ένεκα της κρουστικής επαφής της βελόνας με την έδρα της κατά το πέρας της εγχύσεως και λόγω σπηλαιώσεως από τη ροή του καυσίμου. Η διάβρωση της έδρας προκαλεί κακή στεγανοποίηση της βαλβίδας του εγχυτήρα, μειώνοντας την ωφέλιμη ζωή του. Αποτέλεσμα της κακής στεγανοποίησης της βαλβίδας είναι το στάξιμο του εγχυτήρα, καθώς και η μείωση της ποιότητας του ψεκασμού.

Η θερμοκρασία στο άκρο του εγχυτήρα παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση καθαρών των οπών των ακροφυσίων. Ειδικότερα, καθοριστικός είναι ο ρόλος της στους εγχυτήρες των μεγάλων δίχρονων ναυτικών μηχανών πετρελαίου, οι οποίοι συχνά φέρουν αρκετά μεγάλη τυφλή κοιλότητα στο εσωτερικό του συγκροτήματος των ακροφυσίων. Εκεί συγκρατείται σημαντική ποσότητα καυσίμου μετά το πέρας της εγχύσεως. Το βαρύ καύσιμο των συγκεκριμένων μηχανών έχει ήδη θερμανθεί κοντά στο σημείο βρασμού του, ώστε να μειωθεί το ιξώδες του και να γίνει η έγχυσή του. Τα καύσιμα αυτά έχουν επιπρόσθετα, την τάση να αυξάνουν περισσότερο τη θερμοκρασία εντός του θαλάμου κατά την καύση τους, σε σχέση με τα ελαφρύτερα καύσιμα. Με την άνοδο της θερμοκρασίας, το καύσιμο που έχει παραμείνει εντός της κοιλότητας του συγκροτήματος του ακροφυσίου βράζει και στάζει από τις οπές των ακροφυσίων. Έτσι σχηματίζονται εναποθέσεις (καρβουνιές) γύρω από τις οπές των ακροφυσίων, που απαιτούν καθαρισμό στα διαστήματα συντήρησης. Η θερμοκρασία στην περιοχή του συγκροτήματος του ακροφυσίου δεν πρέπει, επίσης, να είναι χαμηλή (λόγω ισχυρού στροβιλισμού του εισερχόμενου αέρα και ιδιαίτερα χαμηλής θερμοκρασίας του), για να αποφεύγεται υγραποίηση του υδρατμού από τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης, που αντιδρά με τα οξείδια του θείου που περιέχονται στο καύσιμο και δημιουργεί το διαβρωτικό θειικό οξύ. Αύξηση της διαμέτρου των οπών μπορεί να προκληθεί εκτός από τη χημική και λόγω μηχανικής διάβρωσης (erosion), από τα περιεχόμενα στο χαμηλής ποιότητας ναυτιλιακό καύσιμο στερεά σωματίδια.

Το νερό που μπορεί να περιεχεται στο καύσιμο προκαλεί επιπλέον διαβρώσεις στον εγχυτήρα. Για θερμοκρασία του νερού μικρότερη από το σημείο βρασμού

του, εμφανίζονται φαιοπράσινες ζώνες στις μεταλλικές επιφάνειες που διαβρέχονται από το καύσιμο. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του καυσίμου υπερβαίνει το σημείο βρασμού του νερού υπό ατμοσφαιρική πίεση υπάρχει κίνδυνος στα σημεία της ροής που εμφανίζονται χαμηλές πιέσεις (π.χ. στο διακενό μεταξύ βελόνας και του οδηγού της) να προκληθεί μερική ατμοποίηση του νερού. Ο ιδιαίτερα διαβρωτικός ατμός προκαλεί την επιφανειακή οξείδωση των μεταλλικών επιφανειών. Η οξείδωση αυτή διευρύνεται γρήγορα, καταστρέφει τη στεγανότητα των συνεργαζόμενων επιφανειών και τερματίζει την ωφέλιμη ζωή των αντιστοίχων τμημάτων του εγχυτήρα.

Το ελατήριο του εγχυτήρα φορτίζεται σε ιδιαίτερα υψηλές τάσεις, ενώ, λόγω της υψηλής σκληρότητάς του, δεν μπορεί να αντέξει τις απότομες αλλαγές στην πίεση που μπορεί να δεχθεί. Έτσι, σε περίπτωση που μεταβληθεί σημαντικά η πίεση που δίνει η αντλία καυσίμου, υπάρχει πιθανότητα θραύσεως του ελατηρίου. Η συνεχής πίεση του ελατηρίου προκαλεί την πτώση της τάσεώς του, με αποτέλεσμα να απαιτείται επαναρρύθμιση με τη χρήση του αντίστοιχου κοχλία στο πάνω μέρος του εγχυτήρα.

3.6 Μέθοδοι έγχυσης

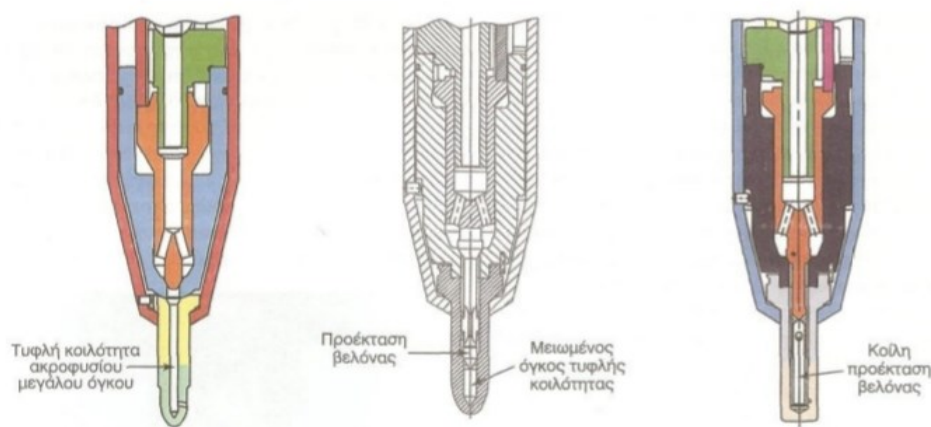
Η μέθοδος άμεσης έγχυσης που έχει επικρατήσει σήμερα, εξασφαλίζει υψηλό βαθμό απόδοσης, μικρή ειδική κατανάλωση καυσίμου και ικανότητα ψυχρής εκκίνησης. Βέβαια απαιτεί υψηλής ποιότητας σύστημα έγχυσης και στιβαρή κατασκευή των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης, λόγω της υψηλής θερμικής και μηχανικής καταπόνησης που επάγει.

Στους κινητήρες έμμεσου ψεκασμού, που είναι πλέον πολύ σπάνιοι (εδώ συμπεριλαμβάνονται αυτοί με προθάλαμο – Vorkammer και αυτή με στροβιλοθάλαμο – Wirbelkammer), το καύσιμο ψεκάζεται σε ξεχωριστό θάλαμο, ο οποίος συνδέεται με τον κύριο θάλαμο καύσεως, μέσω κατάλληλης διόδου. Η κατηγορία έμμεσου ψεκασμού αφορά ταχύστροφους κινητήρες μικρής ισχύος

2.7 Γενικές απαιτήσεις για αποδοτική έγχυση

Η επίτευξη της βέλτιστης έγχυσης του πετρελαίου προϋποθέτει την τήρηση των παρακάτω βασικών αρχών και απαιτήσεων:

- Η πίεση έγχυσης πρέπει να είναι αρκούντως υψηλή, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, και να ελέγχεται στο δοκιμαστήριο ότι συμφωνεί με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Θα πρέπει να διατηρείται υψηλή και στα υψηλά φορτία.
- Η κατασκευή όλων των εξαρτημάτων του συστήματος εγχύσεως θα πρέπει να είναι στιβαρή με στενές ανοχές συναρμογής και ολίσθησης, καθώς και πολύ χαμηλές τιμές τραχύτητας επιφάνειας.
- Η εγκλωβισμένη ποσότητα καυσίμου εντός του νεκρού όγκου των ακροφυσίων πρέπει να ελαχιστοποιείται ώστε να μειώνονται οι εκπομπές ρύπων.
- Το μήκος των σωληνώσεων υψηλής πίεσης θα πρέπει να ελαχιστοποιείται, ενώ θα πρέπει οι αγωγοί να διαθέτουν σημαντική ακαμψία για την ελαχιστοποίηση της αποσβέσεως των κυμάτων πίεσης στο εσωτερικό τους (fluid structure interaction). Σε κινητήρες με περισσότερους από έναν εγχυτήρες ανά κύλινδρο, τα μήκη των αγωγών υψηλής πίεσης θα πρέπει να είναι ίσα μεταξύ τους.
- Η συνολική διάρκεια της εγχύσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 20 μοίρες ΓΣ, ώστε να προκύπτει χαμηλή ειδική καταβάλωση καυσίμου και εκπομπές ρύπων. Η φόρτιση του εκκεντροφόρου από τις αντλίες υψηλής πίεσης θα πρέπει να ελαχιστοποιείται ώστε η καταπόνηση και ο θόρυβος να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα.



Εικόνα 13. (α) παλαιότερη σχεδίαση ακροφυσίου με μεγάλο όγκο εσωτερικής κοιλότητας, (β) εξελιγμένη σχεδίαση ακροφυσίου με προέκταση της βελόνας, (γ) εξελιγμένη σχεδίαση βελόνας ακροφυσίου με κοίλη προέκταση της βελόνας

4 ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ BOSCH

4.1 Γενική περιγραφή της αντλίας

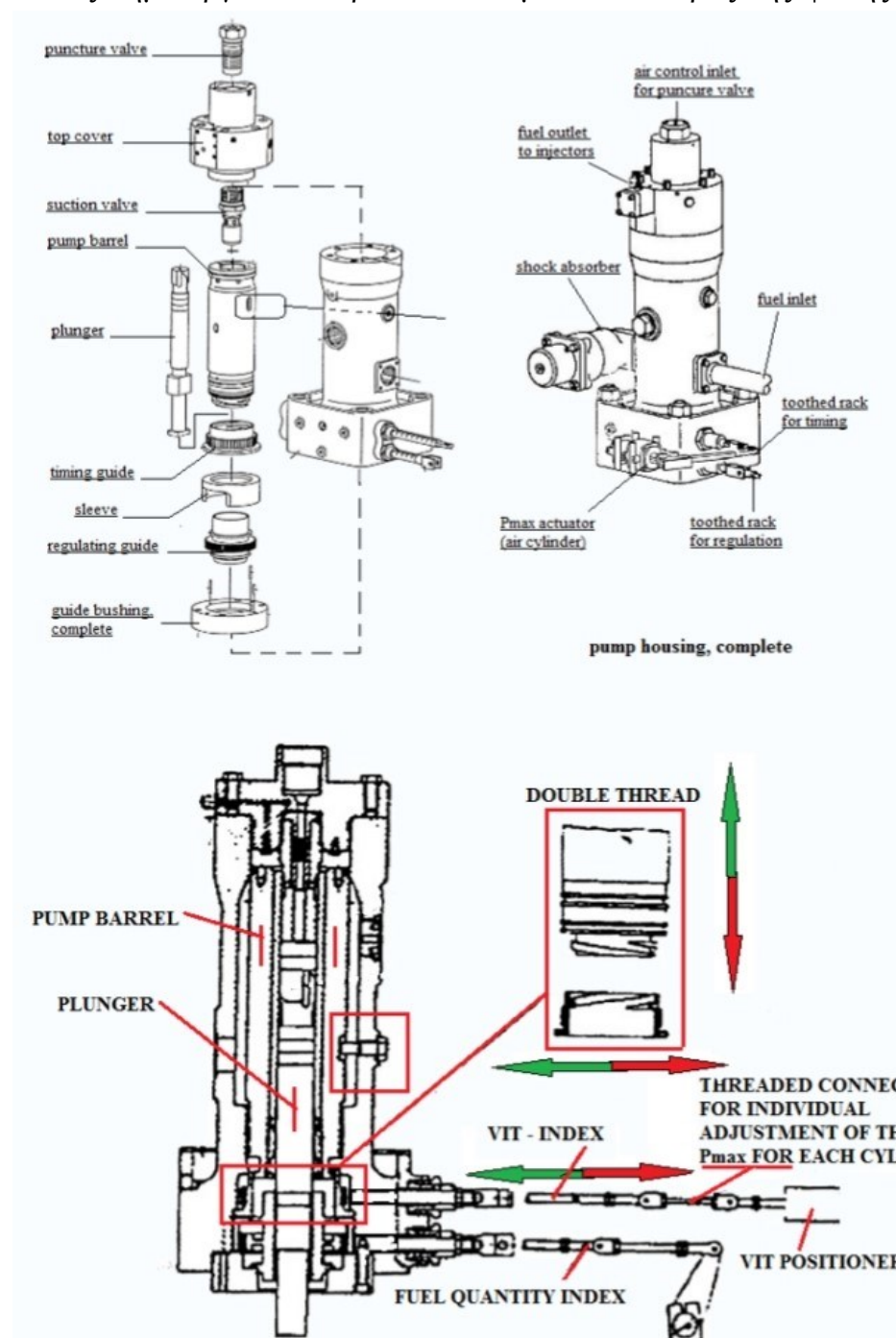
Κάθε κύλινδρος φέρει δυο εγχυτήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο καπάκι του και τους τροφοδοτεί με καύσιμο μια αντλία υψηλής πίεσης τύπου Bosch. Όλες οι άλλες αντλίες λαμβάνουν κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Η αντλία είναι παλινδρομικού τύπου, με ένα έμβολο (plunger) που κινείται σε αντίστοιχο χιτώνιο (barrel). Το έμβολο, στο πάνω μέρος της περιφέρειάς του, φέρει μια αύλακα με ελικοειδή τροχιά και ονομάζεται ‘‘ελικοτομή’’. 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 [17].

Για την αποφυγή διαρροών, τρεις δακτύλιοι στεγανοποίησης, χαμηλής τριβής, σφραγίζουν το διακενο μεταξύ εσωτερικού περιβλήματος της αντλίας που κινείται κατακόρυφα με 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 στεγανοποιητικούς δακτυλίους. Κατάλληλες οπές επιτρέπουν την αποστράγγιση ενδεχόμενων διαρροών, ενώ η ευθυγράμμιση των εσωτερικών εξαρτημάτων γίνεται με αύλακες, στις επιφάνειες των οποίων εδράζονται κοχλίες. Για την αποφυγή εισροής καυσίμου στο χώρο του εκκεντροφόρου 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 τη χρήση «umbrella seal» [19].

Η άμεση επαφή του βάκτρου με τον κνώδακα εξασφαλίζεται από δύο ελικοειδή ελατήρια που τον ωθούν προς τα κάτω. Κάθε αντλία διαθέτει επίσης μηχανισμό ανύψωσης (lifting device) του βάκτρου, 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 βάκτρου από το έκκεντρο. Έτσι, η παλινδρόμηση του εμβόλου σταματά, οπότε και η κατάθλιψη του καυσίμου διακόπτεται.

4.2 Εξαρτήματα της αντλίας

Ένας αποσβεστήρας κραδασμών είναι τοποθετημένος στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας. Αυτός εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της πίεσης, καθώς δημιουργούνται κρουστικά κύματα στο πέρας της φάσης της έγχυσης.



Εικόνα 14 Τα εξαρτήματα της αντλίας Bosch

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 βαλβίδα διάτρησης. Όσο η μηχανή είναι σε λειτουργία παραμένει κλειστή. Η βαλβίδα αυτή ενεργοποιείται σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας της μηχανής. Κατά την ενεργοποίηση της, πεπιεσμένος αέρας 7 kg/cm² που παρέχεται από το σύστημα ελέγχου αέρα, 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 βαλβίδα διάτρησης 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.

4.3 Περιγραφή λειτουργίας της αντλίας

Εντός του σώματος της αντλίας υπάρχει ένα χιτώνιο και στο εσωτερικό του παλινδρομεί ένα έμβολο.

Το χιτώνιο δεν παραμένει σταθερό στη θέση του, αλλά μπορεί να κινείται κατακόρυφα. Επίσης, περιβάλλεται από καύσιμο, καθώς τα τοιχώματά του δεν εφαρμόζουν στα τοιχώματα του σώματος της αντλίας. Με την κατακόρυφη κίνηση, η οποία επιτυγχάνεται με κατάλληλο σπείρωμα το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του, και με την βοήθεια πνευματικού εμβόλου μεταβάλλεται κάθε φορά η απόσταση των cut-off holes από το έμβολο.

Το έμβολο λαμβάνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα και βρίσκεται υπό τάση ελατηρίου ώστε να διατηρεί την επαφή του με τον κνώδακα. Κατά την περιστροφή τού έκκεντρου η κίνηση μεταδίδεται από το βάκτρο στο έμβολο. Παλινδρομεί στο εσωτερικό του χιτωνίου, μεταξύ μίας κατώτατης και ανώτατης θέσης. Επίσης, μπορεί να περιστρέφεται με τη βοήθεια οδοντωτού κανόνα, ο οποίος λαμβάνει κίνηση από τον κυβερνήτη της μηχανής, όταν τα χειριστήρια είναι γυρισμένα στον αυτόματο. Με την περιστροφή του εμβόλου αλλάζει η

θέση της ελικοτομής (αύλακα 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 χιτωνίου υπάρχουν οπές και στην εσωτερική περιφέρεια εδράζει ανεπίστροφη βαλβίδα αναρρόφησης. Το πετρέλαιο παρέχεται από το σύστημα υπηρεσίας καυσίμου (fuel service system) προς την αντλία με πίεση 7 kg/cm^2 και γεμίζει το εσωτερικό της, περιβάλλοντας το εξωτερικό του χιτωνίου. Όταν το έμβολο της αντλίας κινείται προς τα κάτω, από το ανώτατο σημείο στο οποίο βρισκόταν κατά τη φάση της εκτόνωσης, δημιουργείται κενός χώρος μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υποπίεσης. Η φάση της αναρρόφησης της αντλίας, η οποία βρίσκεται υπό την ένταση ελατηρίου ανοίγει και ο κενός χώρος που δημιουργείται μεταξύ χιτωνίου και εμβόλου 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 τη διάρκεια της πορείας του εμβόλου πραγματοποιείται η άεργος διαδρομή.

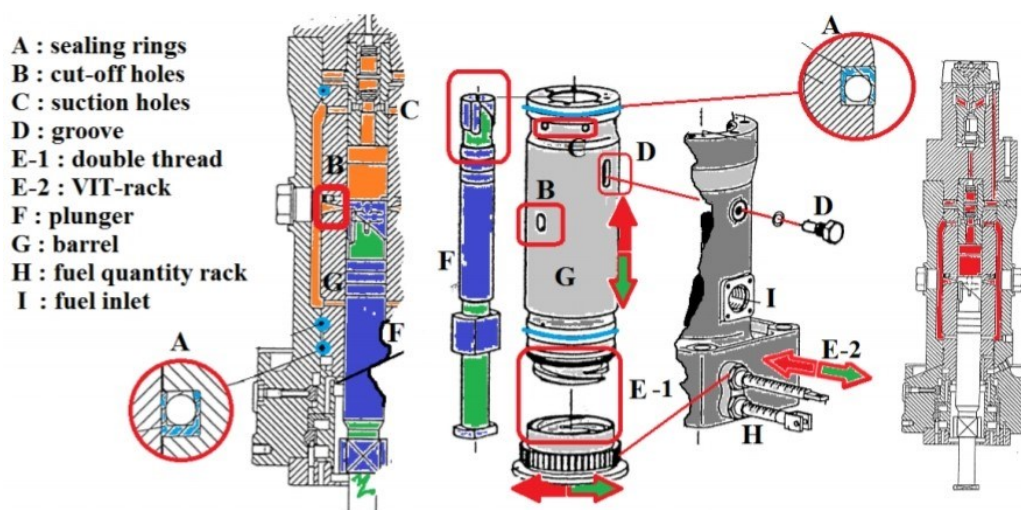
Με την περαπέρα ανύψωση του εμβόλου, οι cut-off holes καλύπτονται, οπότε το καύσιμο θα ωθείται προς τους καυστήρες, οι οποίοι θα ανοίξουν όταν η πίεση θα ανέλθει στα περίπου 1000 bar, και θα ξεκινήσει η έγχυση. Η διαδρομή αυτή, μέχρι και την στιγμή που θα διακοπεί η έγχυση ονομάζεται ενεργός διαδρομή. 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 καυσίμου από την περιστροφή του εμβόλου, το πόσο νωρίς ή αργά θα γίνει η κατάθλιψη και την κατακόρυφη μετατόπιση του χιτωνίου.

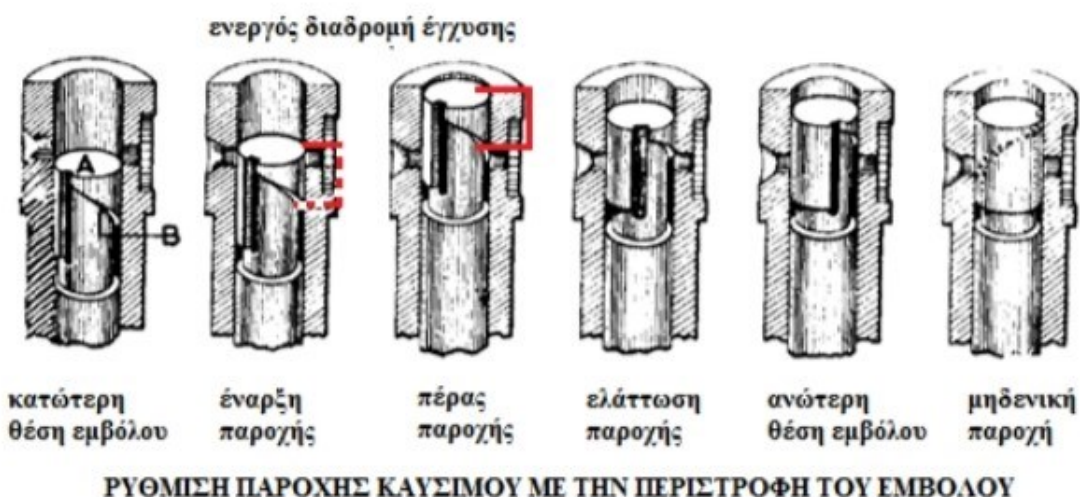
Η ενεργός διαδρομή καταθλίψεως δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται κάθε φορά που είτε στρέφεται το έμβολο της αντλίας ή κινείται το χιτώνιο κατακόρυφα, άνω ή κάτω. Σε δεδομένες μοίρες περιστροφής, η θέση της ελικοτομής αντιστοιχεί σε διαφορετική θέση του χειριστηρίου, αφού

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 την καθυστέρηση της έγχυσης. Τις απότομες μεταβολές της πίεσης έγχυσης, τις απορροφά ένα αμορτισέρ (shock absorber).



Εικόνα 15 Η συνεργασία του VIT με το barrel και του plunger με το fuel quality rack.



Εικόνα 16. η ενεργός διαδρομή της έγχυσης [20]

4.4 Σύστημα μεταβαλλόμενου χρόνου έγχυσης (variable injection timing -VIT)

Η λειτουργία του VIT χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του εξαρτώμενου φορτίου της πίεσης καύσης .

Το σύστημα VIT παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην λειτουργία της μηχανής , όσο και στην απόδοση, την συντήρησή της και την εκπομπή ρύπων. Το VIT αποσκοπεί στην νωρίτερη έγχυση του καυσίμου. Σε αυξημένες στροφές, που η χρονική διάρκεια κάθε φάσεως του κύκλου της μηχανής μειώνεται, το καύσιμο εγχύεται λίγο νωρίτερα, ώστε να προλάβει να αναφλεχθεί όλη η ποσότητα, καθ'όλη τη 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.

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 της έγχυσης και της μέγιστης πίεσης καύσης, η έναρξη της κατάθλιψης της αντλίας έγχυσης καυσίμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σήμα ελέγχου για την καύση.

4.5 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. Το σύστημα μεταβλητού χρονισμού έγχυσης καυσίμου, ικανοποιεί τις απαιτήσεις της διατήρησης της MCR (maximum continuous rating) P_{max} υπό συνθήκες μερικού φορτίου, με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αυτόματη μεταβολή έναρξης της έγχυσης, ώστε η MCR P_{max} 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 το P_{max} 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 της έγχυσης

καυσίμου αλλάζει αυτόματα από τον μηχανισμό ο οποίος κινεί το χιτώνιο της αντλίας έγχυσης καυσίμου κάθετα και αντιστοιχεί στην κίνηση του άξονα ρύθμισης καυσίμου.

Το VIT επενεργεί στην προπορεία της έγχυσης, δηλαδή η μέγιστη πίεση καύσης (P_{max}) επιτυγχάνεται στο 85% MCR - δηλαδή στο 85 % του μέγιστου συνεχούς φορτίου της μηχανής. Το σύστημα έχει ρυθμιστεί ώστε να μην υπάρχει καμία αλλαγή στο 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 έγχυσης. Όταν ο κινητήρας έχει φτάσει περίπου το 85% της MCR, στην οποία τιμή ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί ώστε να φτάνει την P_{max} , οι servos επιβραδύνουν το χρονισμό έγχυσης, έτσι ώστε η μέγιστη πίεση καύσης να διατηρείται σταθερή. Ενδεικτικά, στο 90% MCR, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμων μεταξύ 4-5 g/hp/hour.

Ο μεταβλητός χρόνος έγχυσης επιτρέπει, επίσης, μικρές προσαρμογές στο χρονισμό της αντλίας για τις διαφορετικές ποιότητες ανάφλεξης των καυσίμων. Κατά την πετρέλευση είναι δυνατό να ληφθούν διαφορετικής ποιότητας καύσιμα. Η ποιότητα πετρελαίου επηρεάζει άμεσα την μέγιστη πίεση P_{max} . 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 (SFOC - specific fuel oil consumption), 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.

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

4.6 Πώς επιτυγχάνεται ο μεταβλητός χρονισμός.

4.6.1 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 ρυθμιστή ή από τον fuel pump control handwheel (χειροκίνητη αντλία καυσίμου), κινείται μια στρεφόμενη ράβδος (pivoted bar), 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 με διαφορετικές ποιότητες ανάφλεξης ή τις αλλαγές που μπορούν να επέλθουν στο χρονισμό του εκκεντροφόρου, εξ' αιτίας της επιμήκυνσης της αλυσίδας.

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

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

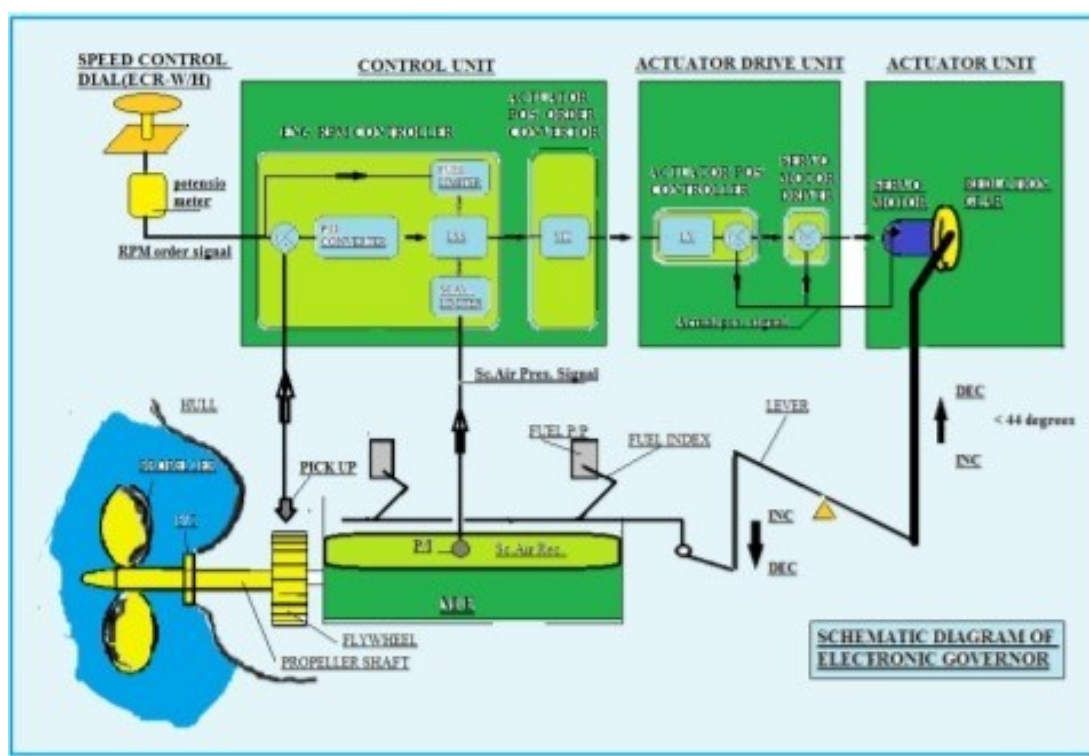
4.6.2 Ηλεκτρο - Πνευματικό Σύστημα (electro - pneumatic system)

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 ενεργοποιητές 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, ο ρυθμιστής δέχεται ηλεκτρικό σήμα από την πίεση της σάρωσης, που κυμαίνεται μεταξύ 4 και 20 mA. Αυτό το μήνυμα αποστέλλεται σε έναν μετατροπέα (IP converter) που ρυθμίζει την έξοδο του ρυθμιστή και ελέγχει της έξοδο της pilot valve , ώστε το πνευματικό σήμα ελέγχου να είναι μεταξύ 0,5 bar (ελάχιστη ρύθμιση VIT) και 5 bar (μέγιστη ρύθμιση VIT) ανάλογα με το φορτίο.

Εάν η πίεση του οχετού σάρωσης είναι υψηλή, τότε η προκύπτουσα πίεση συμπίεσης μέσα στον κύλινδρο θα είναι υψηλότερη. Αυτό σημαίνει ότι, εάν δεν γίνουν προσαρμογές η μέγιστη πίεση στο κύλινδρο θα υπερβεί τα επιθυμητά όρια. Μεταβάλλοντας το σημείο διακοπής σε χαμηλότερη ποσοστιαία μονάδα του φορτίου του κινητήρα, η Pmax επιτυγχάνεται νωρίτερα και διατηρείται στο σημείο αυτό μέχρι το 100% του φορτίου.

Ομοίως, αν η πίεση σάρωσης είναι χαμηλή, τότε το σημείο διακοπής (breakpoint) κινείται πιο κοντά στο φορτίο του κινητήρα κατά 100%, ώστε η Pmax να παραμένει διαρκώς σταθερή.



Εικόνα 17. ηλεκτρο-πνευματικό σύστημα

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος είναι ενεργός όταν τα χειριστήρια μηχανής είναι γυρισμένα στη γέφυρα 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 ενεργοποιητές.

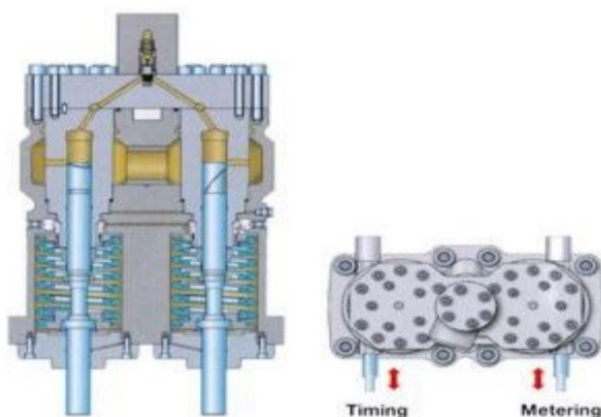
Οι προσαρμογές κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα είναι απλούστερες, καθώς διορθωτικές τιμές πληκτρολογούνται απευθείας μέσα στο σύστημα ελέγχου του κινητήρα. Αλλαγή στην ποιότητα των καυσίμων ή φθορά στις αντλίες καυσίμου μπορεί να καταστήσουν αναγκαίο να ρυθμιστεί το VIT.

4.7 Σύστημα VIT για μηχανή Wartsila

4.7.1 Γενικά

Διάφοροι κατασκευαστές κινητήρων επιτυγχάνουν τον μεταβλητό χρονισμό έγχυσης (VIT) χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους.

Η εταιρεία Wartsila [21] ανέπτυξε για τον κινητήρα Wartsila 64 μια αντλία καυσίμου μεταβλητού χρονισμού έγχυσης με δυο έμβολα και δυο κυλίνδρους με κοινή αναρρόφηση και κατάθλιψη. Το έμβολο για τον έλεγχο της έναρξης της έγχυσης (χρονισμός) είναι ελικοειδούς μορφής στην κορυφή, ενώ το έμβολο για τον έλεγχο του τέλους της έγχυσης (μέτρηση) είναι ένα συμβατικού τύπου αντλίας καυσίμου. Ακόμα υπάρχουν θυρίδες διαρροής του πετρελαίου και σε αυτή την αντλία υπάρχει ένας οδοντωτός κανόνας μαζί με μια οδοντωτή ράβδος.



Εικόνα 18 εγκάρσια τομή αντλίας VIT της Wartsila

4.7.2 Λειτουργία της αντλίας

Καθώς τα έμβολα θα κινούνται προς τα πάνω στους αντίστοιχους κυλίνδρους, η έγχυση δεν θα ξεκινήσει μέχρι η ελικοειδής απόληξη στο έμβολο χρονισμού να έχει καλύψει τις θύρες διαρροής. Το σημείο αυτό ελέγχεται με την περιστροφή του εμβόλου στον κύλινδρο μέσω μιας οδοντωτής ράβδου και ενός μικρού οδοντωτού τροχού. Το τέλος της έγχυσης ελέγχεται με τον κανονικό τρόπο , όταν η ελικοειδής απόληξη στο μετρητικό έμβολο αποκαλύπτει τις θύρες διαρροής.

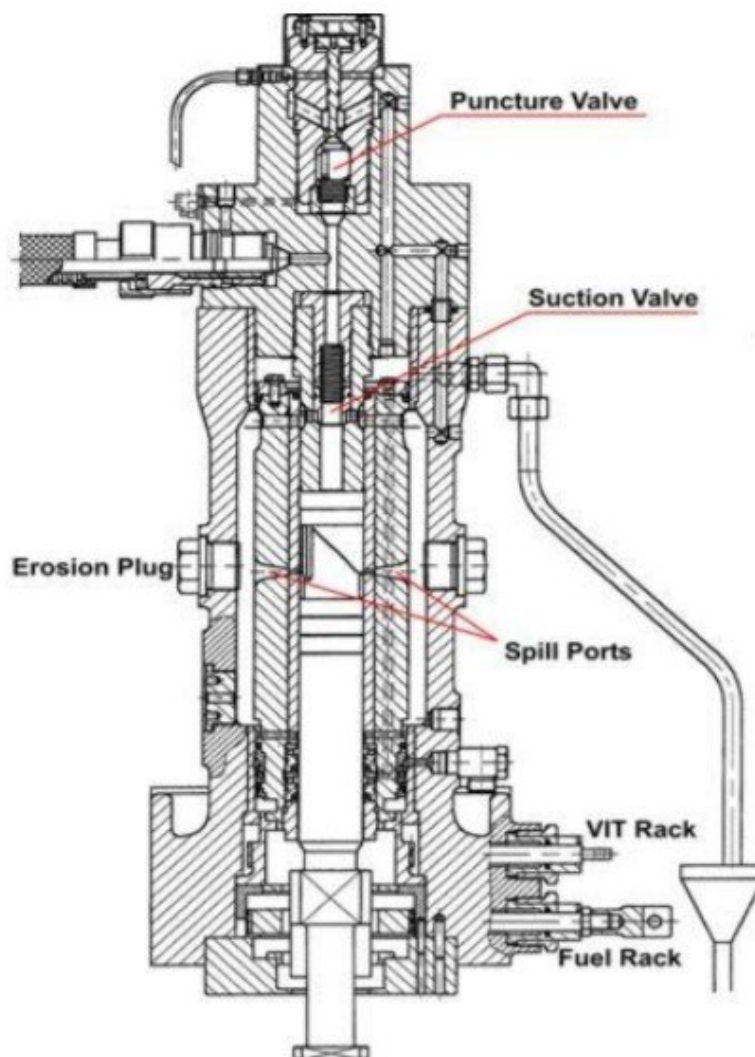
Για να ληφθεί η υψηλότερη απόδοση μαζί με χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων, ένα ειδικό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου χρησιμοποιείται για να

ελέγχει την έγχυση του “οδηγού” καυσίμου, τις ποσότητες έγχυσης του κυρίου καυσίμου καθώς και το χρονισμό του κάθε κυλίνδρου ξεχωριστά. Μέσω της προσεκτικής ηλεκτρονικής παρακολούθησης και των αυτόματων προσαρμογών επιτυγχάνεται η βέλτιστη καύση σε κάθε κύλινδρο. Το γεγονός αυτό έχει ένα πρόσθετο πλεονέκτημα αυτό της εξάλειψης της μηχανικής και θερμικής υπερφόρτωσης του κινητήρα, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης , παρέχοντας ταυτόχρονα χαμηλότεροο κόστος για τον συνολικό κύκλο ζωής του κινητήρα [22].

4.8 Σύστημα VIT για την μηχανή MAN B&W

4.8.1 Λειτουργία της αντλίας

Πετρέλαιο παρέχεται εντός του κυλινδρικού οδηγού μέσω των σημείων διαρροής από μια βαλβίδα αναρρόφησης. Η βαλβίδα βρίσκεται στην κορυφή του κυλινδρικού οδηγού και ανοίγει όταν η πίεση εντός του οδηγού πέφτει κάτω από την πίεση της αντλίας τροφοδοσίας, δηλαδή κατά την διάρκεια της διαδρομής εκτόνωσης του εμβόλου, ενώ οι θύρες διαρροής καλύπτονται από το έμβολο [14]. Η βαλβίδα αυτή λειτουργεί σε περίπτωση ενεργοποίησης της παύσης λειτουργίας, κατά τη διάρκεια της ακολουθίας εκκίνησης ή όταν υπάρχει υπερβολική διαρροή η οποία εντοπίζεται από τους σωλήνες καυσίμου διπλού τοιχώματος. Η αντλία μεταβλητού χρονισμού έγχυσης ξεπερνά το μειονέκτημα της αρχής λειτουργίας της βασικής παλινδρομικής αντλίας, όπου αν και τέλος της έγχυσης είναι απείρως μεταβλητό, εντούτοις η έναρξη έγχυσης καθορίζεται από τη θέση των θυρίδων διαρροής, με την έγχυση να ξεκινά λίγο μετά το χρονικό σημείο όπου οι θυρίδες διαρροής καλυφθούν από το άνω άκρο του εμβόλου. Παράλληλα με την εκτέλεση της λειτουργίας ελέγχου ποσότητας καυσίμου, η αντλία καυσίμου είναι εφοδιασμένη με ένα ρυθμιζόμενο κυλινδρικό δοχείο, το οποίο έχει ένα μεγάλο βήμα σπειρώματος στο κάτω μέρος. Το κυλινδρικό δοχείο με σπείρωμα βρίσκεται σε ένα κοχλιωτό χιτώνιο το οποίο περιστρέφεται από ένα δεύτερο μοχλό. Καθώς το χιτώνιο δεν μπορεί να κινηθεί αξονικά, και το κυλινδρικό δοχείο εμποδίζεται να περιστρέφεται, καθώς το χιτώνιο περιστρέφεται, το κυλινδρικό δοχείο κινείται πάνω και κάτω, μεταβάλλοντας έτσι τη θέση των θυρίδων διαρροής σε σχέση με το έμβολο και μεταβάλλοντας την έναρξη της έγχυσης.



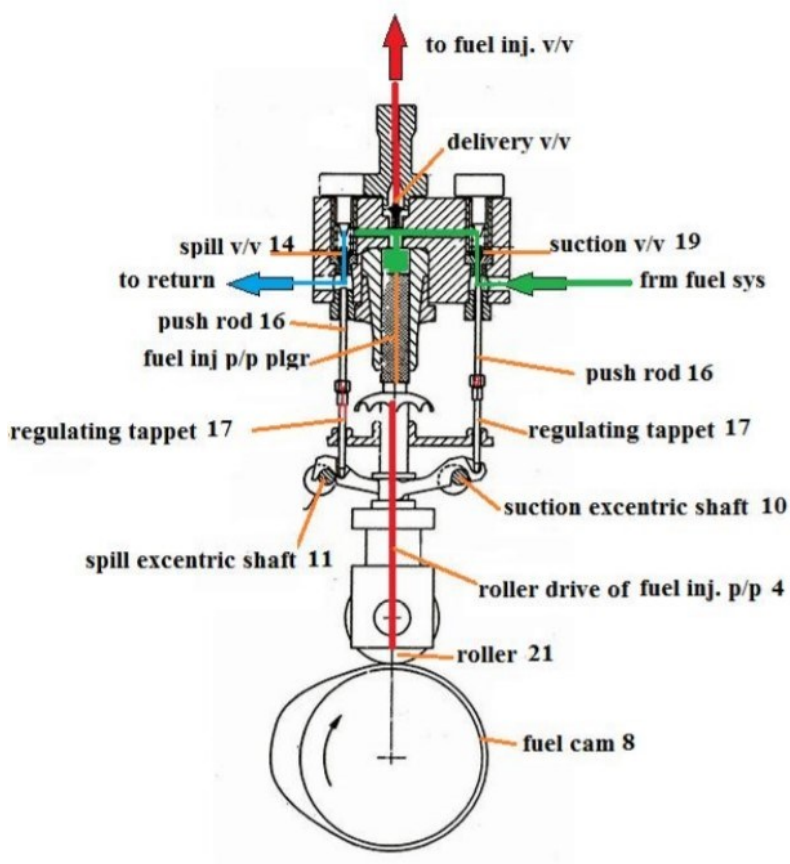
Εικόνα 19. εγκάρσια τομή της βαλβίδας αναρρόφησης της αντλίας VIT της MAN B&M

Ο λόγος για τη χρήση αντλίας VIT είναι η επίτευξη οικονομίας καυσίμου. Αυτό επιτυγχάνεται με την μεταφορά του χρονισμού ψεκασμού, ώστε η μέγιστη πίεση κυλίνδρου (P_{max}) να επιτυγχάνεται σε ποσοστό περίπου 85% MCR. Ο μεταβλητός χρονισμός έγχυσης επιτρέπει μικρές προσαρμογές στο χρονισμό της αντλίας καυσίμου που πρέπει να γίνουν για να γίνεται η χρήση καυσίμων με διαφορετικό αριθμό κετανίου. Η φθορά των αντλιών καυσίμου μπορεί επίσης να αντισταθμιστεί όπως και οι αλλαγές στο χρονισμό του εκκεντροφόρου.

5 ΑΝΤΛΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ SULZER

5.1 Γενικά

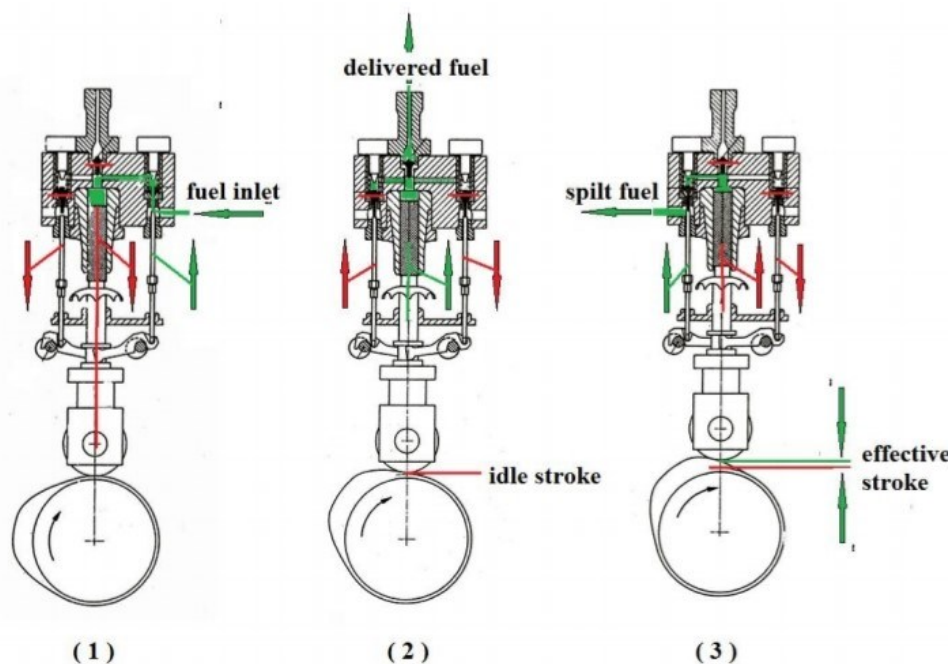
Αποτελείται από μια βαλβίδα καταθλίψεως (delivery valve), μια βαλβίδα αναρροφήσεως (suction valve) και μια βαλβίδα διαφυγής (spill valve). Το άνοιγμα και το κλείσιμο της αναρροφητικής βαλβίδας και της βαλβίδας διαφυγής ρυθμίζονται από τους δύο eccentric shaft της αντλίας, οι οποίοι τις ενεργοποιούν ανάλογα μέσω των suction valve push rod και spill valve push rod αντίστοιχα καθορίζοντας τον χρονισμό έγχυσης [9].



Εικόνα 20 αντλία τύπου Sulzer

5.2 Φάσεις της αντλίας

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



Εικόνα 21 οι φάσεις της αντλίας Sulzer.

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

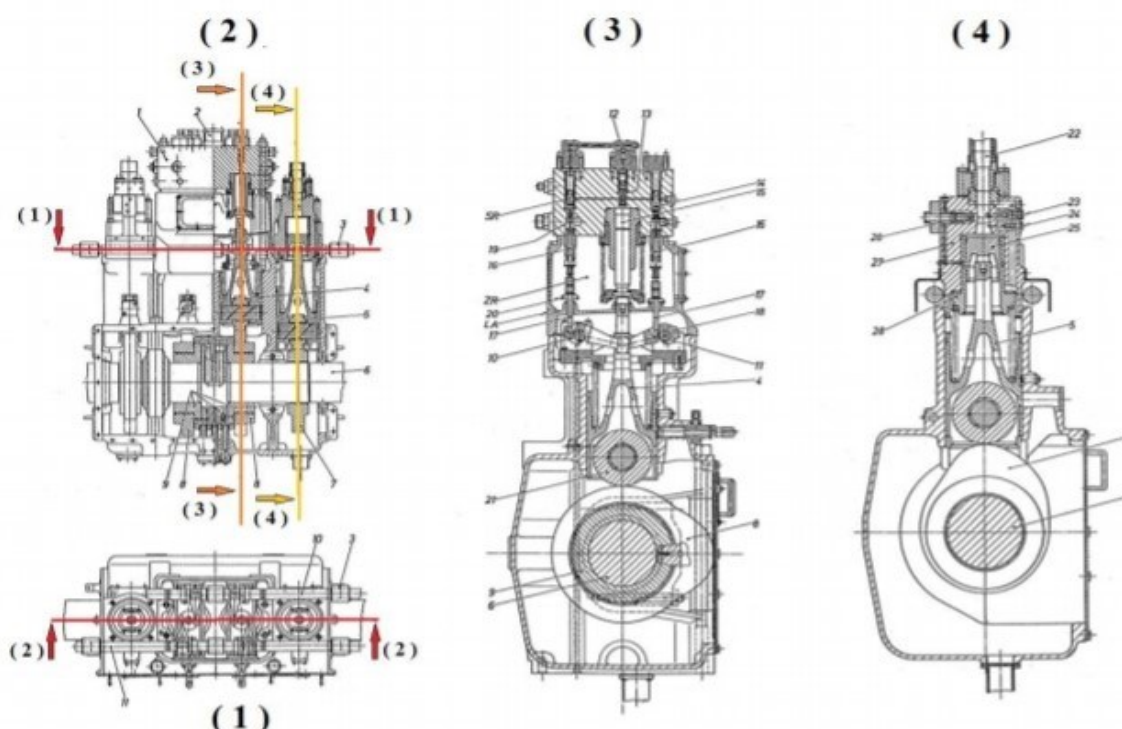
Καθώς το έμβολο κινείται ανοδικά στο περιχιτώνιο, το ωστήριο της βαλβίδας αναρρόφησης κινείται προς τα κάτω και η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει. Με την βαλβίδα διαφυγής κλειστή, το πετρέλαιο διαφεύγει από την βαλβίδα καταθλίψεως προς τους καυστήρες, απ' όπου και ψεκάζεται. Η φάση αυτή σηματοδοτεί την έγχυση (2). Με το έμβολο να συνεχίζει να κινείται προς τα πάνω, το ωστήριο της βαλβίδας διαφυγής θα ανοίξει την βαλβίδα διαφυγής και τότε η πίεση πάνω από το έμβολο θα πέσει, το πετρέλαιο θα διαφύγει προς το δίκτυο των επιστροφών και ως αποτέλεσμα θα ξεκινήσει η έγχυση (3).

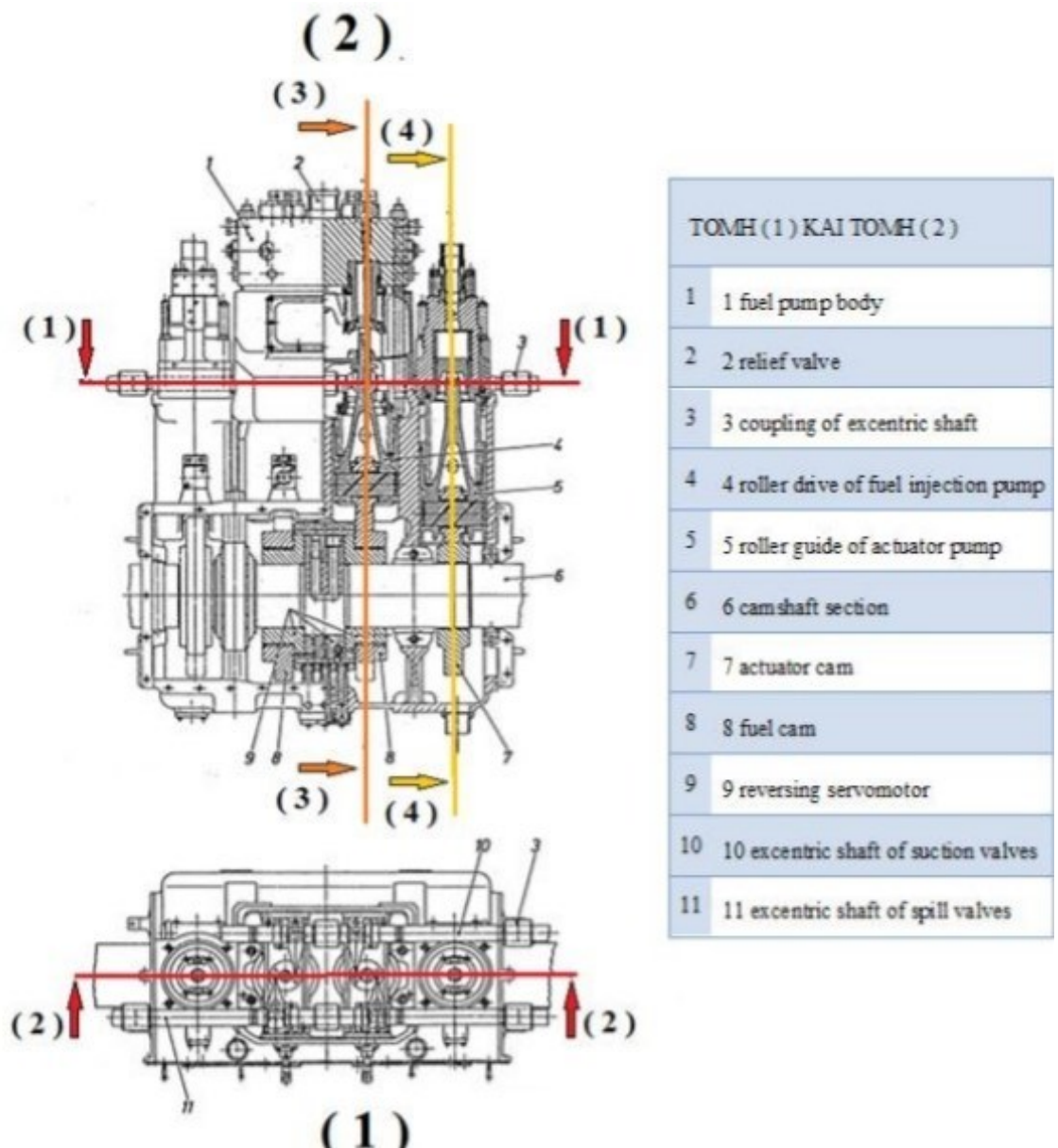
Η ποσότητα των παρεχόμενων καυσίμων μπορεί να ρυθμίζεται με την αλλαγή της απόστασης του ωστηρίου άξονα από τον μοχλό της βαλβίδας διαφυγής. Αυτό προκαλεί τη βαλβίδα διαφυγής να ανοίξει νωρίτερα ή αργότερα. Μεταβάλλοντας τη θέση του περιστρεφόμενου έκκεντρου μοχλού της βαλβίδας αναρρόφησης, η έναρξη της έγχυσης μπορεί να ελέγχεται, ρυθμίζοντας ανάλογα τον χρονισμό της έγχυσης.

5.3 Παρουσίαση της αντλίας

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

Ενώ ο κύλινδρος (21) του roller drive (4) κινείται από το cam head circle προς το base circle, το προς τα κάτω κινούμενο έμβολο (15) αντλεί καύσιμο από τον χώρο αναρρόφησης της αντλίας. Η βαλβίδα αναρρόφησης (19), ανοίγει μηχανικά μόνο στο κάτω μέρος της διαδρομής του εμβόλου από το μοχλό ελέγχου (18) μέσω του push rod (16) και του regulating tappet [23].





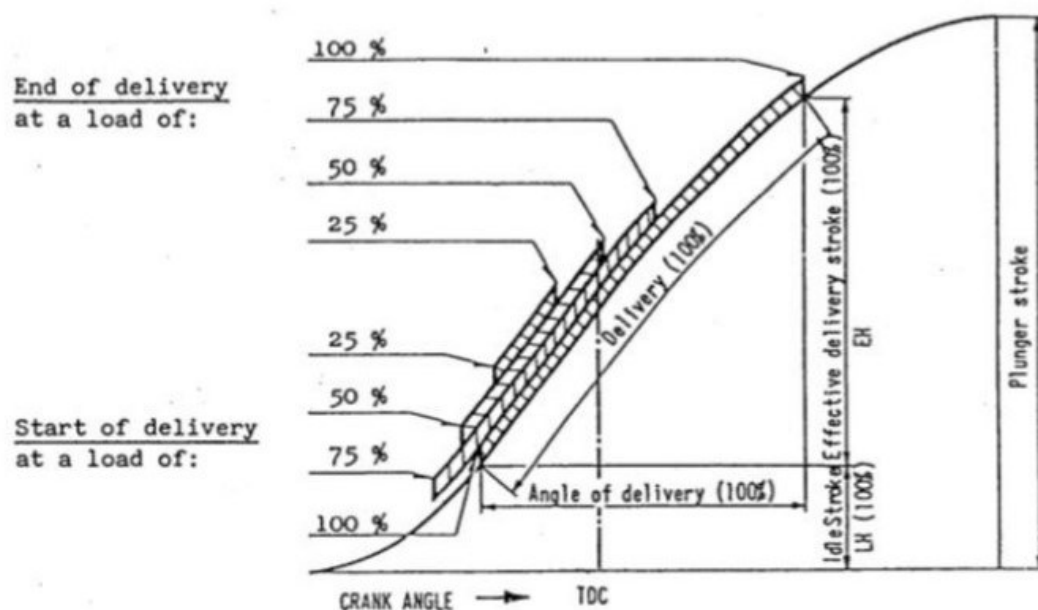
Εικόνα 22: όψεις της αντλίας υψηλής πίεσης SULZER

Εικόνα 23: όψεις της αντλίας υψηλής πίεσης SULZER

Όταν το έμβολο (15) ωθείται προς τα άνω από το εκκεντρο καυσίμου (8) η βαλβίδα αναρρόφησης (19) κλείνει μετά από ένα ορισμένο χτύπημα του εμβόλου, ανάλογα με τη θέση του εκκεντρικού άξονα (10). Μέχρι αυτή την κίνηση, καύσιμο δεν παρέχεται στις βαλβίδες έγχυσης. Όλη αυτή η διάρκεια της διαδρομής ονομάζεται άεργος διαδρομή. Η χρονική στιγμή, κατά την οποία θα κλείσει η βαλβίδα αναρρόφησης, ονομάζεται start of delivery (έναρξη της έγχυσης).

Αφού η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει, το καύσιμο στον plunger guide πιέζεται ακόμα από την ανοδική κίνηση του plunger μέσα από την βαλβίδα

πίεσης (13) προς τις βαλβίδες έγχυσης, από όπου εγχέεται στο χώρο συμπίεσης του κυλίνδρου. Η φάση (stroke) κατά την οποία το έμβολο κινείται κατά τη διάρκεια της περιόδου έγχυσης, ονομάζεται delivery stroke.



Εικόνα 24 καμπύλη κατάθλιψης αντλίας εγχύσεως τύπου Sulzer.

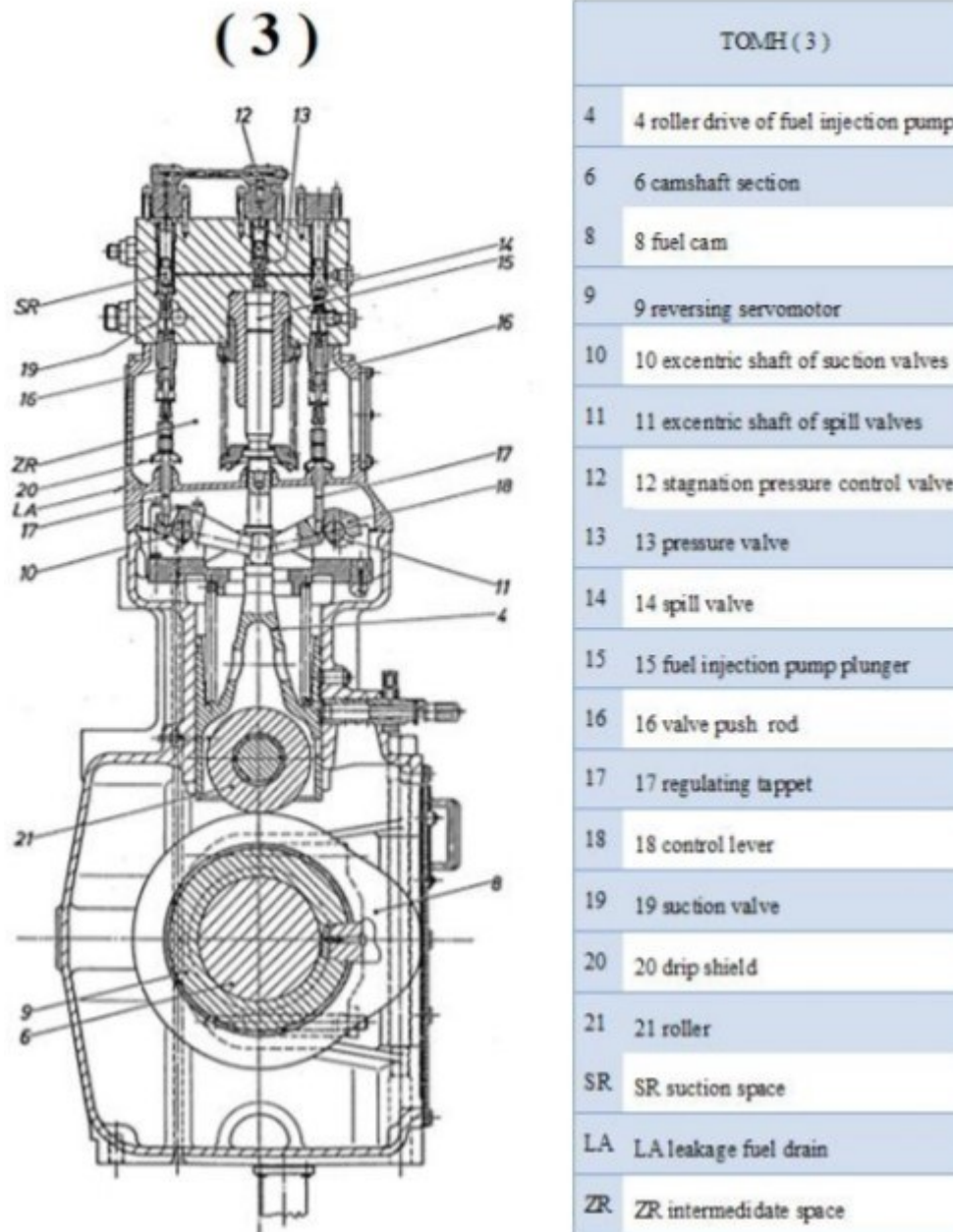
Ανάλογα με τη θέση του εκκεντρικού άξονα (11), η βαλβίδα διαφυγής (14) ανοίγει με το control lever (18) μέσω των push rods, αφού το έμβολο έχει ολοκληρώσει ένα συγκεκριμένο μέρος της διαδρομής του. Αυτό το σημείο ονομάζεται end of delivery.

Το υπόλοιπο του καυσίμου στο plunger guide συμπιέζεται από το έμβολο μέσω της βαλβίδας διαφυγής (14) και οδηγείται πίσω στο σύστημα καυσίμου, μέχρις ότου ο κύλινδρος του roller guide πατά στο cam head circle.

Η βαλβίδα πίεσεως (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 βαλβίδα ελέγχου πίεσης στασιμότητας (12) εμποδίζει το after spray των ακροφυσίων έγχυσης, που μπορεί να προκληθεί από τις διακυμάνσεις της πίεσης κατά το πέρας της έγχυσης (delivery end), οδηγώντας το καύσιμο πίσω στη βαλβίδα αναρρόφησης (19).

Τα έμβολα (15) και οι push rods (16), (17) λιπαίνονται από καύσιμο που διαφεύγει μεταξύ των plunger/push rods και των guides ως διαρροή. Κατά την λειτουργία, είναι σημαντικό να ελέγχεται περιοδικά ότι λόγω αυτής της διαρροής δεν συσσωρεύεται μεγάλη ποσότητα καυσίμου, στον ενδιάμεσο χώρο (interspace). Πρέπει να εξασφαλίζεται η διαρροή καυσίμου του fuel drain και τα drip shields (20) να μην είναι βουλωμένα, διότι μπορεί να αναμειχθεί καύσιμο με το λάδι λίπανσης [24].



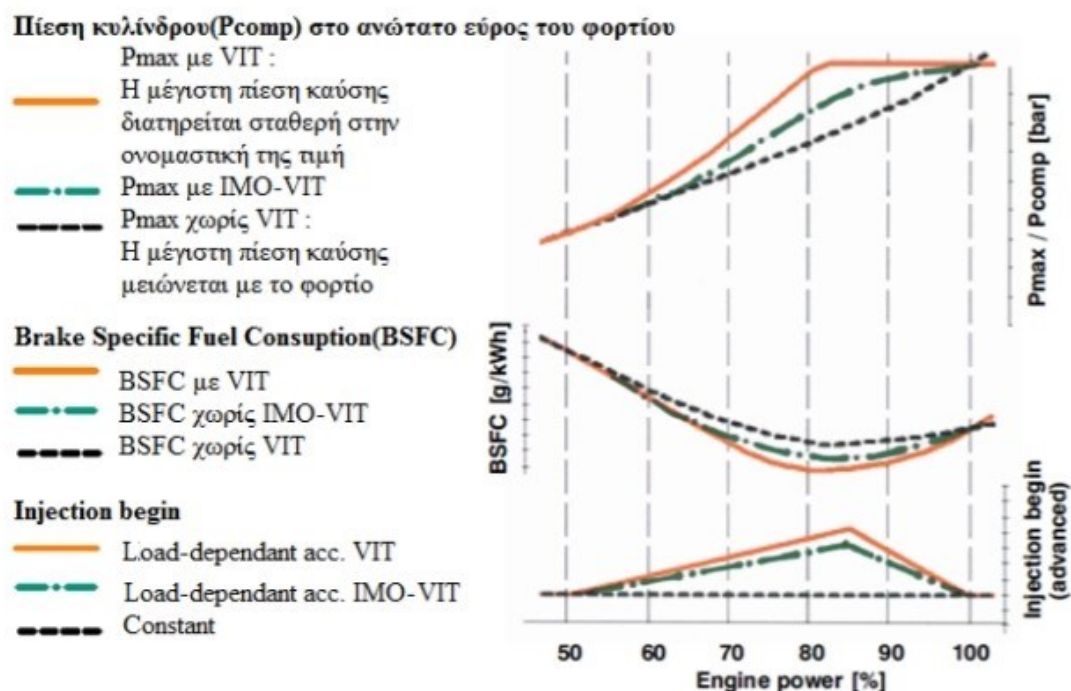
Εικόνα 25 όψη αντλίας τύπου SULZER

5.4 Αρχή λειτουργίας των συστημάτων VIT και FQS σε αντλία τύπου Sulzer

5.4.1 VIT - Variable Injection Timing (μεταβλητός χρονισμός έγχυσης)

Η λειτουργία VIT χρησιμοποιείται για την 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 [25].



Εικόνα 26 επίδραση της προπορείας (VIT) στην πίεση καύσης (P_{max}) και στην ειδική κατανάλωση πέδης (BSFC), κατά την λειτουργία της μηχανής με μερικό φορτίο (part load operations).

Χωρίς VIT

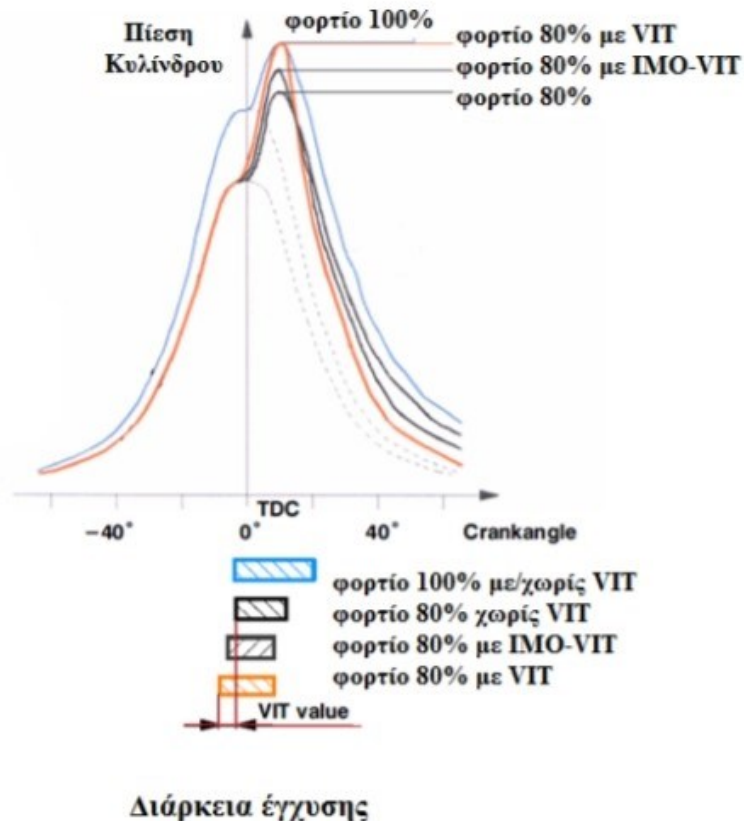
Η έναρξη έγχυσης καθορίζεται από το fuel pump setting της αντλίας.
Αποτέλεσμα: Η P_{max} αυξάνεται με το φορτίο

Με VIT

Η έναρξη έγχυσης μεταβάλλεται, προσαρμοζόμενη από το fuel pump setting της αντλίας, και το VIT-value.
Αποτέλεσμα: Η P_{max} 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 P_{max} μειώνεται με το φορτίο, σύμφωνα το IMO-VIT curve



Εικόνα 27 διάρκεια έγχυσης.

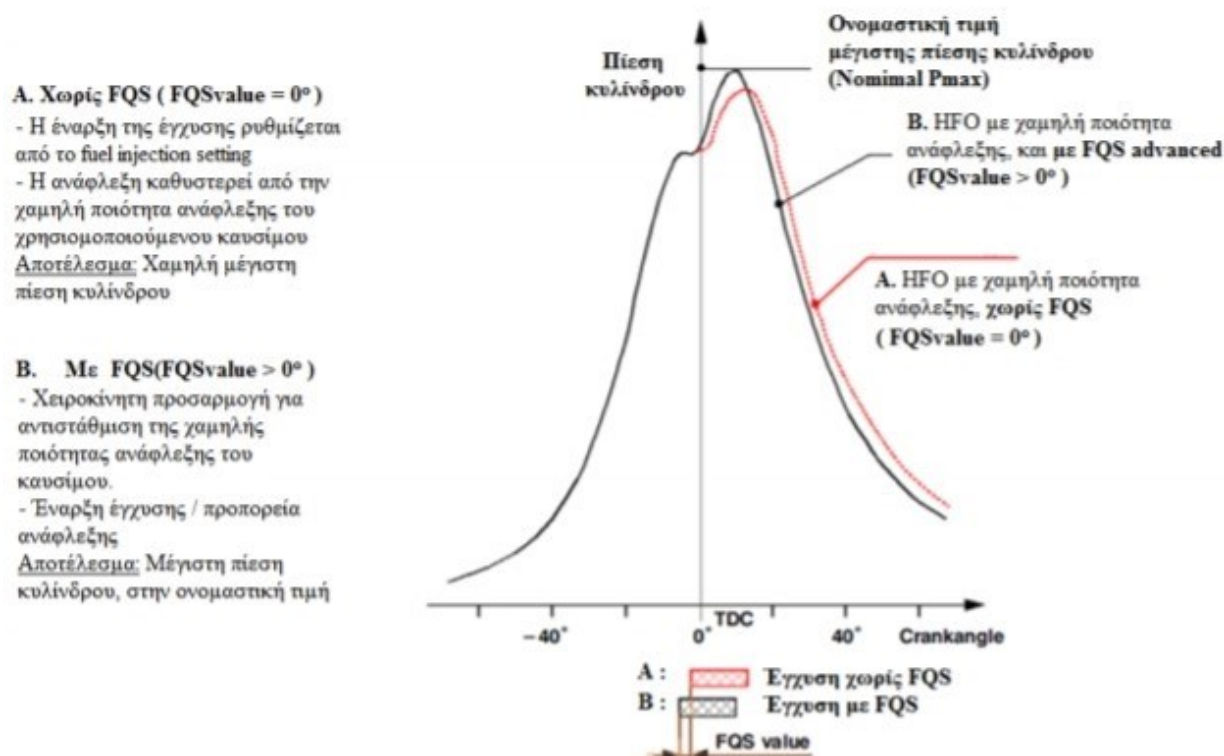
5.4.2 FQS - Fuel Quality Setting (ρύθμιση ποιότητας καυσίμου)

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 βαλβίδων. Με τη μετατόπιση του FQS -lever 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 οφείλεται σε μεταβολή της ποιότητας των καυσίμων και όχι από την απόφραξη.

Με τη χειροκίνητη ρύθμιση της ποιότητας των καυσίμων , μπορεί να προσαρμοστεί ο χρονισμός ψεκασμού βάση της ποιότητας του πετρελαίου. Καύσιμο με χαμηλή ποιότητα χαρακτηριστικών ανάφλεξης, έχει ως αποτέλεσμα

χαμηλότερη 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 μπορεί να αντισταθμιστεί από την εφαρμογή μιας τιμής ανεξάρτητου φορτίου <<offset>> κατά την έναρξη έγχυσης του πετρελαίου.



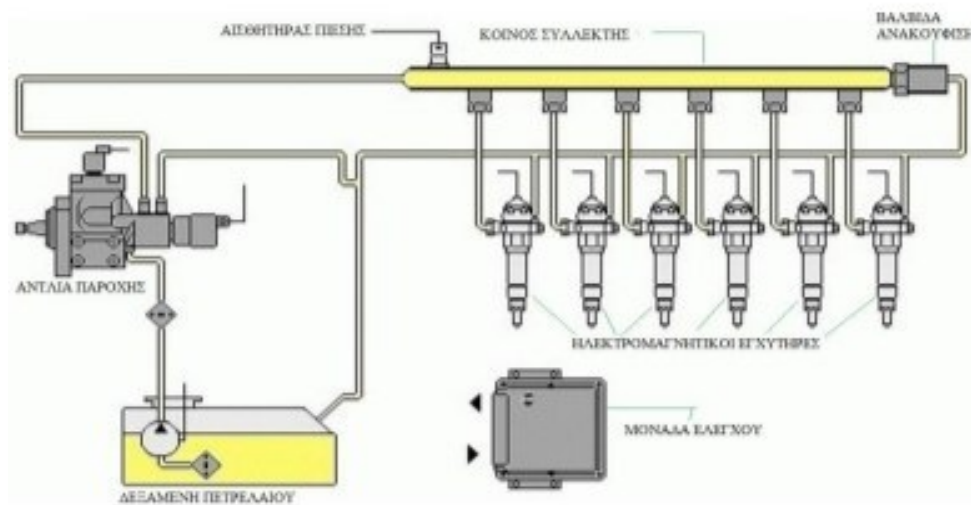
Εικόνα 28 επίδραση της FQS στην πίεση καύσης.

Με τη ρύθμιση του FQS στο advanced, δηλαδή στην ανώτερη έναρξη 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 pressure), και κατά συνέπεια το FQS θα πρέπει να προσαρμόζεται στην κατεύθυνση επιβραδύνσεως, με χαμηλότερη και αρνητική τιμή, έτσι ώστε μετά την έναρξη της έγχυσης να αποφευχθούν οι υπερβολικά υψηλές πιέσεις καύσης [26].

6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΟΙΝΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (COMMON RAIL)

6.1 Περιγραφή λειτουργίας μηχανής με σύστημα common rail.

Μεγάλη ώθηση στην κατεύθυνση της αθόρυβης καύσης με υψηλή απόδοση και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων στους κινητήρες οχημάτων, έχει δώσει το σύστημα κοινού διανομέα καυσίμου (common rail) [27].

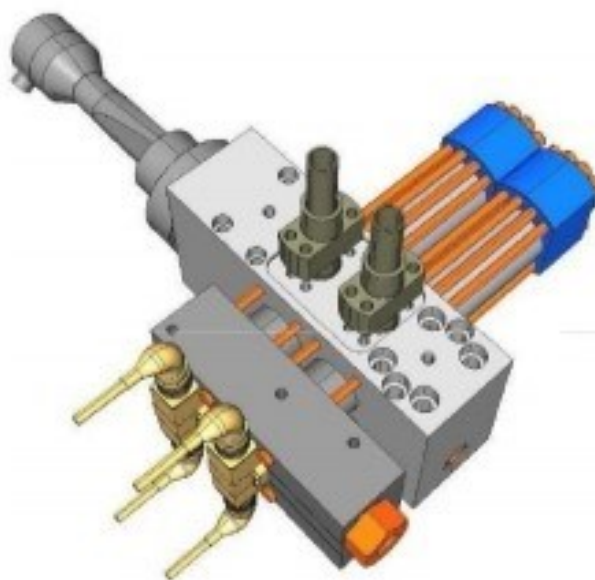


Εικόνα 29 απεικόνιση συστήματος κοινού συλλέκτη

Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται η αποδέσμευση της έγχυσης από την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα (δηλαδή από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα), και ο πλήρης και άμεσος έλεγχος των χαρακτηριστικών της έγχυσης. Σε αντίθεση με τα συστήματα μηχανικής έγχυσης, όπου ο χρονισμός της έγχυσης εξαρτάται από μηχανικές παραμέτρους (έκκεντρα και στροφές της μηχανής) και επομένως η μεταβολή του χρονισμού είναι πολύ περιορισμένη, στα συστήματα έγχυσης κοινού συλλέκτη ο χρονισμός ρυθμίζεται ηλεκτρονικά.

Χωρίς αυτόν τον βαθμό ελευθερίας θα ήταν αδύνατη η μεταβολή των παραμέτρων του προφίλ έγχυσης, ώστε να επιτύχουμε βελτιωμένη απόδοση του κινητήρα και μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων [28].

Πιο συγκεκριμένα, η αντλία χαμηλής πίεσης καταθλίβει το καύσιμο από την δεξαμενή καυσίμου στην αντλία υψηλής πίεσης. Υπάρχει μια συστοιχία από αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσης, οι οποίες λαμβάνουν κίνηση απευθείας από τον εκκεντροφόρο άξονα, καταθλίβουν το καύσιμο και το οδηγούν σε έναν διανομέα, ενιαίο για όλους τους κύλινδρους, μέσα στον οποίο η πίεση του καυσίμου παραμένει σταθερή (ανεξάρτητα από τον ρυθμό έγχυσης στους κύλινδρους και την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου). Η δημιουργία πίεσης και ο ψεκασμός διαχωρίζονται με την ύπαρξη του κοινού συλλέκτη. Το καύσιμο υπό πίεση προωθείται στο συλλέκτη έτοιμο προς ψεκασμό.



Εικόνα 30 μονάδα ελέγχου έγχυσης (injection control unit)

Στον κοινό συλλέκτη υπάρχουν προσαρμοσμένες μονάδες ελέγχου της έγχυσης του καυσίμου (μία για κάθε κύλινδρο). Σε αυτές εισέρχεται το καύσιμο από τον κοινό διανομέα και εξέρχεται προς κάθε έναν από τους εγχυτήρες με τους οποίους είναι εφοδιασμένος ο κάθε κύλινδρος. Η μονάδα δέχεται σήματα ελέγχου με τη βοήθεια ενός ειδικού λαδιού που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διάταξης. Τα σήματα αυτά αποστέλλονται ηλεκτρονικά από την κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα και καθορίζουν την ποσότητα και τον τρόπο

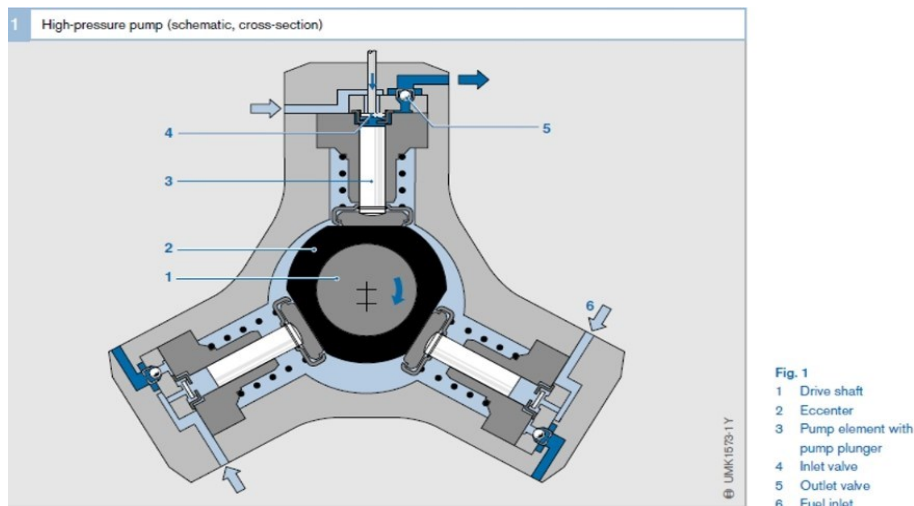
εισαγωγής καυσίμου στον κινητήρα. Όταν οι εγχυτήρες ενεργοποιούνται, μια υδραυλική βαλβίδα ανοίγει, και το καύσιμο εγχύεται στον κύλινδρο.

Η αντλία υψηλής πίεσης και ο εγχυτήρας είναι μονάδες ανεξάρτητες μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται υψηλή πίεση έγχυσης σε οποιοδήποτε εύρος στροφών και επιπλέον, να είναι εφικτή η δυνατότητα ελέγχου της λειτουργίας του κάθε εγχυτήρα ξεχωριστά. Η πίεση παράγεται ανεξάρτητα από τις στροφές της μηχανής και την ποσότητα ψεκασμού. Υπεύθυνη για τον έλεγχο της παραγωγής πίεσης και του ψεκασμού είναι η μονάδα ελέγχου [17].

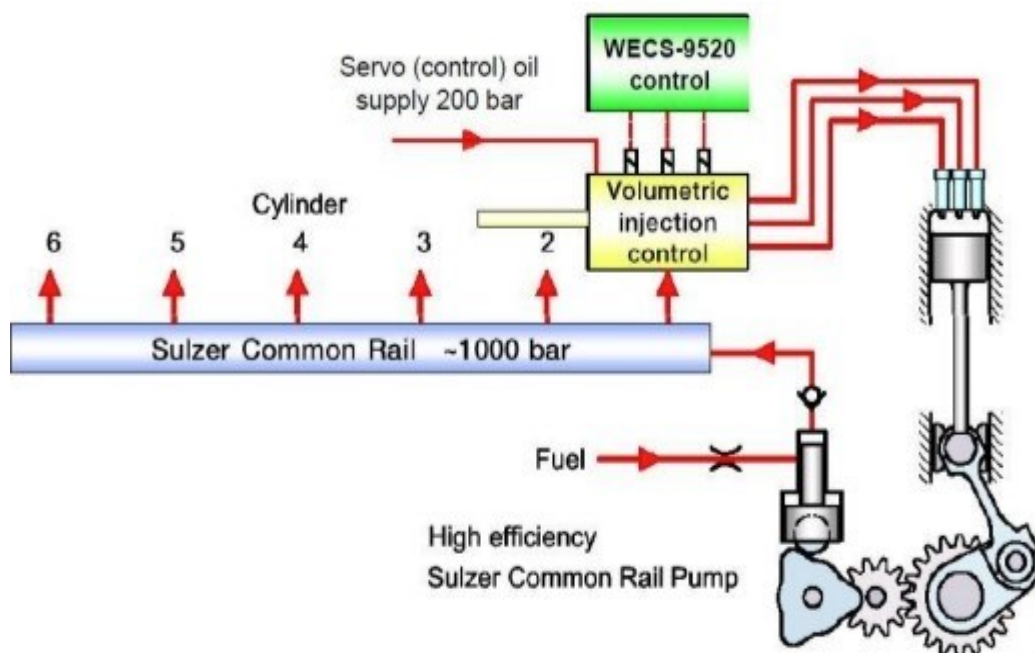
Επιπλέον, υπάρχει ξεχωριστό υδραυλικό σύστημα για τον χειρισμό των βαλβίδων εξαγωγής, ο χρονισμός των οποίων ρυθμίζεται επίσης στα συστήματα αυτά ανεξάρτητα πλέον από την κίνηση του στροφαλοφόρου και σύμφωνα με τις εντολές της κεντρικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα.

Με τον έλεγχο της έγχυσης από την κεντρική μονάδα ελέγχου της μηχανής, είναι πλέον δυνατή η ακριβής ρύθμιση του χρονισμού της έγχυσης, δηλαδή της χρονικής στιγμής που ανοίγει και κλείνει η βαλβίδα του κάθε εγχυτήρα (άρα και της διάρκειας έγχυσης). Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα ελέγχει τη διάρκεια ψεκασμού, ανάλογα τις συνθήκες λειτουργίας, με την τροφοδοσία ρεύματος σε μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που βρίσκεται στη μονάδα ελέγχου ψεκασμού. Ο χρόνος ανοίγματος καθορίζει την ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται. Με σταθερή πίεση, η ποσότητα που ψεκάζεται είναι ανάλογη του χρόνου ελέγχου της βαλβίδας και είναι ανεξάρτητη από τις στροφές της μονάδας τροφοδοσίας ή της μηχανής. Συνεπώς, είναι δυνατός ο ακριβής καθορισμός της ποσότητας εγχέομένου καυσίμου σε κάθε κύκλο, καθώς και η χωρίς περιορισμούς ρύθμιση του χρονικού προφίλ της έγχυσης.

Τέλος, είναι δυνατή η επιλεκτική διακοπή της έγχυσης από έναν ή περισσότερους εγχυτήρες και ο ψεκασμός του καυσίμου από τους υπόλοιπους εγχυτήρες του κυλίνδρου, μια δυνατότητα αρκετά χρήσιμη σε χαμηλά φορτία.



Εικόνα 31 αντλία υψηλής πίεσης CP1 για σύστημα Common Rail [17].



Εικόνα 32 γενική μορφή του συστήματος έγχυσης καυσίμου με κοινό συλλέκτη σε μηχανή Sulzer RT- Flex.

Τα πιο μεγάλα πλεονεκτήματα του συστήματος common rail είναι ο ακριβής έλεγχος της πίεσης έγχυσης και του χρονικού προφίλ της έγχυσης, καθώς και η ανεξαρτησία των μεγεθών αυτών από τις στροφές του κινητήρα, αφού οι εγχυτήρες έχουν αποδεσμευτεί πλέον από την αντλία καυσίμου. Έτσι υπάρχει δυνατότητα υψηλής πίεσης έγχυσης, σε όλο το φάσμα των φορτίων λειτουργίας της μηχανής.

6.2 Πλεονεκτήματα του συστήματος common rail.

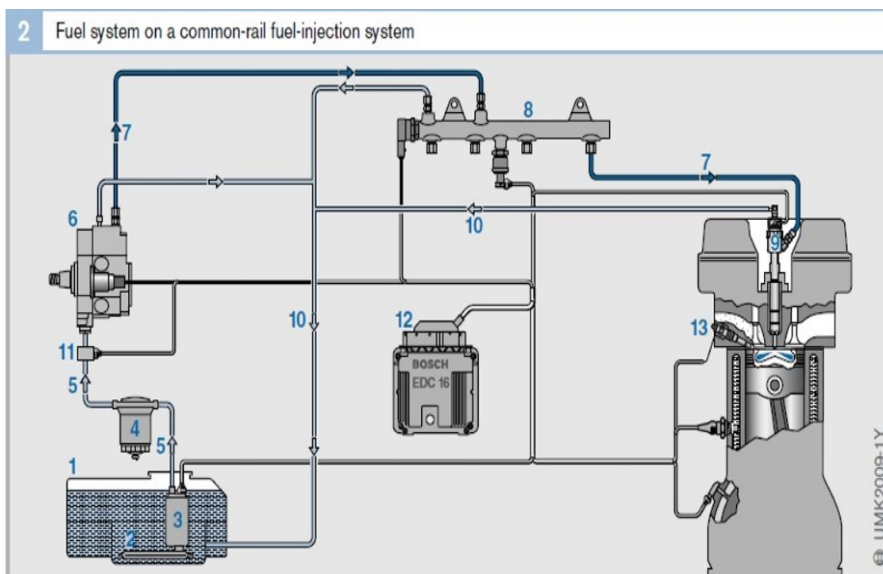
Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα του συστήματος common rail σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα έγχυσης:

- Η υψηλή πίεση έγχυσης επιτυγχάνεται ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα.
- Η υψηλή πίεση έγχυσης είναι ανεξάρτητη της παροχής του εγχεόμενου καυσίμου
 - Ακρίβεια στη ρύθμιση της ποσότητας εγχεόμενου καυσίμου
 - Δυνατότητα πολλαπλών ψεκασμών σε έναν κύκλο λειτουργίας
 - Ελαχιστοποίηση των διαφορών στην εγχεόμενη μάζα καυσίμου και χρονισμό έγχυσης μεταξύ των κυλίνδρων.
 - Ελαχιστοποίηση των διαφορών της εγχεόμενης μάζας καυσίμου μεταξύ των διαδοχικών κύκλων (cycle –to- cycle variability).
 - Δυνατότητα καθορισμού του χρονισμού της βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων.
- Η κατασκευή του συστήματος με μεμονωμένα εξαρτήματα βοηθάει στην ανεξάρτητη σχεδίαση, μελέτη και κατασκευή των εξαρτημάτων αυτών και μειώνει το κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Υπάρχει δυνατότητα να μεταβάλλεται η διάρκεια και το προφίλ ψεκασμού (πχ ανάλογα με τις απαιτήσεις της ποιότητας καυσίμου).
- Με την υψηλή πίεση ψεκασμού μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές ρύπων.
- Η φάση της ακαριαίας αυτανάφλεξης περιορίζεται πλέον στην ποσότητα της προέγχυσης και έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται ο θόρυβος λειτουργίας και οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου.
- Υπάρχει δυνατότητα πριν το τέλος της καύσης να ψεκαστεί και νερό στον κύλινδρο με σκοπό την μείωση ρύπων του οξειδίου του αζώτου.

Τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι το σύστημα ψεκασμού common rail έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, με σημαντικότερο τη δυνατότητά του να μεταβάλλει τους χρόνους ψεκασμού ανάλογα τις συνθήκες λειτουργίας της μηχανής. Η μονάδα διαχείρισης της μηχανής λαμβάνει τα δεδομένα από μια ομάδα αισθητήρων, τα επεξεργάζεται και προσδιορίζει τις βέλτιστες κατά περίπτωση συνθήκες καύσης [16].

Fig. 2

- 1 Fuel tank
- 2 Pre-filter
- 3 Presupply pump
- 4 Fuel filter
- 5 Low-pressure fuel lines
- 6 High-pressure pump
- 7 High-pressure fuel lines
- 8 Fuel rail
- 9 Nozzle
- 10 Fuel return line
- 11 Fuel-temperature sensor
- 12 ECU
- 13 Sheathed-element glow plug



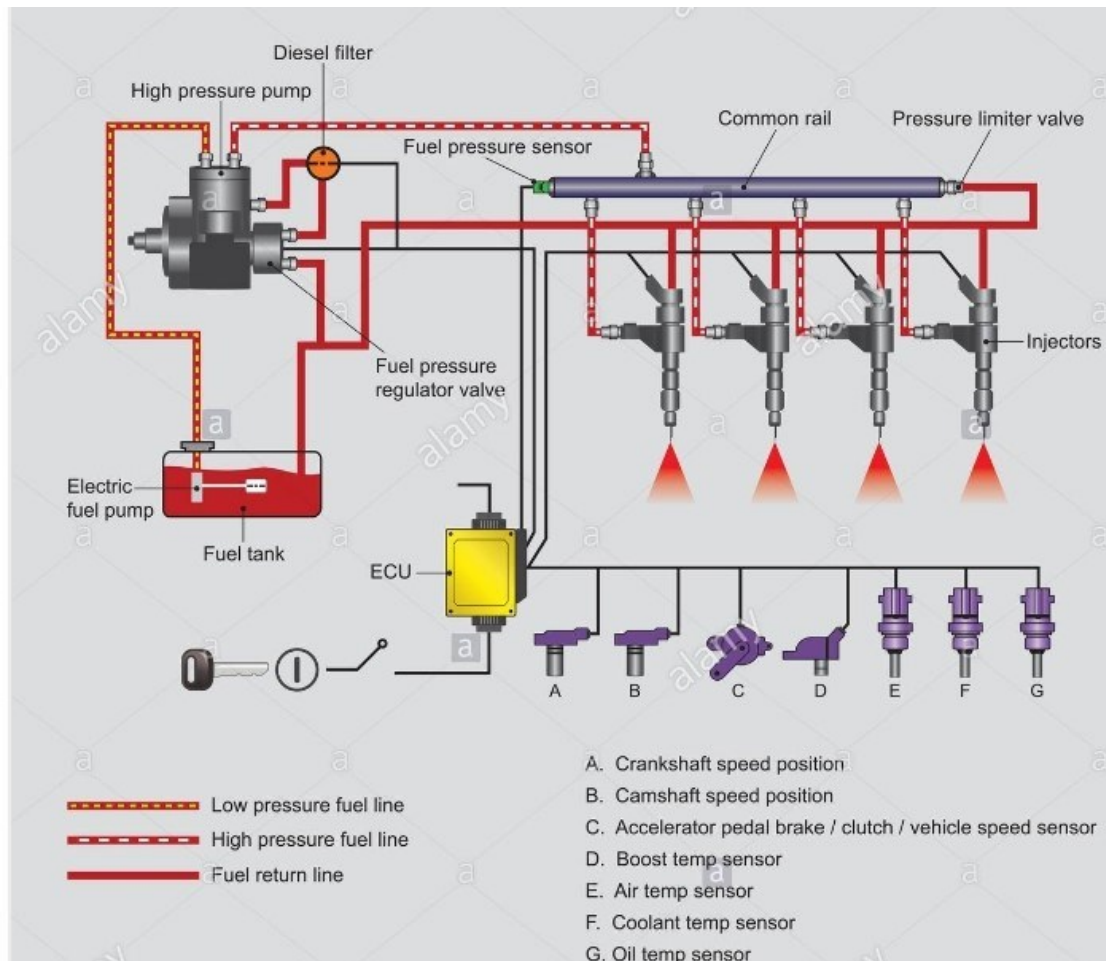
Εικόνα 33 επιμέρους στοιχεία συστήματος Common Rail για κινητήρα diesel [17].

6.3 Συνοπτικές επισημάνσεις

Η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου που επιτυγχάνεται με το σύστημα common rail, κυρίως σε μερικό φορτίο, σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος συντήρησης, αφού, με το σύστημα κοινού συλλέκτη μειώνονται σημαντικά τα επίπεδα εκπομπών σωματιδίων αιθάλης και οξειδία του αζώτου, (λιγότερες επικαθίσεις εξανθρακωμάτων), συνεπάγονται μείωση του κόστους λειτουργίας του κινητήρα και μεγαλύτερα διαστήματα ανάμεσα σε διαδοχικές συντηρήσεις.

Επιπλέον , το σύστημα κοινού συλλέκτη προσφέρει μεγαλύτερη επιτάχυνση, ισόρροπη φόρτιση μεταξύ των κυλίνδρων, πλήρη έλεγχο του φορτίου και σταθερή λειτουργία σε πολύ χαμηλές στροφές, εξαιτίας της δυνατότητας επιλεκτικής έγχυσης από μερικούς μόνο εγχυτήρες κάθε κυλίνδρου.

Τέλος, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χώρου στο μηχανοστάσιο, καθώς τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζεται το σύστημα κοινού διανομέα είναι λιγότερα και μικρότερα από τα αντίστοιχα στοιχεία του μηχανικού συστήματος έγχυσης.



Εικόνα 34 system architecture of common rail system

7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΟΙΝΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΤΥΠΟΥ SULZER RT-FLEX

7.1 Περιγραφή λειτουργίας συστήματος ψεκασμού καυσίμου τύπου κοινής σωλήνωσης Sulzer.

Η ανάγκη για την μείωση των εκπομπών αερίων, την μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και για ακόμα χαμηλότερα επίπεδα θορύβου, πιέζουν τους κατασκευαστές των θαλάσσιων μηχανών ντίζελ για την βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης. Για να επιτύχει ο κινητήρας αυτά τα επίπεδα της λειτουργίας, τα καύσιμα πρέπει να ψεκαστούν με υψηλή πίεση στο θάλαμο καύσης και η διασπορά να είναι τόσο λεπτή ώστε η ανάφλεξη να επιτευχθεί κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ταυτόχρονα, τα καύσιμα πρέπει να έχουν μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια, η καμπύλη εκκένωσης καύσης πρέπει να έχει ένα συγκεκριμένο σχήμα και η προέγχυση και οι επαναλήψεις του ψεκασμού, στο μέτρο του δυνατού, να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Το μόνο σύστημα έγχυσης που μπορεί να αντιμετωπίσει αυτές τις δυσκολίες είναι το Common Rail [26].

Η ηλεκτρονικά ελεγχόμενη έγχυση πετρελαίου εξελίσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Αν και δεν είναι εντελώς νέα ιδέα, μόνο μετά το 2000 έχει γίνει πραγματοποιήσιμη, με τη χρήση του ολοκληρωμένου ηλεκτρονικού ελέγχου μέσω επεξεργαστή που επιτρέπει την καλύτερη δυνατή χρήση ώστε το σύστημα να έχει ευελιξία με τον τρόπο ψεκασμού κοινού διανομέα.

Ο παραδοσιακός εκκεντροφόρος έχει ένα σημαντικό περιορισμό των σταθερών χρονισμών όπου δίνεται μηχανικά από τα έγκεντρα. Το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα κοινής γραμμής, έχει υιοθετηθεί στις νέες μηχανές Sulzer RT-Flex για να δίνει τον πλήρη έλεγχο του χρονισμού. Το ποσοστό, η πίεση

ψεκασμού καυσίμου και η λειτουργία των βαλβίδων εξαγωγής, επιτρέπουν συνθήκες λειτουργίας που δεν μπορούν να επιτευχθούν με καθαρά μηχανικά συστήματα [16].



Εικόνα 35 μηχανή Wartsila RT-Flex [21]

Η έννοια της κοινής σωλήνωσης (Common Rail) υιοθετήθηκε επίσης, επειδή έχει το πλεονέκτημα ότι οι λειτουργίες της άντλησης και ο έλεγχος της έγχυσης είναι ξεχωριστές. Αυτό επιτρέπει μια απλή προσέγγιση για τις μηχανικές και τις υδραυλικές πτυχές του σχεδιασμού, με μια σταθερή γενιά του εφοδιασμού με πετρέλαιο καυσίμων στην επιθυμητή πίεση έτοιμη για έγχυση.

Επίσης, αυτό το σύστημα έχει το μοναδικό πλεονέκτημα που επιτρέπει τις βαλβίδες έγχυσης καυσίμου να είναι αυτόνομες. Συνήθως, υπάρχουν τρεις βαλβίδες έγχυσης καυσίμου σε κάθε καπάκι κυλίνδρου, και στις μηχανές Sulzer RT-Flex λειτουργούν ως επί το πλείστον από κοινού, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες λειτουργούν ξεχωριστά για την βέλτιστη απόδοση καύσης.

Κατά συνέπεια, η έννοια της κοινής γραμμής παρέχει την ιδανική βάση για την εφαρμογή ενός πλήρως ολοκληρωμένου ηλεκτρονικού ελέγχου. Οι συνδυασμένες ευελιξίες του Common Rail και του ηλεκτρονικού ελέγχου παρέχουν βελτιωμένη λειτουργία χαμηλής ταχύτητας, επιτάχυνσης του κινητήρα, ισοροπία μεταξύ κυλίνδρων, έλεγχο φορτίου και μεγαλύτερους χρόνους μεταξύ των επισκευών. Ταυτόχρονα, εξασφαλίζουν καλύτερη καύση σε όλες τις ταχύτητες λειτουργίας και σε όλα τα φορτία, δίνοντας οφέλη στη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, στην μείωση των εκπομπών καυσαερίων.

Είναι περισσότερα από δέκα χρόνια από την ανάπτυξη του συστήματος common rail Sulzer RT-Flex και περισσότερα από είκοσι χρόνια από τις πρώτες δοκιμές που έγιναν με την ηλεκτρονικά ελεγχόμενη έγχυση καυσίμου.

Το Common Rail θεωρήθηκε ως ο δρόμος προς το μέλλον και εφαρμόζεται στις μηχανές Sulzer RT-Flex. Οι Sulzer RT-Flex μηχανές διαφέρουν κατά συνέπεια κυρίως από άλλες ηλεκτρονικά ελεγχόμενες χαμηλής ταχύτητας μηχανές diesel. Σήμερα οι μηχανές Sulzer RT-Flex είναι μοναδικές και συνδυάζουν οφέλη του ηλεκτρονικού ελέγχου και του συστήματος common rail.

Οι μηχανές Sulzer RT-Flex είναι ουσιαστικά τυπικές Sulzer RTA χαμηλής ταχύτητας δίχρονοι κινητήρες εκτός από το ότι, αντί για συνηθισμένο εκκεντροφόρο, την κίνηση των γραναζιών, τις αντλίες της έγχυσης καυσίμου, τον ενεργοποιητή της βαλβίδας εξαγωγής, τους σερβοκινητήρες αναπόδοσης και όλα τα εργαλεία τους που σχετίζονται με τον μηχανικό έλεγχο, είναι εξοπλισμένες με σύστημα έγχυσης καυσίμου common rail, σύστημα ώθησης της βαλβίδας εξαγωγής και πλήρη ηλεκτρονικό έλεγχο των λειτουργιών της μηχανής.

Οι μηχανές RT-Flex είναι εφοδιασμένες με σύστημα common rail για:

- Θερμαινόμενο πετρέλαιο καύσιμο σε πιέσεις έως 1000bar
- Πετρέλαιο για σέρβο σε πίεση έως του ορίου των 200bar
- Έλεγχο του πετρελαίου σε σταθερή πίεση 200bar
- Σύστημα αέρα εκκίνησης μηχανής

7.2 Μηχανικά μέρη της RT-Flex

7.2.1 Αισθητήρας γωνίας στροφάλου (CA)

Ο αισθητήρας γωνίας στροφάλου είναι τοποθετημένος στο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα από αντίθετη πλευρά του σφονδύλου. Το σήμα του αισθητήρα γωνίας στροφάλου είναι απολύτως αναγκαίο για την λειτουργία της μηχανής.

Τουλάχιστον ένας από τους αισθητήρες πρέπει να λειτουργεί. Εάν ένας από αυτούς πάθει κάποια βλάβη, τότε η βλάβη ανιχνεύεται από την WECS-9520 (wartsila engine control system) και η λειτουργία συνεχίζεται με υγιές σήμα.



Εικόνα 36 αισθητήρας γωνίας στροφάλου

Οι αισθητήρες χωρίζονται από το στροφαλοφόρο άξονα με ειδική συνδεσμολογία. Οι αισθητήρες δημιουργούν ακριβές ψηφιακό σήμα της ακριβούς θέσης του στροφαλοφόρου άξονα σε μοίρες (0...360). Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχουν ανάλυση με ακρίβεια των 0.1 μοιρών.

Τα ελατήρια σύνδεσης των αισθητήρων γωνίας στροφάλου απορροφούν τις διαμήκης και ακτινικές κινήσεις του στροφαλοφόρου άξονα. Μέσω αυτής της σύνδεσης περιστρέφεται ένας αξονίσκος ο οποίος εδράζεται με δυο ρουλεμάν τα οποία λιπαίνονται με το μηχανέλαιο. Από αυτόν τον αξονίσκο μέσω οδοντωτού μίαντα περιστρέφεται κάθε αισθητήρας και με αυτόν τον τρόπο καταγράφεται η γωνία στροφάλου για κάθε λειτουργία της μηχανής. Έτσι, μεταδίδεται η εντολή στις ηλεκτρονικές πλακέτες. Το ψηφιακό σήμα των αισθητήρων γωνίας στροφάλου μεταδίδεται μέσω καλωδίου στο WECS.



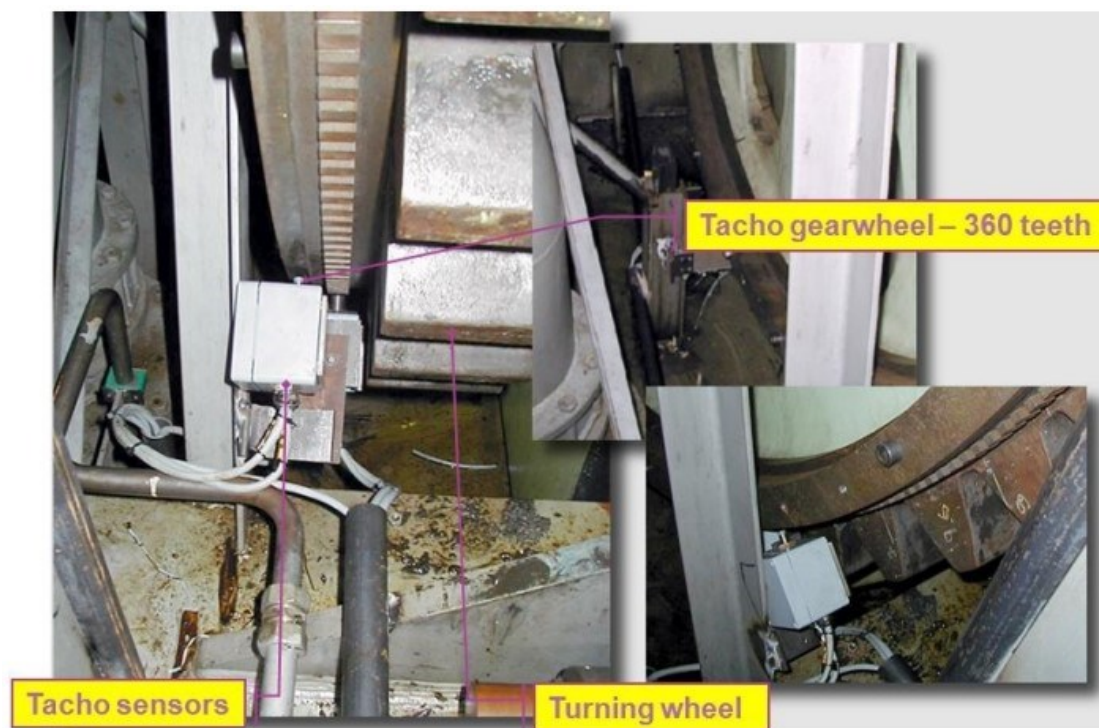
Εικόνα 37 ο αισθητήρας γωνίας στροφάλου με το στήριγμά του και το καλώδιο μετάδοσης ψηφιακού σήματος.

7.2.2 Tachometer



Εικόνα 38 αισθητήρας μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής του στροφαλοφόρου

άξονα



Εικόνα 39 θέση τοποθέτησης του Tachometer

Το Tachometer τοποθετείται τοπικά στα πλάγια της μηχανής στα δεξιά του Βολάν. Είναι ένα κουτί με τέσσερα ματάκια 2 πάνω και 2 κάτω. Η απόσταση είναι standar και το διακενό από τους παλμοδότες στροφών pick-up και οδοντώσεως του Βολάν 1,5 μέχρι 2 mm. Παίρνει σαν σημείο 0 που είναι πάνω από το Βολάν και μετά σε συνδυασμό με τη ταχύτητα περιστροφής του άξονα και το crank angle η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (WECS) θα καταγράψει τα δύο σήματα, συγκρίνει την ταχύτητα περιστροφής από το tachometer και τη γωνία στροφάλου από το crank angle και ανάλογα με τα φορτία δίνει εντολή στα actuator governon για την αυξομείωση πετρελαίου στις αντλίες ώστε να διατηρηθεί σταθερή η πίεση του πετρελαίου στον κοινό συλλέκτη για κάθε φορτίο και αντίστοιχη εντολή στις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες των injection control unit (ICU).

7.2.3 Συστήματα διαύλου WECS-9500/FCM-20 Module Bus

Η ηλεκτρονική μονάδα FCM-20 Module bus έχει εισόδους τα ψηφιακά σήματα των αισθητήρων γωνίας στροφάλου και εξόδους εντολές για την κάθε λειτουργία συστημάτων της μηχανής.

Στο πάνω μέρος αριστερά της μονάδας FCM-20 βρίσκονται τα βύσματα διασύνδεσης των ηλεκτρονικών παλμών σημάτων εντολών κατά το υψηλό φορτίο της μηχανής.

Στο κάτω μέρος δεξιά της μονάδας FCM-20 βρίσκονται τα βύσματα διασύνδεσης των ηλεκτρονικών παλμών σημάτων εντολών κατά το χαμηλό φορτίο της μηχανής.

Επίσης, υπάρχουν και λυχνίες ένδειξης εισόδου και εξόδου εντολών. Σε περίπτωση ανωμαλίας ή μικρού ρεύματος το χρώμα στις λυχνίες αλλάζει και έτσι ο κώδικας του συστήματος της μονάδας FCM-20 μας πληροφορεί με λεπτομέρεια για τυχόν ανωμαλία που προέκυψε.



Εικόνα 40 Wartsila engine control system (WECS-9500)



Εικόνα 41 FCM-20 Module Bus

7.2.4 Μονάδα τροφοδοσίας

Καύσιμο και λάδι για σέρβο παρέχονται για το σύστημα common rail από την μονάδα τροφοδοσίας που οδηγείται μέσω οδοντωτών τροχών από το στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής.

Σε μερικούς από τους πρώτους κινητήρες RT-Flex, η μονάδα τροφοδοσίας βρίσκεται στην πλευρά της εξαγωγής καυσαερίων της μηχανής, έτσι ώστε να

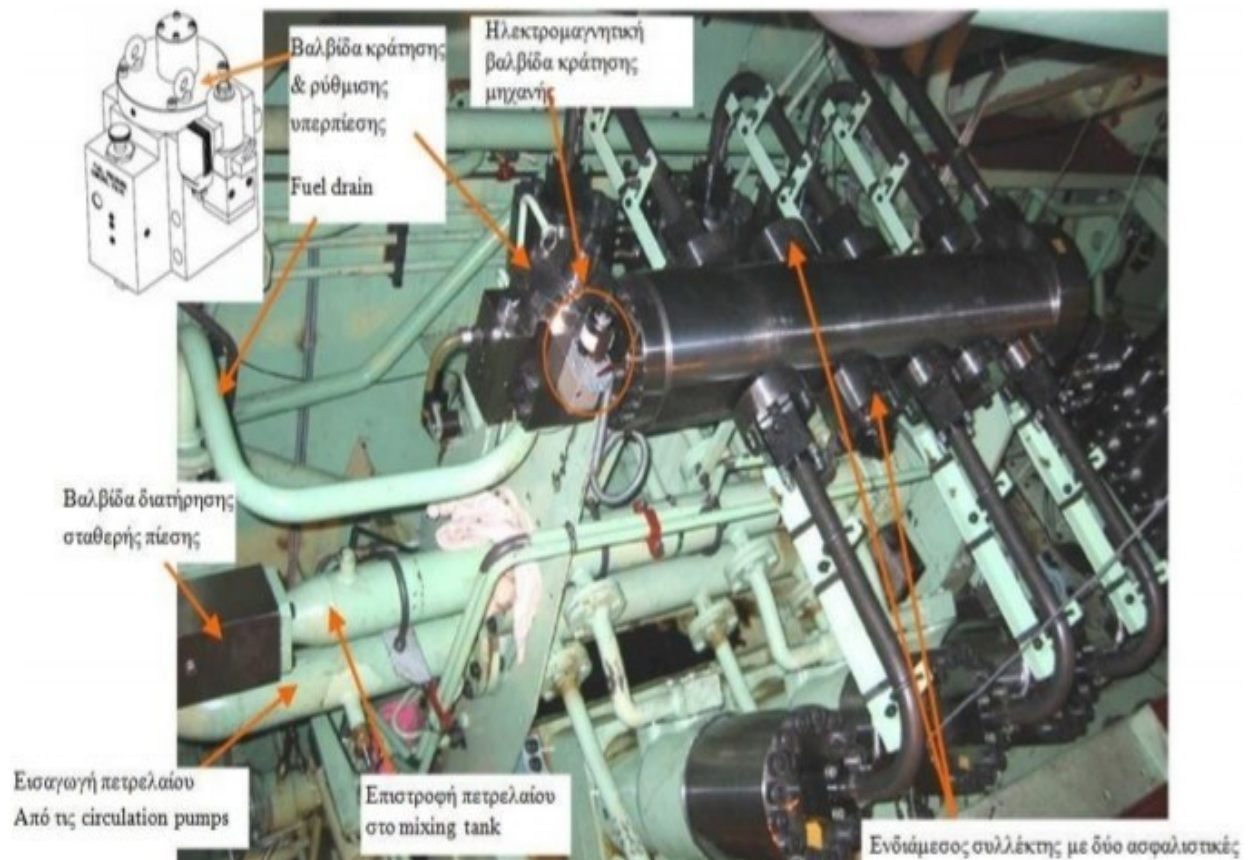
μπορεί να χαμηλωθεί περισσότερο, χωρίς να παρεμβαίνει στις θύρες πρόσβασης του στροφαλοθαλάμου. Ωστόσο, για όλες τις επακόλουθες μηχανές, η θέση της μονάδας παροχής έκτοτε έχει τοποθετηθεί στο μπροστινό μέρος της μηχανής και περίπου στα μέσα του ύψους. Αυτό κρατά το μέγεθος της μηχανής μικρό, με αποτέλεσμα οι μηχανές να μπορούν να βρίσκονται πολύ πίσω στα πλοία με στενό κατασκευαστικά τελείωμα του σκάφους (γάστρα).

Η μονάδα τροφοδοσίας είναι φυσικά στη θέση του γραναζιού κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, στο τέλος της μηχανής για πέντε μέχρι επτά-κύλινδρες μηχανές, ενώ και στα μέσα του γραναζιού κίνησης για μεγαλύτερους αριθμούς κυλίνδρων. Για μεγέθη RT-Flex I και IV, η μονάδα τροφοδοσίας είναι εξοπλισμένη με τέσσερις έως οκτώ αντλίες εφοδιασμού καυσίμου διατεταγμένα σε Vee μορφή. Το μέγεθος της 0 μονάδας τροφοδοσίας, ωστόσο, έχει μόνο δύο ή τρεις αντλίες εφοδιασμού σε γραμμή.

Δύο είδη των αντλιών καυσίμων χρησιμοποιούνται για όλους τους κινητήρες RT-Flex, με βάση των καλά αποδεδειγμένων αντλιών εγχύσεων που χρησιμοποιούνται σε τύπου Z Sulzer μέσης ταχύτητας τετράχρονης μηχανές αν και με ορισμένες προσαρμογές ανάλογα με τη λειτουργία τους ως αντλίες τροφοδοσίας και για να αυξήσει την ογκομετρική τους αποδοτικότητα μέχρι έναν πολύ υψηλό βαθμό. Για μεγέθη 0 και I, τα στοιχεία της αντλίας καυσίμου βασίζονται σε στοιχεία αντλιών έγχυσης μηχανών Sulzer ZA40S, ενώ οι αντλίες μεγέθους IV βασίζονται σε στοιχεία αντλιών έγχυσης μηχανής τύπου Sulzer ZA50S.

Να σημειωθεί πως ο όγκος παράδοσης καυσίμου και η πίεση Rail ρυθμίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μηχανής μέσω ελέγχου αναρρόφησης με ελεγχόμενη έλικα πλήρωσης κανονισμού όγκου των αντλιών παροχής καυσίμων. Ο έλεγχος αναρρόφησης επιλέχθηκε για την χαμηλή ισχύος κατανάλωση, όπως η βενζίνη που δεν είναι υπό πίεση.

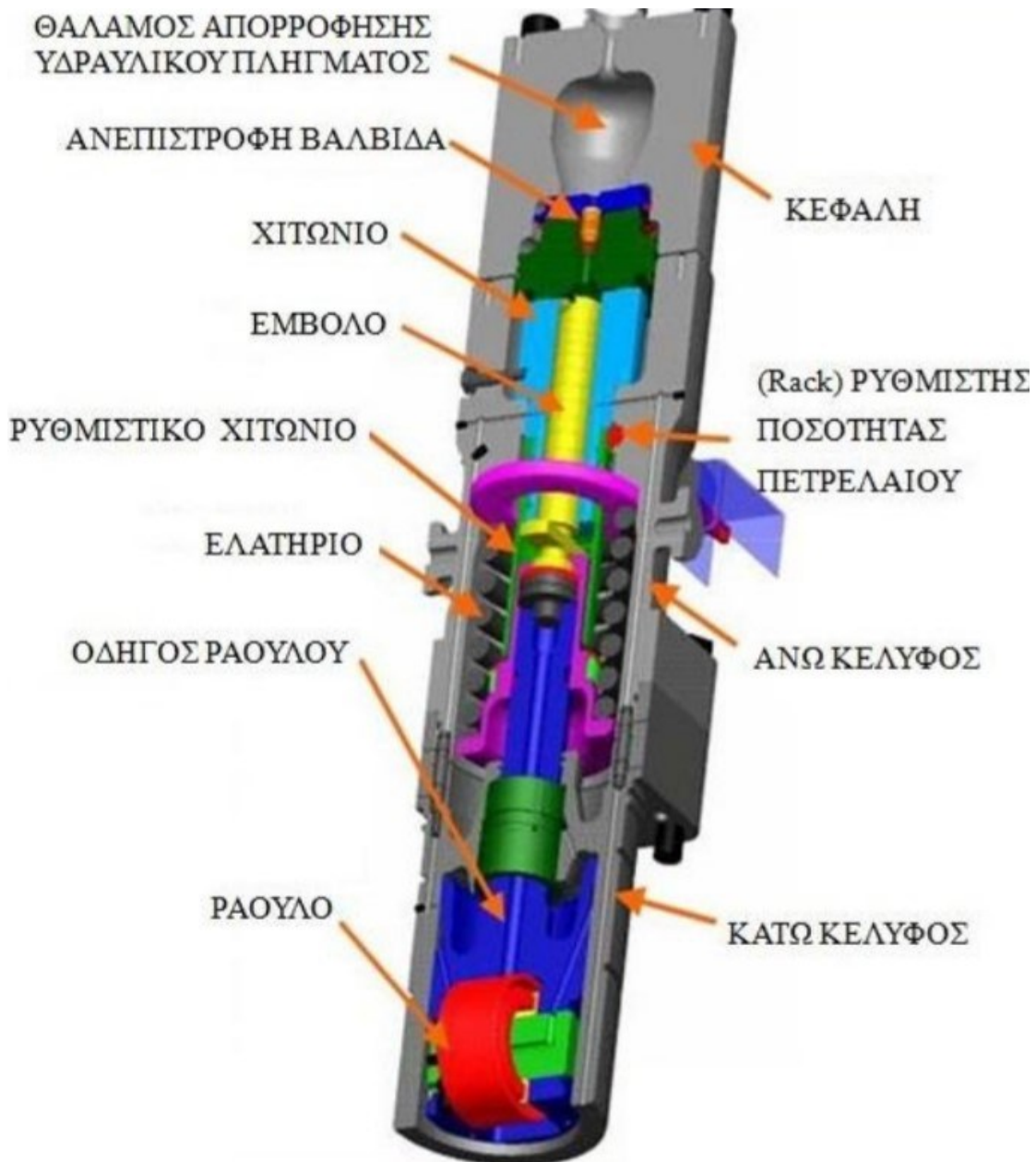
Παρακάτω φαίνονται οι αντλίες υψηλής πίεσεως πετρελαίου κύρια μηχανής. Η παροχή πετρελαίου πραγματοποιείται μέσω αυτών προς τον ενδιάμεσο συλλέκτη που φαίνεται στην εικόνα. Πάνω σε αυτόν με ειδική κατάλληλη σύνδεση ακολουθούν δύο σωληνώσεις υψηλής πίεσεως για την παροχή πετρελαίου στον κύριο αγωγό (common rail).



Εικόνα 42 κεντρική μονάδα τροφοδοσίας πετρελαίου και ελαίου (supply unit)

7.2.5 Αντλίες πετρελαίου

Σκοπός των εμβολοφόρων αυτών αντλιών μεταβλητής παροχής πετρελαίου, όπου παρέχουν πετρέλαιο μέσω του συλλέκτη στο common rail, είναι να διατηρούν μια σταθερή πίεση μεταξύ των 650-1000 bar. Η πίεση των 1000 bar προκύπτει κατά το υψηλό φορτίο της μηχανής όπου αντιστοιχεί σε τρεις καυστήρες για κάθε κύλινδρο, ενώ των 650 bar προκύπτει κατά το χαμηλό φορτίο της μηχανής με δυο καυστήρες σε λειτουργία για κάθε κύλινδρο.



Εικόνα 43 αντλία πετρελαίου υψηλής πίεσης (μέρος της μονάδας τροφοδοσίας)

Το ράουλο και ο οδηγός της αντλίας λιπαίνονται με το μηχανέλαιο μέσω διπλού (orifice). Η μεταβολή της ποσότητας πετρελαίου πραγματοποιείται μέσω ενός κανόνα (rack) που περιστρέφει το προς παλινδρόμηση έμβολο, αλλάζει και η γεωμετρική θέση της ελικοειδούς τομής σχηματιζόμενη πάνω σε αυτό προς την εξαγωγή της αντλίας.

7.2.6 Λάδι servo

Το λάδι των σέρβο χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση και τον έλεγχο της βαλβίδας εξαγωγής. Παρέχεται από τύπου swashplate υδραυλική αντλία, όπου

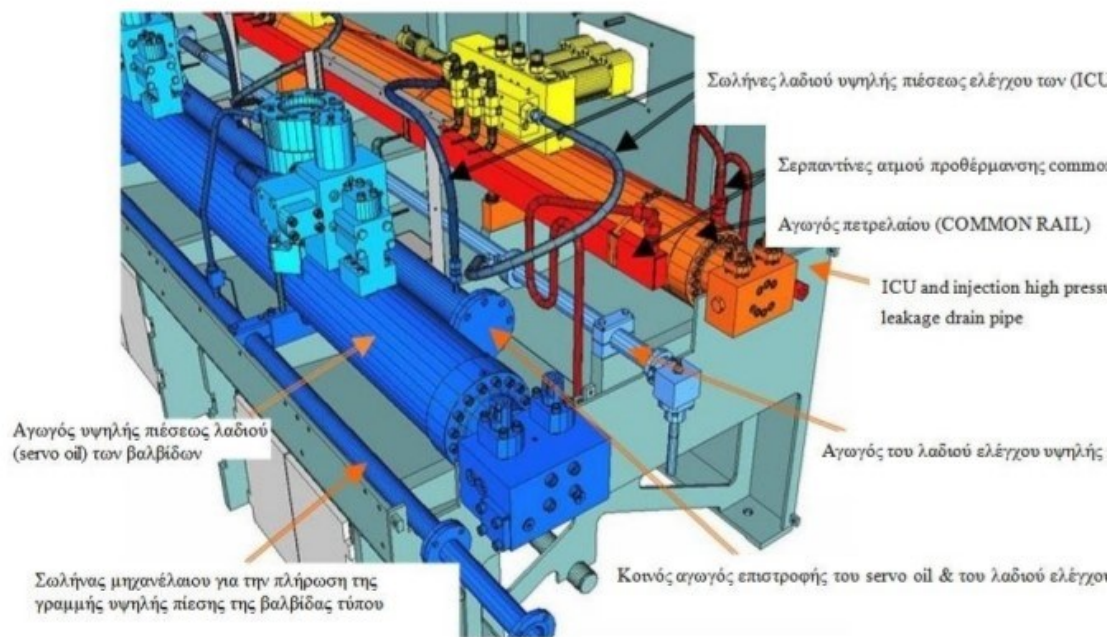
είναι τοποθετημένη στην μονάδα παροχής. Οι αντλίες είναι ενός ιδιαίτερου σχεδιασμού και κινούνται με κατάλληλη ταχύτητα μέσα από ένα κλιμακωτό γρανάζι. Η πίεση της λειτουργίας είναι ελέγξιμη, για να επιτρέψει στην αντλία μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η ονομαστική πίεση λειτουργίας πρέπει να είναι έως 200bar. Ο αριθμός και το μέγεθος των σέρβο αντλιών πετρελαίου στη μονάδα εφοδιασμού, εξαρτάται από την απόδοση της μηχανής ή τον αριθμό των κυλίνδρων της μηχανής. Υπάρχουν μεταξύ τριών και έξι αντλιών πετρελαίου σέρβο.

Το λάδι οδηγείται μέσα από ένα πολύ ψιλό αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο για την ελαχιστοποίηση της φθοράς στις αντλίες σέρβο και να παρατείνει την ζωή των εξαρτημάτων. Μετά το ψιλό φίλτρο, η ροή του πετρελαίου χωρίζεται έτσι ώστε ένα μέρος να παρέχεται στις αντλίες σέρβο και το άλλο στις αντλίες ελέγχου.

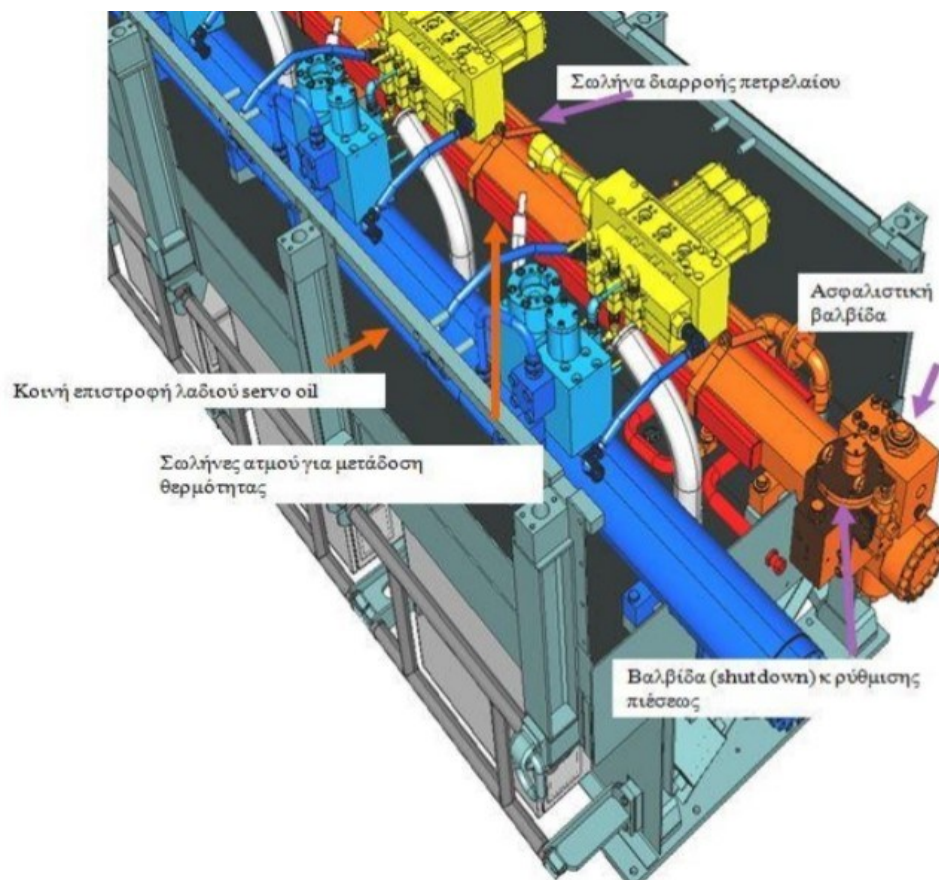
7.2.7 Λάδι ελέγχου

Το λάδι ελέγχου παρέχεται σε μια σταθερή πίεση 200 bar σε όλες τις στροφές λειτουργίας της μηχανής από δύο ηλεκτροκίνητες αντλίες ελαίου, μία ενεργή και μία σε κατάσταση αναμονής. Κάθε αντλία έχει τη δική της βαλβίδα ρύθμισης πίεσης και μια ανακουφιστική βαλβίδα ασφαλείας.

Το σύστημα ελαίου ελέγχου περιλαμβάνει μόνο μια μικρή ποσότητα του καλά φιλτραρισμένου ελαίου. Το λάδι ελέγχου χρησιμεύει ως κινητήριο μέσο για όλες τις βαλβίδες γραμμής των μονάδων ελέγχου έγχυσης (ICU). Η πίεση λειτουργίας του ελαίου ελέγχου, διατηρείται σταθερή για να εξασφαλιστεί ο ακριβής χρονισμός στην μονάδα ελέγχου έγχυσης. Χρησιμοποιείται επίσης στην προλίπανση ελαίου σέρβο γραμμής, κατά την περίοδο ακινησίας της μηχανής, επιτρέποντας έτσι την γρήγορη εκκίνηση της μηχανής.



Εικόνα 44 σωλήνες servo oil και control oil



Εικόνα 45 πλατφόρμα σωλήνων του συστήματος common rail

7.2.8 Μονάδα γραμμής (Rail)

Η μονάδα γραμμής (Rail) βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο της μηχανής, ακριβώς κάτω από το επίπεδο των καπακιών των κυλίνδρων της μηχανής. Επεκτείνεται σε όλο το μήκος της μηχανής και είναι πλήρως κλειστό αλλά διαθέτει καλή πρόσβαση για την συντήρηση και την επισκευή της, τόσο από πάνω όσο και από την μπροστινή πλευρά. Η μονάδα γραμμής περιέχει τους σωλήνες γραμμής και το συνδεδεμένο εξοπλισμό για τα καύσιμα, τα συστήματα του λαδιού σέρβο και του λαδιού ελέγχου.

Για μηχανές με μέγεθος έως και οκτώ κυλίνδρους η μονάδα γραμμής συναρμολογείται σαν μία ενιαία μονάδα. Αν ο αριθμός των κυλίνδρων υπερβαίνει τους οκτώ, η μονάδα Rail κατασκευάζεται σε δυο τμήματα ανάλογα με τη θέση της μονάδας οδοντωτών τροχών (γρανάζια) μέσα στη μηχανή.

Η κοινή γραμμή καυσίμου παρέχει χώρο αποθήκευσης για το καύσιμο και έχει πρόβλεψη για την απόσβεση ωστικών κυμάτων. Ο όγκος του συστήματος common rail και η ποσότητα τροφοδότησης καυσίμων είναι τέτοια, ώστε η πίεση της γραμμής να είναι πολύ σταθερή, με μια ελάχιστη πτώση της πίεσης μετά από κάθε έγχυση.

Το σύστημα κοινής σωλήνωσης έχει σχεδιαστεί με πολύ υψηλά περιθώρια ασφαλείας ως προς την κόπωση του υλικού.το γεγονός ότι, εξ ορισμού, η κοινή γραμμή έχει σχεδόν σταθερά επίπεδα πίεσης, αυξάνει περαιτέρω την ασφάλεια ενάντια στο ράγισμα από κόπωση υψηλού φορτίου λειτουργίας, σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα έγχυσης καθώς και τα συστήματα ώθησης και ενεργοποίησης, με λειτουργία υπό υψηλή πίεση.

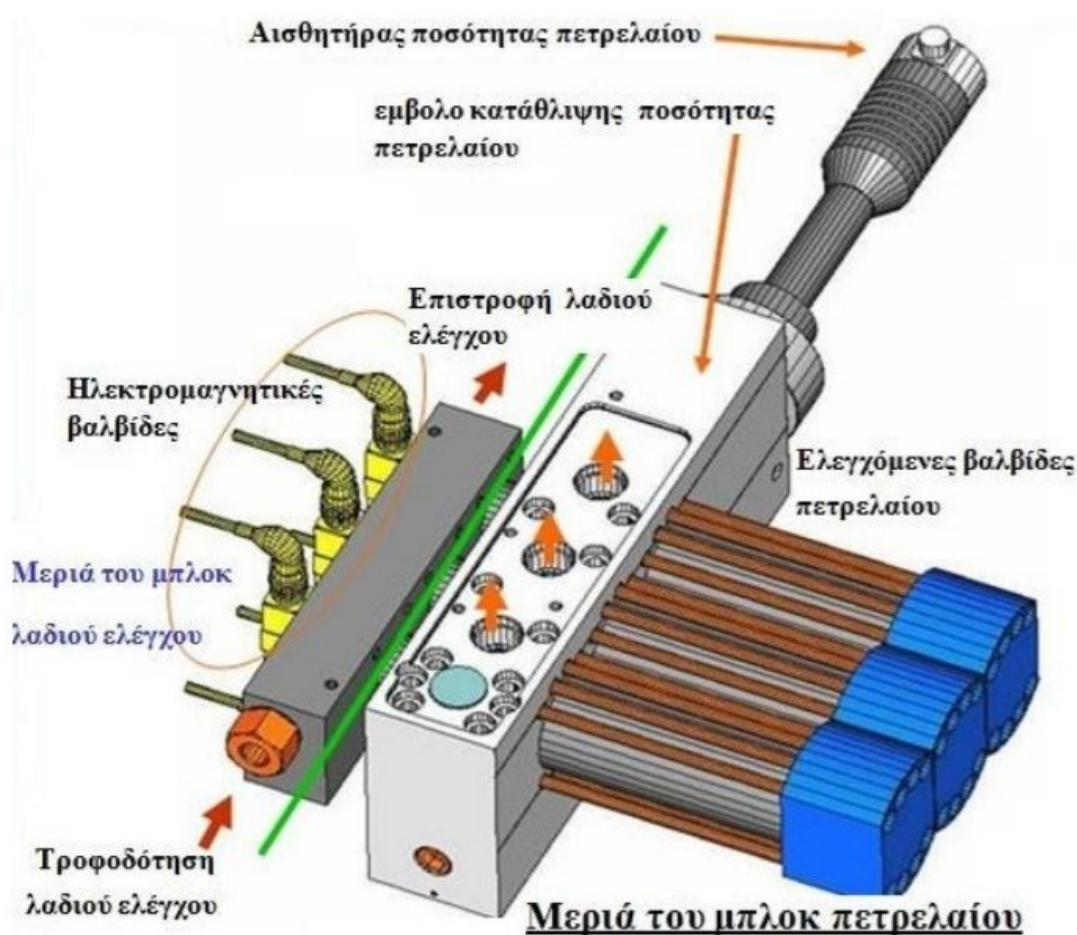
7.2.9 Μονάδα ελέγχου έγχυσης πετρελαίου (INJECTION CONTROL SYSTEM - ICU)

Καύσιμο διοχετεύεται από την κοινή γραμμή στις βαλβίδες έγχυσης μέσω μιας ξεχωριστής μονάδας ελέγχου εγχύσεως (ICU) για τον κάθε κύλινδρο της μηχανής. Η μονάδα ελέγχου έγχυσης ρυθμίζει με ακρίβεια τη χρονική στιγμή της έγχυσης καυσίμου, ελέγχει επακριβώς τον όγκο του καυσίμου της έγχυσης και ορίζει τη μορφή του προτύπου έγχυσης. Η μονάδα ελέγχου έγχυσης έχει μια βαλβίδα ελέγχου έγχυσης και μια ηλεκτρο-υδραυλική βαλβίδα γραμμής Sulzer για κάθε βαλβίδα έγχυσης καυσίμου (καυστήρα). Οι βαλβίδες γραμμής

λαμβάνουν σήματα ελέγχου για την αρχή και το τέλος της έγχυσης από την αντίστοιχη ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος ελέγχου μηχανής (WECS).

Το μπλοκ από την πλευρά λαδιού ελέγχου: οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες παίρνοντας εντολή από τη μονάδα FCM-20 Module Bus επιτρέπουν τη ροή του λαδιού στο αντίστοιχο μπλοκ, ώστε η ροή του λαδιού να επενεργήσει στο άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου πετρελαίου.

Το μπλοκ από την πλευρά πετρελαίου: οι βαλβίδες ελέγχου πετρελαίου κινούνται από τα έμβολα του μπλοκ λαδιού ελέγχου, τα οποία είναι κοινά με τις βαλβίδες ελέγχου πετρελαίου. Για κάθε καυστήρα υπάρχει μια βαλβίδα ελέγχου πετρελαίου.



Εικόνα 46 μονάδα ελέγχου έγχυσης πετρελαίου (ICU)

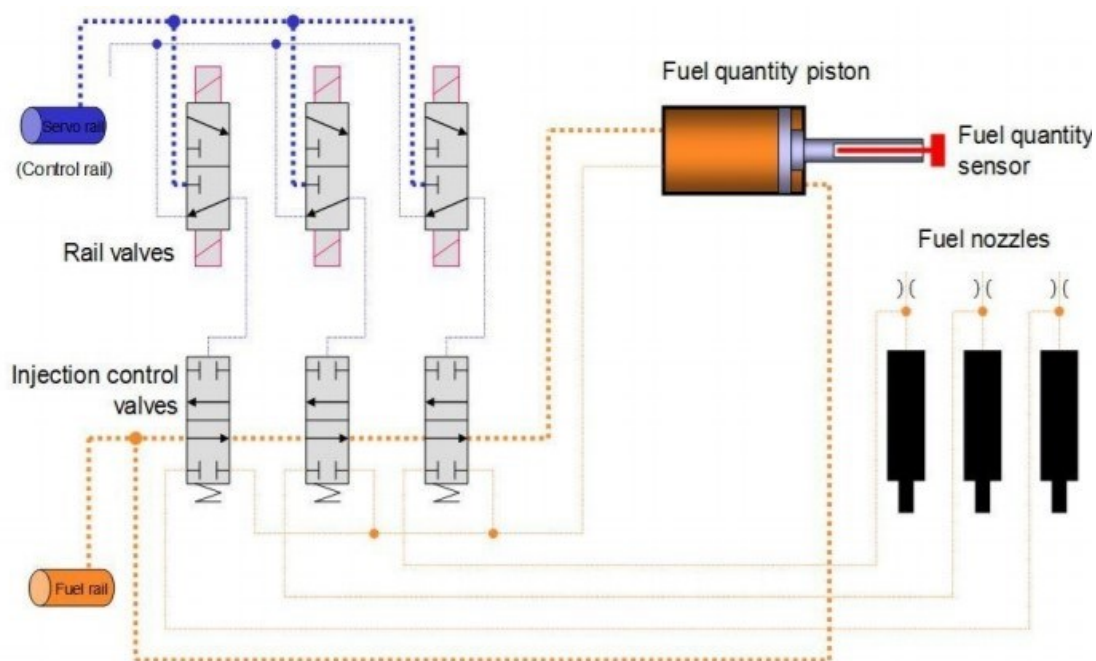
Το κύριο μπλοκ του (ICU) περιλαμβάνει το έμβολο κατάθλιψης ποσότητας πετρελαίου, το οποίο βρίσκεται σε ειδική επαφή με τον αισθητήρα ποσότητας πετρελαίου, ώστε κατά την κίνηση του εμβόλου ο αισθητήρας να καταγράφει την ογκομετρική μάζα του πετρελαίου.

Ο αισθητήρας ποσότητας πετρελαίου βρίσκεται ανέπαφος με το κύριο μπλοκ πετρελαίου μέσω του περιβλήματός της.

Η μεριά του λαδιού ελέγχου με τη μεριά του πετρελαίου διαχωρίζονται απόλυτα. Παρόλα αυτά έχουν κοινό συλλέκτη σε περίπτωση διαρροής και από τα δύο συστήματα.

Το σύστημα common rail είναι σκόπιμα κατασκευασμένο για λειτουργία σε ίδιας ποσότητας βαρέως πετρελαίου, όπως ήδη χρησιμοποιείται για μηχανές Sulzer σειράς RTA. Για το λόγο αυτό το σύστημα RT-Flex ενσωματώνει ορισμένα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που δεν συναντώνται σε άλλες μηχανές common rail που χρησιμοποιούν μεσαία αποστάγματα πετρελαίου ντίζελ. το βασικό σημείο είναι ότι στη μονάδα ελέγχου έγχυσης, το θερμαινόμενο πετρέλαιο είναι απομονωμένο από τις βαλβίδες ακριβείας της γραμμής.

Οι βαλβίδες γραμμής της Sulzer είναι διπλής σταθερότητας ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες με χρόνο ενεργοποίησης εξαιρετικά μικρό. Για να επιτύχει τη μεγαλύτερη δυνατή διάρκεια ζωής, οι βαλβίδες rail δεν ενεργοποιούνται για περισσότερο από 4ms. Αυτός ο χρόνος δειγματομετρείται, παρακολουθείται και περιορίζεται από την αντίστοιχη ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος ελέγχου μηχανής (WECS). Οι βαλβίδες διπλής σταθερότητας επιτρέπουν η θέση και η κατάσταση να ελέγχονται με αξιόπιστο τρόπο.



Εικόνα 47 διαγραμματική απεικόνιση του ελέγχου και της λειτουργίας της ICU.

Ουσιαστικά κάθε μονάδα ελέγχεται από 3 ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που όταν αυτές ανοίξουν επιτρέπουν τη ροή του λαδιού ελέγχου στο μπλοκ του λαδιού, έτσι ώστε μέσω της υδραυλικής πίεσης που ασκείται στο έμβολο να ανοίξει η βαλβίδα ελέγχου πετρελαίου, η οποία είναι κοινή μέσω άξονα με το έμβολο. Έτσι κατά το άνοιγμα της βαλβίδας πραγματοποιείται η έγχυση στο καυστήρα.

7.2.10 Βοηθητική αντλία λαδιού

Σκοπός της αντλίας λαδιού είναι πριν την έναρξη εκκίνησης της μηχανής, ώστε να είναι συνέχεια γεμάτο το δίκτυο του servo rail oil και να υπάρχει γρήγορη άνοδο της πίεσης. Στα πλοία με μικρής ιπποδύναμης μηχανή ο servo oil rail (αγωγός) είναι κοινός για το άνοιγμα των βαλβίδων και για τη λειτουργία των ICU. Σε πλοία όμως με μεγάλη ιπποδύναμη απαιτείται επιπλέον αντλία η λεγόμενη control oil pump, η οποία εργάζεται αποκλειστικά για την πλήρωση και την αύξηση πίεσης του αγωγού λαδιού ελέγχου για την λειτουργία των ICU. Και στις δυο περιπτώσεις οι αντλίες είναι μέρος της εγκατάστασης δικτύου λαδιού λιπάνσεως κύριας μηχανής, χρησιμοποιούν δηλαδή το μηχανέλαιο για τις λειτουργίες αυτές.



Εικόνα 48 βοηθητική αντλία servo oil

7.3 Πιέσεις λειτουργίας

Η κανονική πίεση λειτουργίας για την γραμμή των καυσίμων κυμαίνεται γύρω στα 1000 bar, και αυτό για καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ της ειδικής κατανάλωσης καυσίμων και τις εκπομπές NOx σύμφωνα με το αντίστοιχο φορτίο της μηχανής και για να κρατήσει την παρασιτική ενεργειακή ζήτηση

χαμηλή. Ύστερα από χρόνια δοκιμών διαπιστώθηκε πως σε συνθήκες σταθερού φορτίου, η επιρροή της πίεσης ψεκασμού καυσίμου στην συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου στις αργόστροφες μηχανές μειώνεται με την αυξανόμενη πίεση έγχυσης. Έτσι, οι υψηλότερες πιέσεις έγχυσης καυσίμων δεν έχουν κανένα πραγματικό όφελος. Αν μία αύξηση καταστεί αναγκαία στο μέλλον, σε συνδυασμό με άλλα μέτρα μείωσης των εκπομπών NO_x, το RT-Flex θα μπορέσει να την αντιμετωπίσει.

7.4 Ηλεκτρονικός έλεγχος

Όλες οι λειτουργίες στο σύστημα Sulzer RT-Flex είναι ελεγχόμενες και παρακολουθούνται μέσω του συστήματος ελέγχου μηχανής Wartsila (WECS). Αυτό είναι ένα αρθρωτό σύστημα ηλεκτρονικών με ξεχωριστούς μικροεπεξεργαστές ελέγχου μονάδων για κάθε κύλινδρο και συνολικό έλεγχο και εποπτεία από διπλό μικροεπεξεργαστή μονάδων ελέγχου. Τα τελευταία θα παρέχουν το συνηθισμένο διαχωρισμό για το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και τα συστήματα τηλεχειρισμού ελέγχου και προειδοποίησης συναγερμού. Οι μονάδες ελέγχου μικροεπεξεργαστή ή μονάδες ηλεκτρονικού ελέγχου, τοποθετούνται απευθείας στην μηχανή, είτε στο μπροστινό μέρος της μονάδας γραμμής ή δίπλα σε αυτή. Αρχικά οι μηχανές RT-Flex διέθεταν το σύστημα ελέγχου WECS-9500. Ωστόσο, αυτό αντικαταστάθηκε το 2005 από το σύστημα ελέγχου WECS-9200. Το νέο αυτό σύστημα, παρέχει απλούστερη επικοινωνία με το σύστημα αυτοματισμού του πλοίου και ευκολότερη καλωδίωση για τον κατασκευαστή. Μόνο μια ηλεκτρονική μονάδα χρησιμοποιείται σε όλο το νέο σύστημα και υπάρχουν επίσης λιγότερα κουτιά εξοπλισμού που είναι επίσης απλού, τυπικού σχεδιασμού. Σε λειτουργικότητα, πάντως, και τα δυο συστήματα ελέγχου είναι ίδια. Η λειτουργία του συστήματος ασφαλείας στις μηχανές RT-Flex είναι η ίδια όπως και στις συμβατικές μηχανές RTA, εκτός από το ότι αυτό έχει επιπλέον εισόδους για μείωση στροφών της WECS καθώς επίσης και για κλείσιμο στροφών της WECS, όπως και για ορισμένους εξόδους στο ίδιο σύστημα.

7.5 Αξιοπιστία στο σύστημα RT-Flex.

Μία βασική προτεραιότητα στο σύστημα RT-Flex είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια της κοινής γραμμής (common rail) επιτρέπει την αξιοπιστία και την ασφάλεια μέσω του εγγενούς πλεονάσματος.

Οι σωλήνες παροχής υψηλής πίεσης καυσίμου και λαδιού σέρβο, τα βασικά μέρη των ηλεκτρονικών συστημάτων και οι ηλεκτρικά ελεγχόμενες αντλίες πετρελαίου τοποθετούνται διπλά για κατάσταση ανάγκης. Οι διπλές υψηλής πίεσης σωλήνες κατάθλιψης έχουν βαλβίδες αποκοπής στα δύο άκρα για να απομονώνεται κάθε ελαττωματική σωλήνα. Όλες οι σωλήνες υψηλής πίεσης είναι διπλού τοιχώματος για ασφάλεια.

Με το σύστημα RT-Flex , στο οποίο όλες οι αντλίες παροχής υψηλής πίεσης είναι ομαδοποιημένες και παρέχουν από κοινού σε όλους τους κυλίνδρους, η τυχόν απώλεια οποιασδήποτε αντλίας έχει πολύ λιγότερη επίδραση από μια οποιαδήποτε παραδοσιακή εγκατάσταση έγχυσης. Πράγματι στις μεγαλύτερες RT-Flex μηχανές έχοντας αρκετές αντλίες καυσίμου και αρκετές αντλίες σέρβο, μπορεί να υπάρξει επάρκεια σε εφεδρεία για την μηχανή ώστε να λειτουργεί σε πλήρη ισχύ, με τουλάχιστον μια αντλία καυσίμου και μια αντλία λαδιού σέρβο εκτός λειτουργίας. Σε περίπτωση ανωμαλίας, όπως μια δυσλειτουργία εγχυτήρα, ο επηρεασμένος εγχυτήρας μπορεί να περιοριστεί ανεξάρτητα χωρίς να χαθεί ολόκληρος ο κύλινδρος και αυτό γιατί κάθε προστόμιο έγχυσης παρακολουθείται ανεξάρτητα και ελέγχεται από το WECS.

Επίσης, η μονάδα ελέγχου εγχύσεων (ICU) αποκλείει υδραυλικά την έγχυση μιας ανεξέλεγκτης ποσότητας καυσίμου. Η μέγιστη ποσότητα έγχυσης περιορίζεται στο περιεχόμενο του κυλίνδρου καταμέτρησης, καθώς το έμβολο μέτρησης παρακολουθείται. Αν η διαδρομή του εμβόλου μέτρησης, μετρηθεί και βρεθεί εκτός ορίων, η απακόλουθη έγχυση της μονάδας ελέγχου εγχύσεων θα είναι συμπιεσμένη και θα ενεργοποιηθεί μια μείωση των στροφών της μηχανής.

Το σύστημα ελέγχου έγχυσης (ICU) χρησιμεύει, επιπλέον, ως μια αντίσταση ροής. Αν το έμβολο της μέτρησης φτάσει στο φυσικό του όριο, αυτό δεν μπορεί να επιστρέψει υδραυλικά και καμία περαιτέρω έγχυση δεν θα ήταν δυνατή έως ότου επαναρυθμιστεί. Εν κατακλείδι, ο κύριος ελεγκτής του συστήματος του συστήματος ελέγχου μηχανής Wartsila (WECS) και η ουσιαστική επικοινωνία όλων των διασυνδέσεων, είναι διπλές όσο για ασφάλεια όσο και για εφεδρεία. Το σύστημα ελέγχου μηχανής παρακολουθεί τη στιγμιαία θέση της κάθε βαλβίδας γραμμής για τη σωστή λειτουργία του κάθε κύκλου πριν την έναρξη του επομένου.

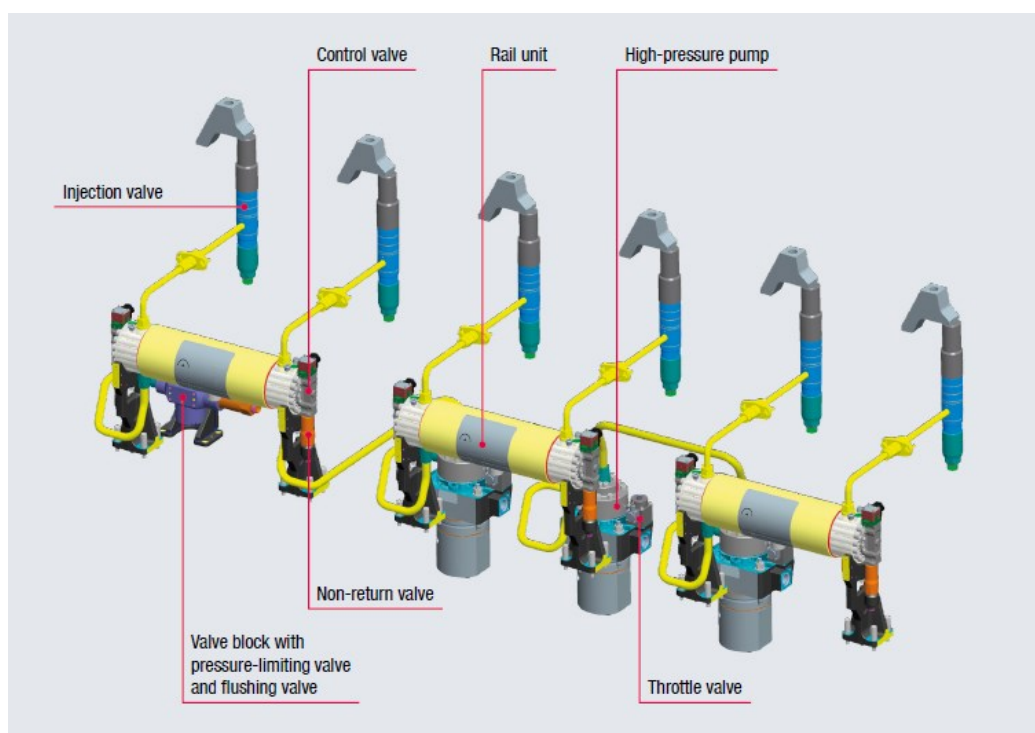
8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ COMMON RAIL ΓΙΑ 4-Χ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ MAN 32/44 CR, 48/60 CR

Η εξέλιξη της Νομοθεσίας Αντιρρύπανσης στα πλοία, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη λειτουργία χαμηλού φορτίου/ χαμηλών στροφών, όπου τα συμβατικά συστήματα έγχυσης δεν έχουν αρκετά περιθώρια βελτιστοποίησης, δεδομένου ότι ο αριθμός στροφών του εκκεντροφόρου ο οποίος ελέγχει τη γραμμή έγχυσης είναι συνδεδεμένος με τον αριθμό στροφών του κινητήρα (ίδιες στροφές για δίχρονους κινητήρες και οι μισές στροφές για τετράχρονους). Για τους παραπάνω λόγους, δεν είναι εφικτή με τα συστήματα αυτά η βελτιστοποίηση της γραμμής καύσης ανεξάρτητα από το φορτίο. Η MAN Diesel & Turbo έχει αναπτύξει για να ξεπεράσει αυτό το εμπόδιο, μία τεχνολογία common rail (CR) που εγκαθιστά στις 4-χρονες μηχανές της μεσαίας τάξης στροφών. Τα συστήματα CR επιτρέπουν συνεχή και ανεξάρτητο του φορτίου έλεγχο του χρονισμού έγχυσης, αλλά και της πίεσης έγχυσης. Αυτό σημαίνει ότι η τεχνολογία common rail επιτυγχάνει, για μία δεδομένη μηχανή, τα πύο υψηλά επίπεδα ευελιξίας για όλη την περιοχή λειτουργίας της μηχανής και αποδίδει σημαντικά ανώτερη απόδοση και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων από οποιοδήποτε συμβατικό σύστημα έγχυσης καυσίμου. Έχει αναπτυχθεί ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό σύστημα common rail (CR) που μπορεί να λειτουργήσει με ευρεία γκάμα ναυτιλιακών καυσίμων και residual fuels (HFO).

8.1 Προδιαγραφές λειτουργίας συστήματος CR της MAN B&W

Το σύστημα common rail της εταιρίας MAN Diesel & Turbo [29] (Εικόνα 61) έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με καύσιμο HFO που υπακούει στις προδιαγραφές DIN ISO 8217 (ιξώδες έως και 700 cSt στους 50°C) και θερμοκρασίες καυσίμου έως και 150°C (όριο προθέρμανσης βαρέος πετρελαίου ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο ιξώδες για την έγχυση). Επιπλέον του υψηλού ιξώδους, το καύσιμο αυτό, που είναι κατάλοιπο του διύλιστηρίου με

πολύ χαμηλή τιμή, έχει σε μορφή αιωρήματος σημαντική ποσότητα σωματιδίων που προκαλούν μηχανική φθορά, αλλά και ιδιαίτερα δραστικά διαβρωτικά συστατικά (abrasive particles - very aggressive chemical components).



Εικόνα 49 Σύστημα Common Rail για 4-x μηχανές MAN 32/44CR

Το σύστημα έγχυσης θα πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει σε αυτές τις συνθήκες με ασφαλή και αξιόπιστο (failsafe) τρόπο, συμπεριλαμβανομένης της εκκίνησης και σβέσης της μηχανής με τροφοδοσία HFO. Η χρήση ενός μόνον κοινού συλλέκτη πίεσης (common rail) που να εκτείνεται σε όλο το μήκος της μηχανής, είναι προβληματική για μηχανές Diesel μεγάλης διαμέτρου εμβόλου (large bore), για τους παρακάτω λόγους:

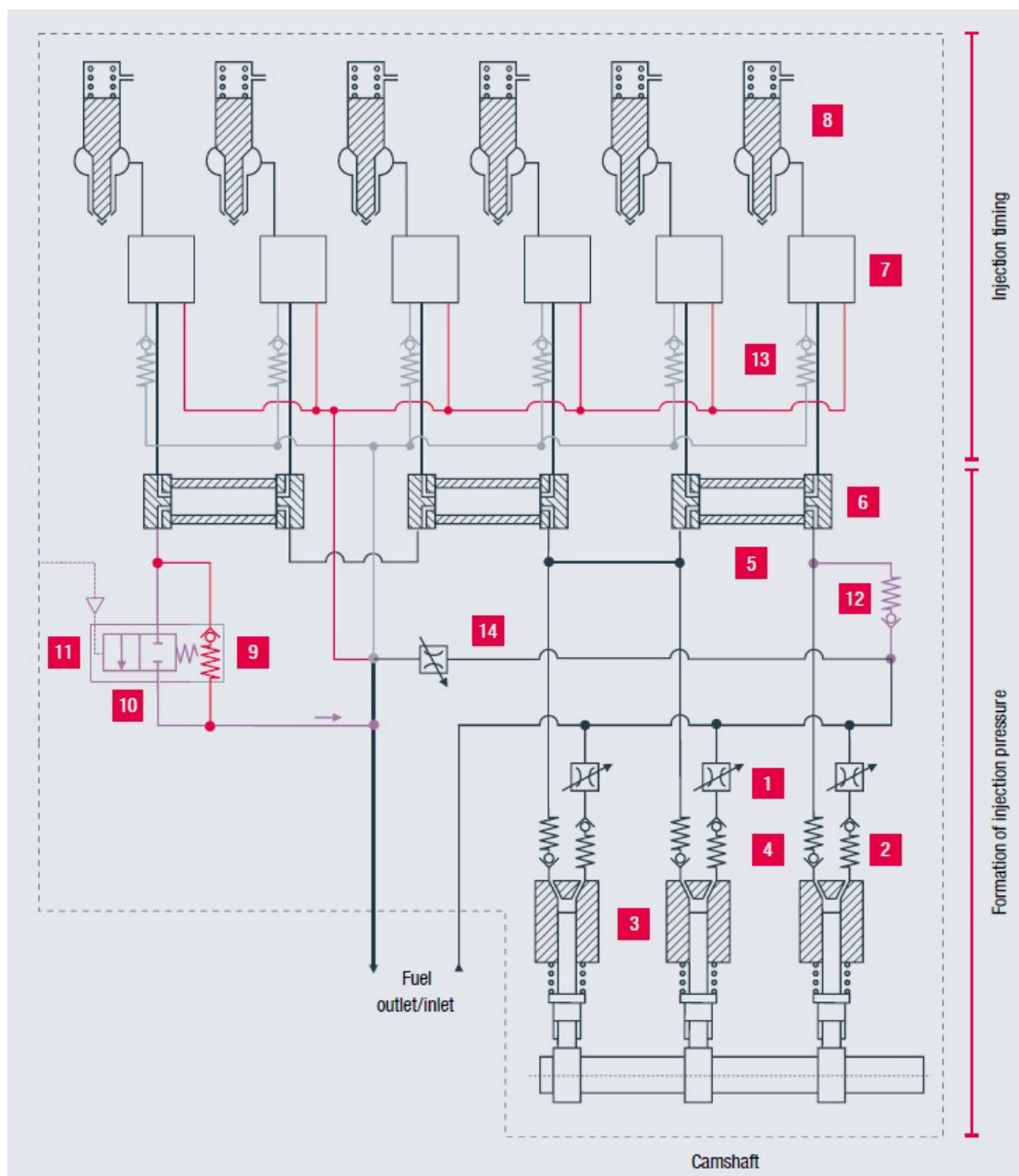
- Η δυνατότητα της μηχανής να κάψει διαφορετικής ποιότητας και σύστασης βαρέα καύσιμα αντανάκλαται στην απαιτούμενη θερμοκρασία προθέρμανσης του καυσίμου (25°C έως και 150°C), και αυτή με τη σειρά της προκαλεί σημαντικές μεταβολές του μήκους του rail λόγω θερμικής διαστολής. Επιπλέον ένα μεγάλου μήκους rail απαιτεί τη διάνοιξη ακτινικά οπών για συγκόλληση μαστών για απομάστευση καυσίμου για κάθε κύλινδρο της μηχανής.
- Αυτές οι οπές στην παράπλευρη επιφάνεια του rail που είναι υπολογισμένο ως δοχείο πίεσεως με πιέσεις της τάξης των 1000 bar, δημιουργεί πολύ υψηλές τάσεις εγχοπών.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται έτσι καθιστούν αναγκαία την ενίσχυση του τοιχώματος, σε βαθμό που αυξάνει μή γραμμικά με τη διάμετρο του κυλινδρικού τοιχώματος στις μεγάλου κυβισμού μηχανές.

Από την άλλη μεριά, εάν επιλεγεί η λύση της μείωσης του καθαρού όγκου αποθήκευσης του rail, δεν είναι εφικτό να επιτυγχάνεται ίδια διακύμανση της πίεσης (και εξέλιξης της ποσότητας έγχυσης) για όλους τους κυλίνδρους, ενώ

μειώνεται η ικανότητα απόσβεσης των ισχυρών ταλαντώσεων πίεσης που είναι αναπόφευκτες λόγω της αλληλεπίδρασης τοιχώματος – ρευστού (fluid-structure interactions). Επιπλέον, θα χρειαζόταν διαφορετικά common rails για μηχανές με διαφορετικούς αριθμούς κυλίνδρων. Η τροφοδοσία ενός pressure accumulator σημαντικού μήκους με μία και μοναδική σύνδεση στο ένα άκρο του με την αντλία υψηλής πίεσης οδηγεί σε αποκλίσεις της γραμμής έγχυσης.

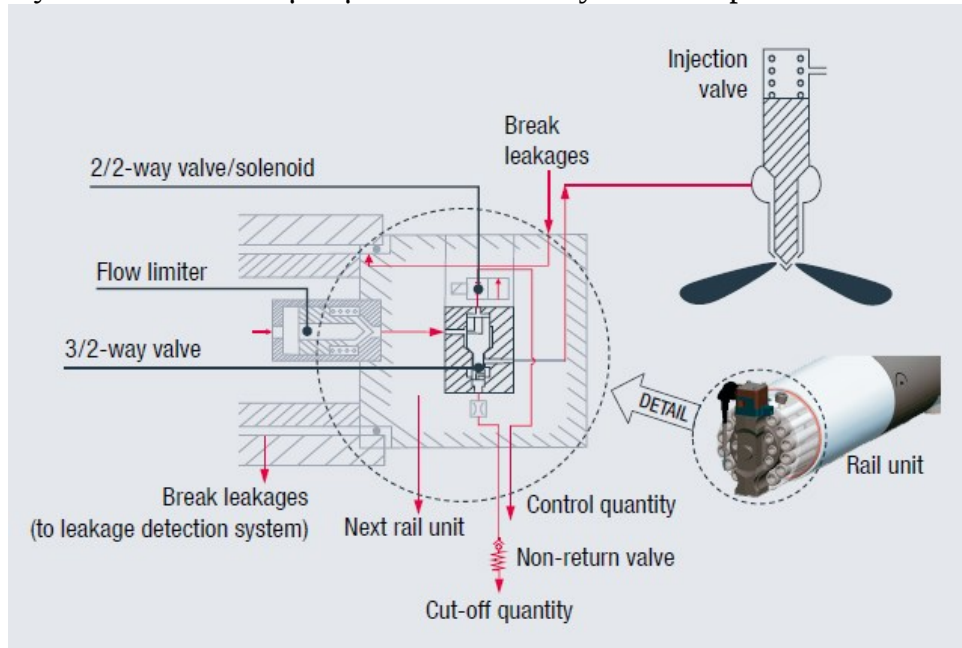
8.2 Περιγραφή συστήματος Common Rail



Εικόνα 50 Σύστημα Common Rail για 4-κ μηχανές MAN 32/44CR

Εξαιτίας των παραπάνω επιλέγεται ως λύση η χρήση περισσότερων του ενός rail units με κατάλληλο όγκο (Εικόνα 50) και την τοποθέτηση τουλάχιστον δύο

αντλιών υψηλής πίεσης για μία 6-κύλινδρη μηχανή. Η διάταξη αυτή έχει ως επιπλέον πλεονέκτημα την αυξημένη ευελιξία στην προσαρμογή του συστήματος CR σε μηχανές με διαφορετικούς αριθμούς κυλίνδρων, με χρήση αξιόπιστων και δοκιμασμένων modular system components.



Εικόνα 51 Βαλβίδα ελέγχου συστήματος Common Rail MAN

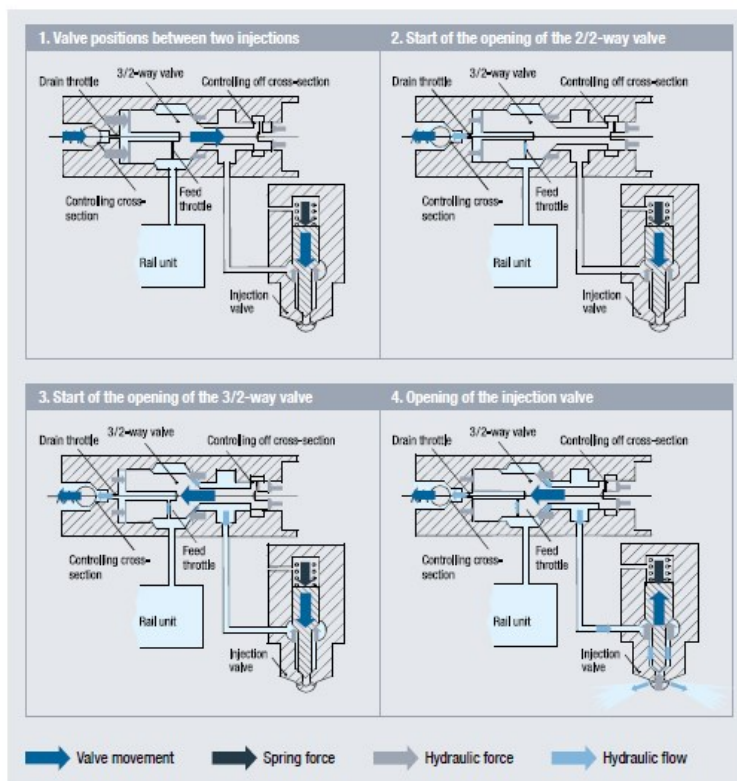


Fig. 5: Positions of control valve during injection

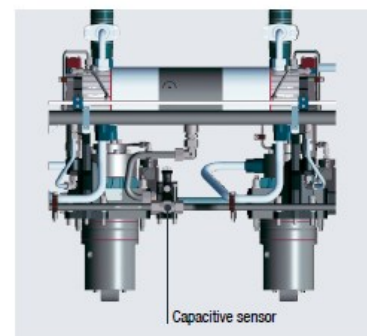


Fig. 6: Leakage detection system (LDS) – capacitive sensors

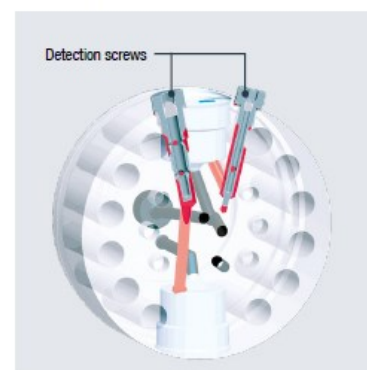


Fig. 7: LDS – detection screws

Εικόνα 52 Θέσεις της βαλβίδας ελέγχου στη διάρκεια της έγχυσης στο σύστημα Common Rail της MAN, σύστημα ανίχνευσης διαρροών (δεξιά) [29].

Ο πιο συμπαγής σχεδιασμός των μονάδων CR διασφαλίζει την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου γύρω από τη μηχανή, πράγμα το οποίο είναι πολύ πιο αποδοτικό στη συναρμολόγηση του συστήματος. Επίσης έχει επιπλέον πλεονεκτήματα σχετικά με τον τρόπο αποθήκευσης και διαχείρισης των ανταλλακτικών της μηχανής στο πλοίο.

8.3 Δοκιμαστήρια συστήματος CR της MAN B&W

Με βάση το concept των διαιρούμενων rails, η MAN Diesel & Turbo έχει αναπτύξει ένα modular σύστημα CR το οποίο εφαρμόζει σε ποικιλία τύπων μηχανών, με τα ίδια ανταλλακτικά. Για παράδειγμα, μιά 7-κύλινδρη μηχανή μπορεί να τροφοδοτείται από 4 rail units, όπου τα 3 από αυτά τροφοδοτούν από 2 κυλίνδρους το καθένα, ενώ το τελευταίο τροφοδοτεί μόνο τον 7^ο κύλινδρο.

Η βελτιστοποίηση του υδραυλικού σχεδιασμού και της διάρκειας ζωής στα συστήματα αυτά γίνεται με δοκιμές σε εξειδικευμένα δοκιμαστήρια (injection test rigs). Η κυριώτερη πρόκληση όπως προαναφέρθηκε για τα συστήματα CR είναι η λειτουργία τους με βαρύ καύσιμο. Οι δοκιμές γίνονται σε ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας.

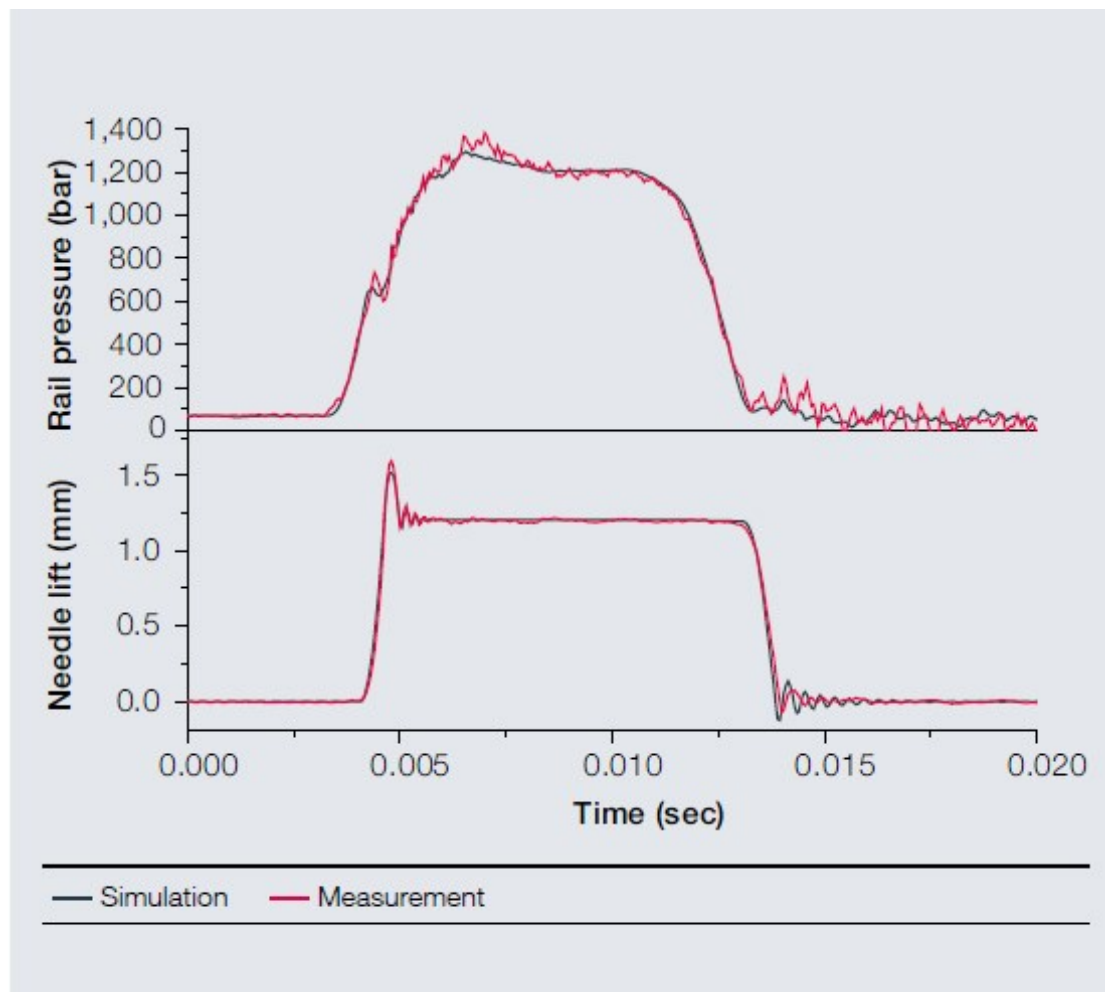
Τα δοκιμαστήρια αυτά έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα εγκατάστασης έως και συστημάτων για 10-κύλινδρο κινητήρα
- Πλήρως ελεγχόμενη από υπολογιστή λειτουργία, που επιτρέπει τη διεξαγωγή μετρήσεων και δοκιμών διάρκειας ζωής χωρίς την παρουσία ανθρώπου
- Δυνατότητα επιλογής του test fuel από μεγάλο εύρος ποιότητας και θερμοκρασίας, με πραγματικά HFO έως και 150°C θερμοκρασίας λειτουργίας για δοκιμές διάρκειας ζωής.

Η Εικόνα 53 παρουσιάζει μιά σύγκριση μεταξύ προσομοίωσης με H/Y και μέτρησης στο δοκιμαστήριο της γραμμής έγχυσης (μεταβολή πίεσης έγχυσης και θέσης βελόνας ακροφυσίου σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου), που δείχνει της υψηλές τεχνικές δυνατότητες της προσομοίωσης μέσω H/Y.

Όμως η προσομοίωση δεν περιορίζεται στην μοντελοποίηση ενός κυλίνδρου. Τα μοντέλα προσομοίωσης έχουν δυνατότητα να καλύψουν έως και 10-κύλινδρο κινητήρα, προβλέποντας με υψηλή ακρίβεια τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυλίνδρων και την εξέλιξη των κυμάτων πίεσης μέσα στο σύστημα.

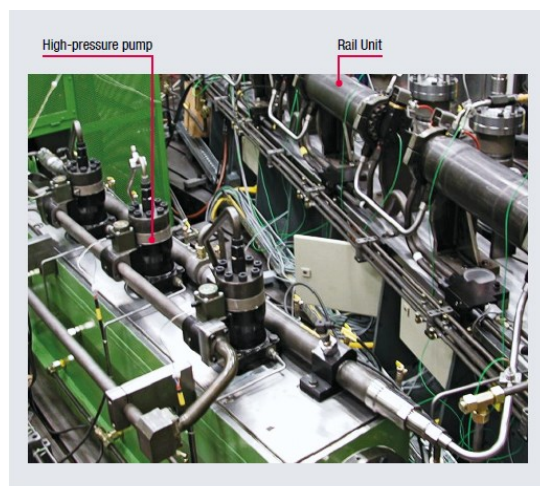
8.4 Γραμμή ψεκασμού συστήματος CR



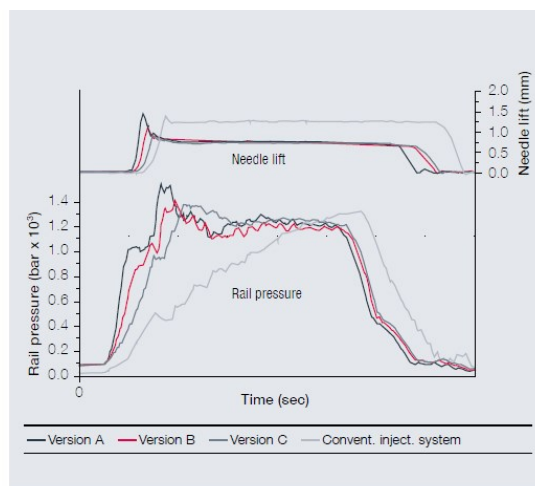
Εικόνα 53 Σύγκριση υπολογισμού και μέτρησης γραμμής έγχυσης (πίεση rail και θέση βελόνας εγχυτήρα) [29]

Η Εικόνα 54 (αριστερά) δείχνει ένα από αυτά τα δοκιμαστήρια (test rigs) με εγκατεστημένο το σύστημα έγχυσης MAN Bore 32 CR. Επιπλέον των δοκιμαστηρίων για τις δοκιμές των υδραυλικών συστημάτων και τις δοκιμές ελέγχου διάρκειας ζωής, η MAN Diesel & Turbo έχει εγκαταστήσει ένα επιπλέον test rig για να ελέγχει τη σωστή βαθμονόμηση των βαλβίδων ελέγχου (control valves). Τα αποτελέσματα των δοκιμών με την πρωτότυπη μηχανή έδειξαν πόσο σημαντικό είναι να βαθμονομούνται σωστά αυτά τα εξαρτήματα.

Η βελτιστοποίηση σχεδιασμού και ρύθμισης του συστήματος CR που πραγματοποιείται πάνω στα εξειδικευμένα αυτά δοκιμαστήρια, επεξηγείται με το παρακάτω παράδειγμα.



Test rig installation of the complete CR system



Matching of the rate of injection

Εικόνα 54 Εγκατάσταση δοκιμών του συστήματος CR (αριστερά) και Προσαρμογή της γραμμής ρυθμού έγχυσης με συνδυασμό της μετατόπισης της βελόνας του ακροφυσίου και της πίεσης του rail (δεξιά) [29]

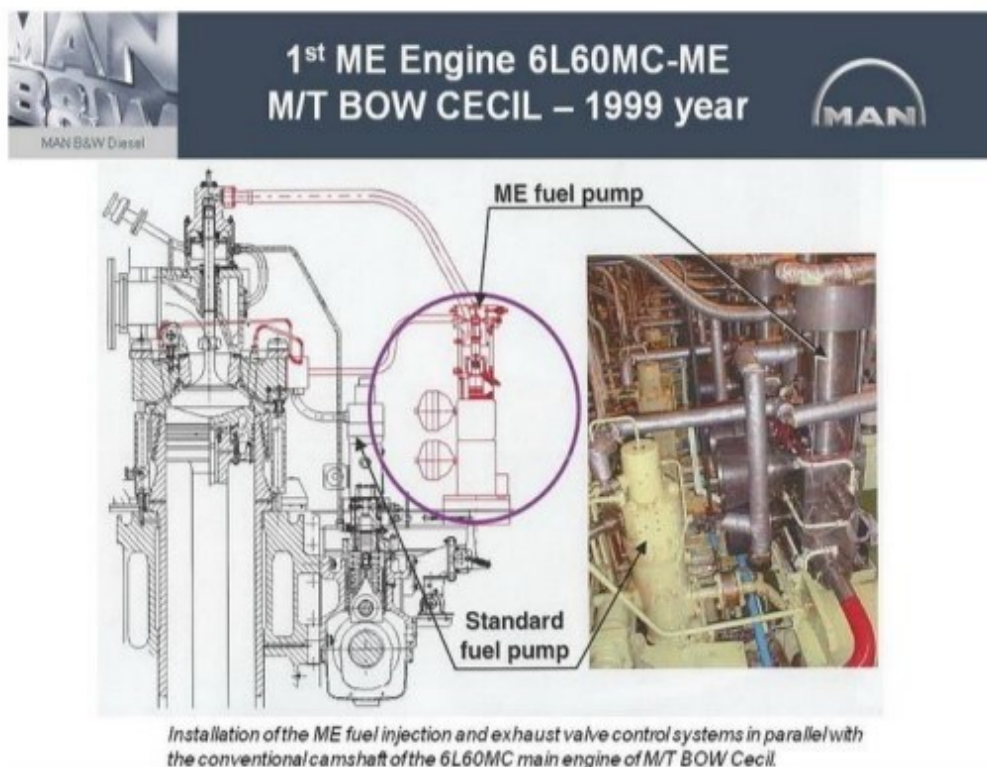
Η Εικόνα 54 (δεξιά) δείχνει τη μετρημένη διακύμανση της πίεσης του καυσίμου στο σημείο μέτρησης αμέσως ανάντι του εγχυτήρα για τρεις διαφορετικές παραλλαγές της βαλβίδας ελέγχου, σε σύγκριση με την διακύμανση της πίεσης έγχυσης που επιτυγχάνει το αντίστοιχο συμβατικό σύστημα έγχυσης.

Είναι προφανής από την εικόνα αυτή η ανωτερότητα του συστήματος common rail, αφού επιτυγχάνει υψηλή πίεση έγχυσης από την αρχή του ανοίγματος της βελόνας, το οποίο είναι σημαντικό τόσο για τη μείωση των εκπομπών καπνού (μικρότερο μέγεθος σταγονιδίων), όσο και για τη μείωση των εκπομπών NOx (αφού επιτυγχάνεται ο βέλτιστος για το σκοπό αυτό λόγος αέρα σε όλη τη διάρκεια της καύσης). Δεδομένου ότι το σύστημα CR μπορεί να βελτιστοποιηθεί με αυτό τον τρόπο ώστε να δίνει τη βέλτιστη διακύμανση της γραμμής έγχυσης για κάθε σημείο λειτουργίας του κινητήρα, εύκολα γίνεται αντιληπτή η ευελιξία προσαρμογής στις απαιτήσεις που τίθενται για τη μηχανή από τη Νομοθεσία και την επιθυμητή απόδοση και κατανάλωση καυσίμου.

9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΤΥΠΟΥ MAN B&W ME

9.1 Περιγραφή και παρουσίαση λειτουργίας μηχανών ME

Η MAN B&W ονομάζει τη δική της σειρά ME έξυπνη μηχανή. Με χρήση ηλεκτρικών αντλιών και αξονικών εμβόλων συμπιέζεται λάδι έως τα 300bar και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την έγχυση καυσίμου και τη λειτουργία της βαλβίδας εξαγωγής [30]. Δηλαδή ένα σερβουδραυλικό σύστημα ενεργοποίησης της έγχυσης καυσίμου και βαλβίδων εξαγωγής. Οι κινητήρες ελέγχονται από ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου (σύστημα ελέγχου κινητήρα) [14].



Εικόνα 55 η πρώτη εγκατάσταση ηλεκτρονικής μηχανής στο M/T BOW Cecil 1990

Η έγχυση καυσίμων επιτυγχάνεται με ενισχυτές πίεσης που από μηχανικής άποψης είναι πιο απλοί από τις αντλίες καυσίμων των συμβατικών μηχανών MC. Το έμβολο καυσίμων στη μηχανή ME καθοδηγείται από ένα ελατήριο που ενεργοποιείται με πεπιεσμένο έλεγχο καυσίμων από ηλεκτρονικά ελεγχόμενες αναλογικές βαλβίδες ως παροχή ισχύος.

Επιπλέον, η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει υδραυλικά και κλείνει με ελατήριο αέρος, όπως στη μηχανή MC. Όπως με τον ενισχυτή πίεσης έγχυσης καυσίμων, ο ηλεκτρονικά ελεγχόμενος ενεργοποιητής της αναλογικής βαλβίδας, καθοδηγείται από το συμπιεσμένο έλεγχο καυσίμων, ο οποίος ,για την αναλογική βαλβίδα, τροφοδοτείται από μία βαλβίδα ελέγχου τύπου on/off ή μια βαλβίδα ελέγχου αναλογικού τύπου.

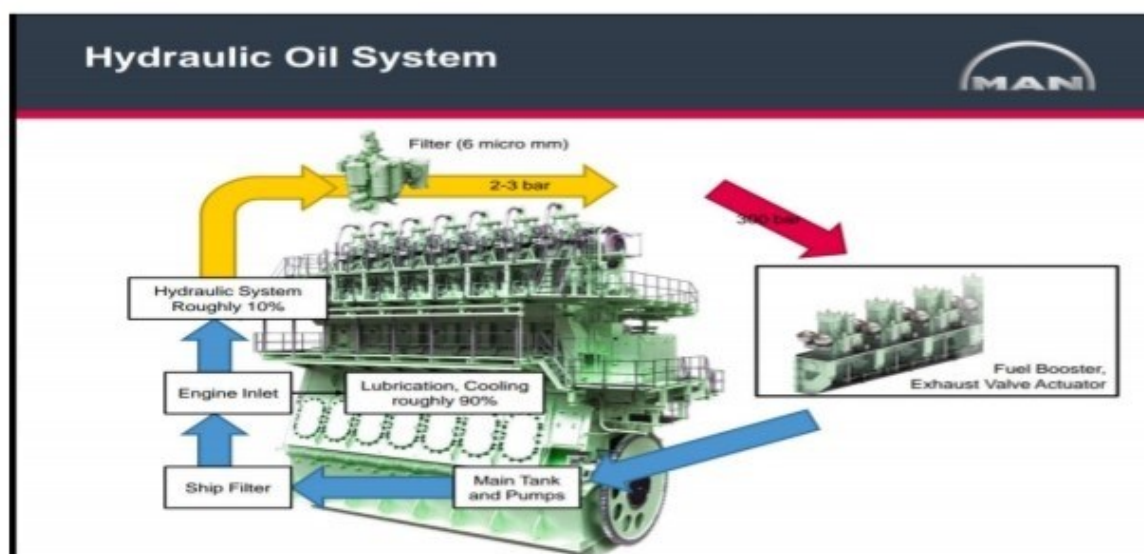
Στο υδραυλικό κύκλωμα χρησιμοποιείται λιπαντικό ως μέσο. Φιλτράρεται μέσα από ένα λεπτό φίλτρο και συμπιέζεται από μια μονάδα παροχής υδραυλικής ισχύος τοποθετημένη επάνω στη μηχανή. Ένα ξεχωριστό υδραυλικό σύστημα καυσίμων είναι προαιρετικό. Επίσης, προαιρετικές είναι οι ξεχωριστές ηλεκτρονικά καθοδηγούμενες κύριες αντλίες.

Θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι παρόλο που οι μηχανές ME είναι απλές στη λειτουργία τους, η εκπαίδευση του πληρώματος στην τεχνολογία των ME είναι σημαντική για να βοηθήσει στην κατανόηση και να αποφευχθεί η όποια σύγχυση ή άγχος που υπό άλλες συνθήκες θα εμφανιζόταν. Για να επιτευχθεί αυτό, η MAN B&W Diesel έχει δημιουργήσει ένα κέντρο εκπαίδευσης ME με έναν απλό προσομοιωτή , ούτως ώστε τα πληρώματα να κάνουν πρακτική άσκηση στις εγκαταστάσεις στην Κοπεγχάγη. Η MAN ME ελέγχει ηλεκτρονικά οποιοδήποτε τύπο κινητήρα, είναι η λύση στην απαίτηση για αξιόπιστη ευελιξία και οποιουσδήποτε κανονισμούς, χαρακτηριστικό για τις εκπομπές ρύπων. Η MAN Diesel έχει αναπτύξει ειδικά για το υλικό και το λογισμικό για να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη λύση για το σύστημα ελέγχου κινητήρα. Η βασική φιλοσοφία της ασφάλειας είναι ότι μόνο μηχανική βλάβη προκαλείται στον κινητήρα για να βγουν εκτός λειτουργίας οι μονάδες ελέγχου στο σύστημα ελέγχου του κινητήρα και κατά συνέπεια να υποκύψει [30].

9.2 Υδραυλικό Σύστημα (Hydraulic oil system)

Η έννοια του ελέγχου στις μηχανές τύπου ME αφορά κυρίως τη χρήση ενός μηχανικού συστήματος υδραυλικών, για να ενεργοποιήσει τις αντλίες εγχύσεως

καυσίμου και τις βαλβίδες εξαγωγής, τα οποία ελέγχονται ηλεκτρονικά από ένα σύστημα ελέγχου του συστήματος μέσω υπολογιστή.



Εικόνα 56 σχηματική διάταξη κατεύθυνσης του εργαζόμενου ελαίου από την ελαιολεκάνη έως την υδραυλική μονάδα.

Στο υδραυλικό σύστημα η ισχύς παρέχεται από εμβολοφόρες αντλίες, οι οποίες παίρνουν κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής. Ως υδραυλικό υγρό χρησιμοποιείται το ίδιο το λάδι της μηχανής, αποφεύγοντας έτσι την κατασκευή επιπλέον δικτύων και δεξαμενών. Λόγω της λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος σε υψηλές πιέσεις, απαιτείται υψηλή καθαρότητα του λαδιού, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων.

Ο κινητήρας αποτελείται από ένα υδραυλικό μηχανικό σύστημα για την ενεργοποίηση της έγχυσης καυσίμου και των βαλβίδων εξαγωγής. Οι επενεργητές είναι ηλεκτρονικοί από έναν αριθμό μονάδων ελέγχου μετά την ολοκλήρωση του συστήματος ελέγχου του κινητήρα. Στο υδραυλικό σύστημα, το μηχανέλαιο χρησιμοποιείται ως μέσο λειτουργίας, φιλτράρεται και οδηγείται στο τροφοδοτικό της υδραυλικής μονάδας. Το μηχανέλαιο αναρροφάται από την ελαιολεκάνη με κατεύθυνση τα αυτόματα φίλτρα και αφού φιλτραριστεί, ένα ποσοστό θα οδηγηθεί για τις λειτουργίες της μηχανής και το υπόλοιπο θα χρησιμοποιηθεί για το υδραυλικό σύστημα.

Πριν συμπιεστεί, θα φιλτραριστεί ξανά από φίλτρα με πολύ μικρή διατομή, 6 μικρά, για την αποφυγή στερεών σωματιδίων που μπορεί να προκαλέσουν φθορές στα έμβολα του υδραυλικού συστήματος. Η πίεση του ελαίου πριν τη

συμπίεση είναι μεταξύ των 2-3 bar, αφού συμπιεστεί όμως, αποκτά την επιθυμητή πίεση στα 300 bar, πίεση κατάλληλη για την εργασία του συστήματος με τελικό προορισμό τις αντλίες πετρελαίου για την έγχυση του καυσίμου και τους επενεργητές της βαλβίδας εξαγωγής για το άνοιγμά της. Με το πέρας της εργασίας του ελαίου, αποστραγγίζεται και κατευθύνεται προς το σύστημα ψύξης όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

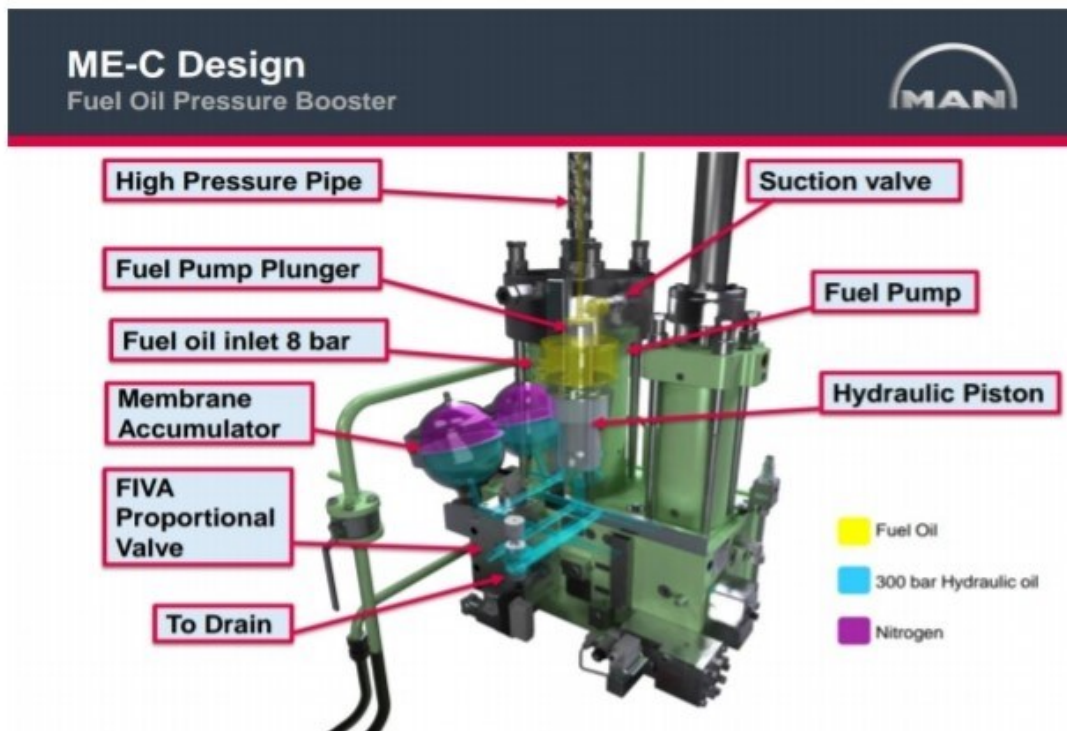
9.3 Μονάδα φιλτραρίσματος

Το κύριο φίλτρο στο σύστημα υδραυλικής ισχύος, είναι πολλών στοιχείων, αυτο-καθαριζόμενου τύπου, με αυτόματο αντίστροφο ξέπλυμα των στοιχείων. Το αυτόματο αντίστροφο ξέπλυμα των στοιχείων, γίνεται με πεπιεσμένο αέρα σε τακτικά χρονικά διαστήματα, αλλά επίσης ενεργοποιείται εάν η πτώση πίεσης μέσα από το φίλτρο υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή.

Ένα βοηθητικό φίλτρο τοποθετείται παράλληλα με το κύριο φίλτρο και χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια επισκευής του κύριου φίλτρου. Η αλλαγή στο βοηθητικό φίλτρο και πάλι πίσω γίνεται χειροκίνητα χωρίς να διακοπή η ροή του λαδιού προς τις αντλίες.

9.4 Σύστημα έγχυσης πετρελαίου

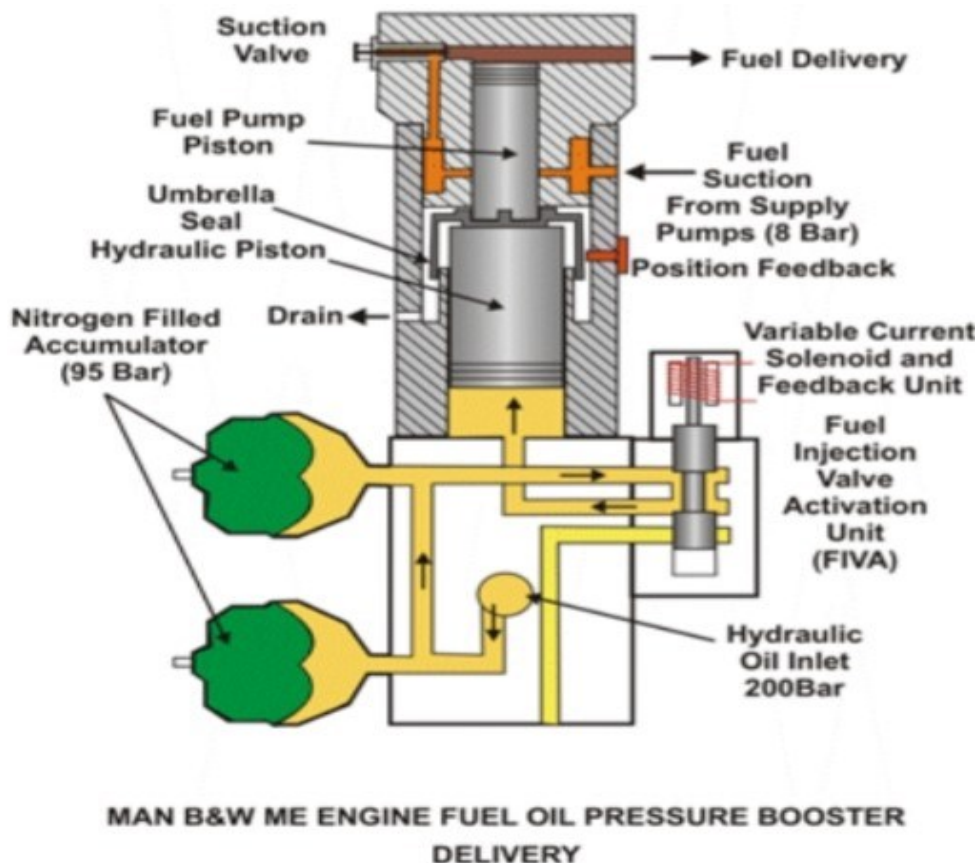
Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε από την εταιρεία MAN B&W ME, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εισαγωγή ευφυούς ελέγχου στη λειτουργία των μεγάλων δίχρονων αργόστροφων πετρελαιοκινητήρων. Στο σύστημα αυτό, ο εκκεντροφόρος άξονας αντικαθίσταται πλήρως από υδραυλικό σύστημα, το οποίο παρέχει την ισχύ για τη λειτουργία των αντλιών καυσίμου υψηλής πίεσεως. Οι αντλίες πίεσης πετρελαίου έχουν την ίδια λειτουργία όπως αντλίες του καυσίμου για τον συμβατικό κινητήρα MC, ωστόσο το έμβολο ψεκασμού καυσίμου στον κινητήρα ME οδηγείται από ένα υδραυλικό έμβολο όπου ενεργοποιείται από μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα.



Εικόνα 57 αντλία πετρελαίου ME με όλα τα εξαρτήματά της.

Η MAN B&W ME λειτουργεί μια σωληνοειδή βαλβίδα που λειτουργεί (FIVA) επιτρέποντας την πίεση λαδιού κάτω από ένα υδραυλικό έμβολο. Αυτό στη συνέχεια μετακινεί το έμβολο της αντλίας καυσίμου προς τα πάνω, αυξάνοντας την πίεση καυσίμου για το άνοιγμα των εγχυτήρων. Ο ψεκασμός καυσίμου επιτυγχάνεται, με τους ενισχυτές πίεσης (fuel oil pressure booster) οι οποίοι είναι μηχανικά απλούστεροι από τις αντλίες του καυσίμου στους κινητήρες MC.

Ο συσσωρευτής με άζωτο συμπληρώθηκε για να διατηρεί την πίεση του υδραυλικού λαδιού κατά την διάρκεια της λειτουργίας της αντλίας. Οι αντλίες καυσίμου (μία για κάθε κύλινδρο) είναι κλασικές αντλίες μονού βυθίσματος, οι οποίες τροφοδοτούν με καύσιμο κλασικούς εγχυτήρες καυσίμου. Η χρήση δοκιμασμένων μηχανισμών αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και διευκολύνει τη συντήρηση. Το λάδι φθάνει με υψηλή πίεση σε κάθε αντλία καυσίμου, παρέχοντας την αναγκαία ισχύ για την ανύψωση κατάλληλου εμβόλου, το οποίο ωθεί το έμβολο της αντλίας καυσίμου. Τα δυο έμβολα διατηρούνται σε επαφή λόγω της πίεσεως του λαδιού και του καυσίμου που επενεργούν στις δυο αντίθετες πλευρές τους. Για την απόσβεση των κυμάτων πίεσεως εντός του υδραυλικού συστήματος και για την άμεση παροχή της αναγκαίας ποσότητας λαδιού για την λειτουργία της αντλίας, πριν από κάθε αντλία τοποθετείται κατάλληλος συλλέκτης - αποσβεστήρας.



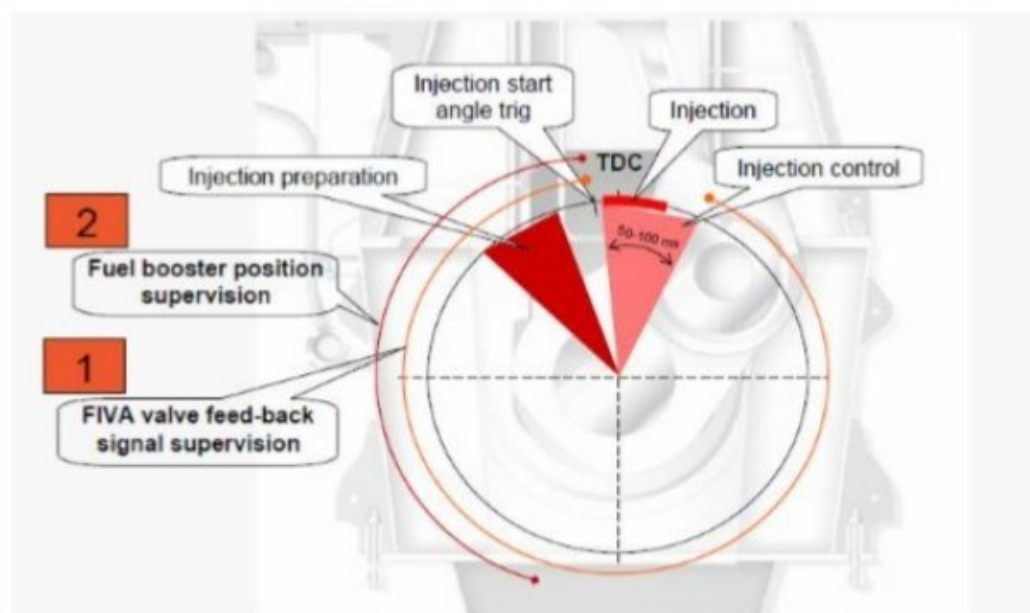
Εικόνα 58 σχηματική διάταξη λειτουργίας αντλίας πετρελαίου ME

Η παροχή του λαδιού ελέγχεται από ειδική βαλβίδα ελέγχου, η οποία με τη σειρά της καθοδηγείται από το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Η χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου στο υδραυλικό σύστημα ανυψώσεως της αντλίας καυσίμου, επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως, διαφοροποιώντας τις παραμέτρους της εγχύσεως, ανάλογα με το σημείο λειτουργίας της μηχανής.

Έτσι, είναι δυνατόν να παραχθεί μεγάλη ποικιλία από προφίλ εγχύσεως, όπως για παράδειγμα έγχυση με μειωμένη πίεση (και παροχή) καυσίμου, έγχυση με σταθερή πίεση, έγχυση με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση εγχύσεως ή διπλή έγχυση (πυλοτική σαν κύρια έγχυση). Με την εφαρμογή εγχύσεως με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση επιτυγχάνεται μείωση της καταναλώσεως καυσίμου, ενώ με την εφαρμογή πυλοτικής εγχύσεως μειώνονται οι παραγόμενοι ρύποι. Για να είναι σε θέση κάθε φορά για τη στιγμή του ψεκασμού του καυσίμου με τα συστήματα ελέγχου, πρέπει να γνωρίζει τη γωνία στρόφαλου των επιμέρους κυλίνδρων. Για να το επιτύχει αυτό υπάρχουν στο στρόφαλο δύο αισθητήρες γωνίας όπου τοποθετείται στο ελεύθερο άκρο του κινητήρα. Αυτοί οι αισθητήρες είναι ακριβής κατά $0,1^\circ$. Οι πιέσεις κυλίνδρου παρακολουθούνται

συνεχώς χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης καταπόνησης ενσωματωμένα στην κυλινδροκεφαλή, και ο υπολογιστής αυτόματα αντισταθμίζει για συστροφή στο στροφαλοφόρο όταν αφορούν θέσεις στροφαλοφόρου στην πίεση κυλίνδρου.

Τα συστήματα δίνουν πλήρη ευελιξία κατά την έναρξη και το τέλος της έγχυσης και λαμβάνει υπόψη την ποιότητα των καυσίμων, νεκρός χρόνος (ο χρόνος μεταξύ εντολής εκκίνησης ψεκασμού δίνεται και η πραγματική έγχυση), και μεταβλητό χρονισμό έγχυσης (VIT).



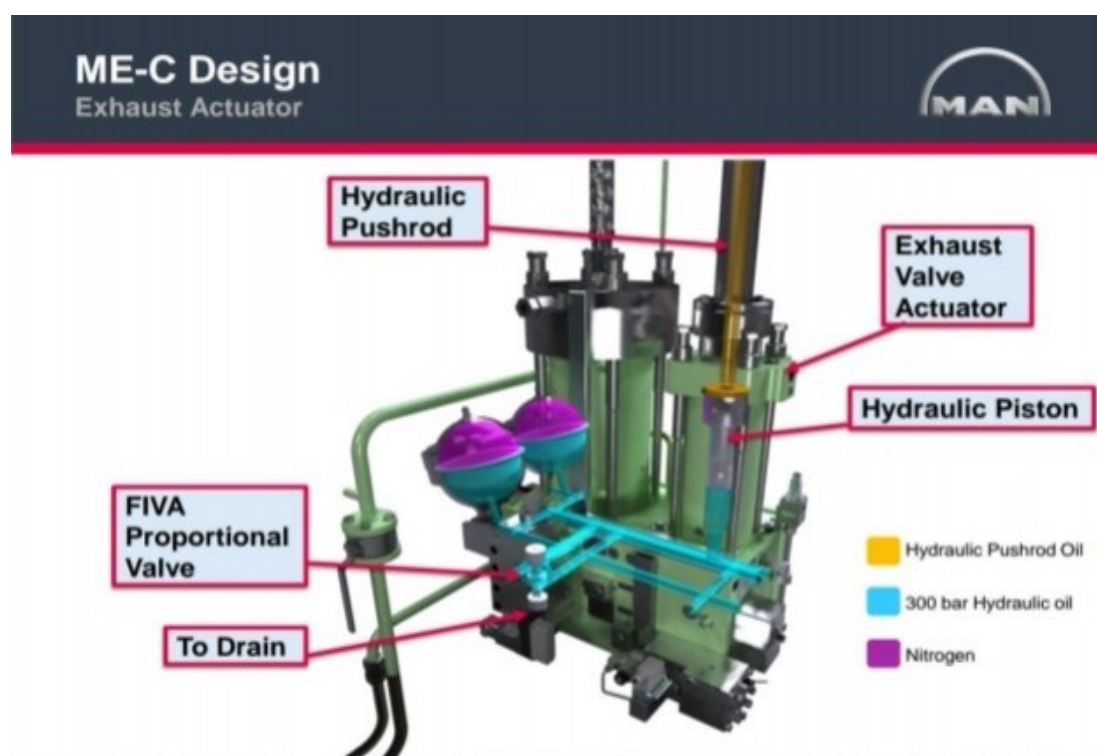
Εικόνα 59 τα σημεία προετοιμασίας από την ηλεκτρονική εντολή έως την έγχυση.

9.5 Ενεργοποίηση ανοίγματος βαλβίδας εξαγωγής

Η βαλβίδα εξαγωγής έχει την ίδια λειτουργία όπως στους συμβατικούς κινητήρες. Ωστόσο, το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής του κινητήρα ME οδηγείται από ένα διβάθμιο υδραυλικό έμβολο, το οποίο ενεργοποιείται με την υδραυλική πίεση της μονάδας, από το σύστημα βαλβίδας FIVA, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει από το σύστημα spring air στα 7kg/cm². Ο ενεργοποιητής βαλβίδων εξαγωγής αντικαθιστά το έκκεντρο της βαλβίδας εξαγωγής με υδραυλική αντλία. Το λάδι του κινητήρα αποκτά πίεση 300bar και χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει ένα έμβολο που λειτουργεί τη βαλβίδα εξαγωγής.

Το λάδι για την λειτουργία που προέρχεται από την κύρια μηχανή τροφοδοσίας LO μέσω ανεπίστροφης βαλβίδας. Ο χρονισμός της βαλβίδας εξαγωγής και η διάρκεια ανοίγματός της ελέγχονται από ειδική βαλβίδα ταχείας αποκρίσεως στο υδραυλικό σύστημα. Με τη χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου, τα χαρακτηριστικά της εγχύσεως μπορούν να βελτιστοποιούνται σε όλο το φάσμα του φορτίου της μηχανής. Με συνδυασμένο έλεγχο του χρονισμού της εγχύσεως και του χρόνου κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής, είναι δυνατόν να διατηρείται σταθερή η μέγιστη πίεση εντός του κυλίνδρου σε αρκετό εύρος φορτίων (χωρίς κίνδυνο υπερφορτίσεως). Ως αποτέλεσμα, μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση καυσίμου σε μερικά φορτία. Επιπλέον, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των ελάχιστων στροφών λειτουργίας του κινητήρα, ενώ η λειτουργία του κινητήρα καθίσταται πολύ ομαλότερη στις στροφές αυτές.

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μηχανής (ως σύνολο αλλά και για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά) σε όλα τα φορτία, επιτρέπει τη διατήρηση των επιδόσεων του κινητήρα στα ίδια επίπεδα καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του. Επιπλέον, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί εναλλακτικά με χαρακτηριστικά μειωμένων ρύπων ή με χαρακτηριστικά μειωμένης καταναλώσεως, ανάλογα με την περιοχή που ταξιδεύει το πλοίο.



Εικόνα 60 σχηματική διάταξη ενεργοποιητή της βαλβίδας εξαγωγής με τα εξαρτήματά της.

9.6 Αρχή λειτουργίας ενεργοποιητή βαλβίδας εξαγωγής

Η βαλβίδα FIVA που οδηγεί τον ενεργοποιητή (actuator) στην πλευρά εξαγωγής έχει δύο θέσεις, ανοιχτή (open) ή κλειστή (shut). Όταν ανοίγει από το σύστημα ελέγχου του κινητήρα το υδραυλικό λάδι ωθεί τα έμβολα προς τα πάνω, ανοίγοντας την βαλβίδα εξαγωγής του κινητήρα μέσω της υδραυλικής ράβδου ώθησης. Η πίεση διατηρείται μόνιμα έως ότου η βαλβίδα FIVA ενεργοποιείται για να εμποδίσει την πίεση όταν η φάση της εξαγωγής έχει ολοκληρωθεί. Η βαλβίδα εξαγωγής επιστρέφει στην κλειστή του θέση από την πίεση του αέρα.

Η χρήση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου επιτρέπει τη βελτιστοποιημένη λειτουργία του κινητήρα ακόμη και κατά τη φάση της αναστροφής του (κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εκκεντροφόρου). Με ειδικό χειρισμό μπορεί επίσης να επιτευχθεί ταχεία επιβράδυνση της μηχανής, μειώνοντας έτσι τη διαδρομή ακινητοποίησης του πλοίου.

Αντίστοιχα, μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερη επιτάχυνση του κινητήρα με κατάλληλο έλεγχο της βαλβίδας εξαγωγής (ανοίγοντας πιο νωρίς υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια στα καυσάερια, οπότε επιταχύνεται ο συμπίεστής του στροβιλουπερπληρωτή και αυξάνεται η πίεση υπερπληρώσεως).

Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου συνδυάζεται με αντίστοιχο διαγνωστικό σύστημα βλαβών, το οποίο προστατεύει τον κινητήρα από υπερφόρτιση ή από επικίνδυνες βλάβες, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του και μειώνοντας το κόστος συντηρήσεως.

9.7 Ηλεκτροκίνητες αντλίες

Ο σκοπός των ηλεκτροκίνητων αντλιών είναι να εξασφαλίσουν επαρκή υδραυλική πίεση στο σύστημα, σε καταστάσεις όπου η κύρια μηχανή δεν λειτουργεί και κατά συνέπεια δεν κινεί τις εξαρτημένες από αυτήν αντλίες.

Οι ηλεκτροκίνητες αντλίες λειτουργούν όταν δεν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη παροχή υδραυλικού λαδιού. Ως εκ τούτου, χρειάζεται μόνο μια μικρή παροχή και οι αντλίες έτσι είναι σχετικά μικρές σε σύγκριση με τις εξαρτημένες αντλίες.

Οι ηλεκτροκίνητες αντλίες είναι τύπου σταθερής μετατόπισης. Είναι τοποθετημένες σε δυο μονάδες, που η καθεμία οδηγείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Κάθε μονάδα αποτελείται από μια αντλία υψηλής πίεσης για την παροχή του υδραυλικού λαδιού και μιας χαμηλής πίεσης αντλίας για την πλήρωση και συμπλήρωση των <<υδραυλικών ωστηρίων>> των βαλβίδων εξαγωγής.

9.8 Εξαρτημένες υδραυλικές αντλίες

Οι μηχανικά κινούμενες - εξαρτημένες από τη μηχανή - υδραυλικές αντλίες, είναι χωριστά συνδεδεμένες στο πίσω μέρος της μηχανής και κινούνται από τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω δύο βαθμίδων γραναζιών μετάδοσης.

Τα γρανάζια είναι τύπου οδοντωτού τροχού. Οδηγούνται από τον στροφαλοφόρο άξονα και είναι μόνιμα συνδεδεμένα με τις μηχανικά κινούμενες αντλίες (εξαρτημένες αντλίες). Τα γρανάζια μετάδοσης λιπαίνονται από το σύστημα λίπανσης της κύριας μηχανής. Όλες οι μηχανικά κινούμενες - εξαρτημένες από τη μηχανή - υδραυλικές αντλίες, είναι τύπου μεταβλητής μετατόπισης και είναι του ίδιου μεγέθους. Η μετατόπιση ελέγχεται ηλεκτρονικά από το σύστημα ελέγχου μηχανής (ECS) μέσω μιας βαλβίδας ελέγχου τοποθετημένη πάνω στις αντλίες. Η ροή καθορίζεται από την πραγματική μετατόπιση και την ταχύτητα περιστροφής.

Οι αντλίες έχουν σχεδιαστεί ώστε να έχουν δύο κατευθύνσεις περιστροφής και δυο κατευθύνσεις ροής. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς οι περισσότερες μηχανές είναι αναστρέψιμες. Κατά την αναστροφή της μηχανής, ο έλεγχος της μετατόπισης του συστήματος ελέγχου της μηχανής (ECS) πρέπει να αλλάξει την αντλία προς την αντίθετη κατεύθυνση ροής.

9.9 Σωληνώσεις υψηλής πίεσης

Οι υδραυλικές σωλήνες μεταξύ της μονάδας εφοδιασμού υδραυλικής ισχύος (HPS) και τις μονάδες υδραυλικών κυλίνδρων (HCU), αποτελούνται από σωληνώσεις διπλών τοιχωμάτων. Σωληνώσεις διπλών τοιχωμάτων χρησιμοποιούνται επίσης για τις υψηλής πίεσης σωλήνες μεταξύ των επιμέρους μονάδων υδραυλικών κυλίνδρων (HCU). Οι εσωτερικές και εξωτερικές

διατομές των διπλών σωληνώσεων, συνδέονται με ξεχωριστές γραμμές στο κουτί διανομής.

Η εξωτερική σωλήνα, συνδέεται με μια γραμμή διαρροής στην οποία είναι τοποθετημένοι, ένας περιοριστής ροής και μια βαλβίδα ελεγχόμενης πίεσης. Σε περίπτωση μιας μικρής διαρροής από τον εσωτερικό σωλήνα, ο μεταδότης ροής θα ενεργοποιήσει τον συναγερμό. Σε περίπτωση σοβαρής διαρροής, ο περιοριστής ροής, θα οδηγήσει την απώλεια πίεσης, να προκαλέσει μια αυξημένη πίεση στη γραμμή διαρροής και στον εξωτερικό σωλήνα. Αυτή η αύξηση της πίεσης, κλείνει μια βαλβίδα ελέγχου πίεσης, και η πίεση του συστήματος τώρα διατηρείται στον εξωτερικό σωλήνα. Ο μεταδότης πίεσης ενεργοποιεί έναν συναγερμό που δείχνει ότι ο εξωτερικός σωλήνας είναι τώρα υπό πίεση.

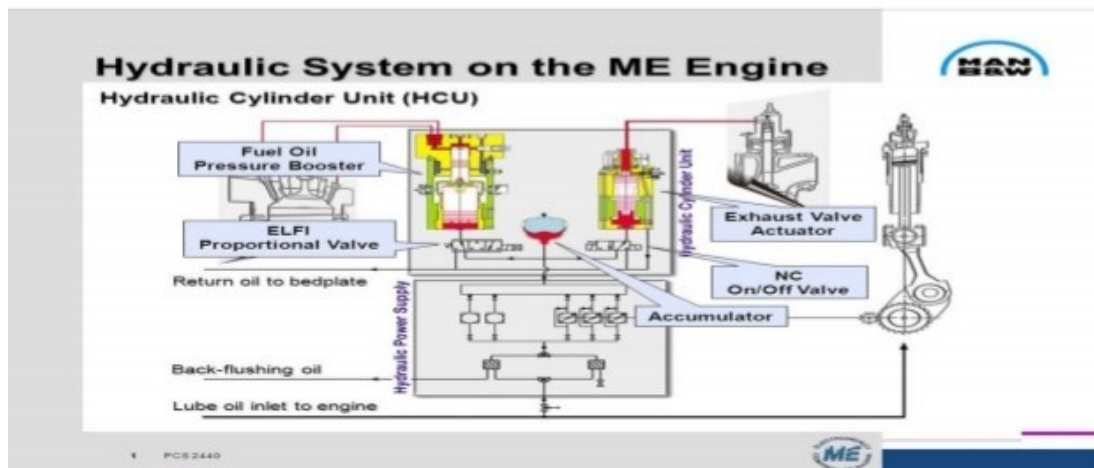
Η σωλήνωση έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλίσει την ασφάλεια του προσωπικού καθώς επίσης και να διασφαλίσει ότι μια απλή βλάβη, π.χ. μια διαρροή από τον εσωτερικό σωλήνα, δεν θα επηρεάσει την λειτουργία της μηχανής.

9.9.1 Υδραυλική μονάδα κυλίνδρου

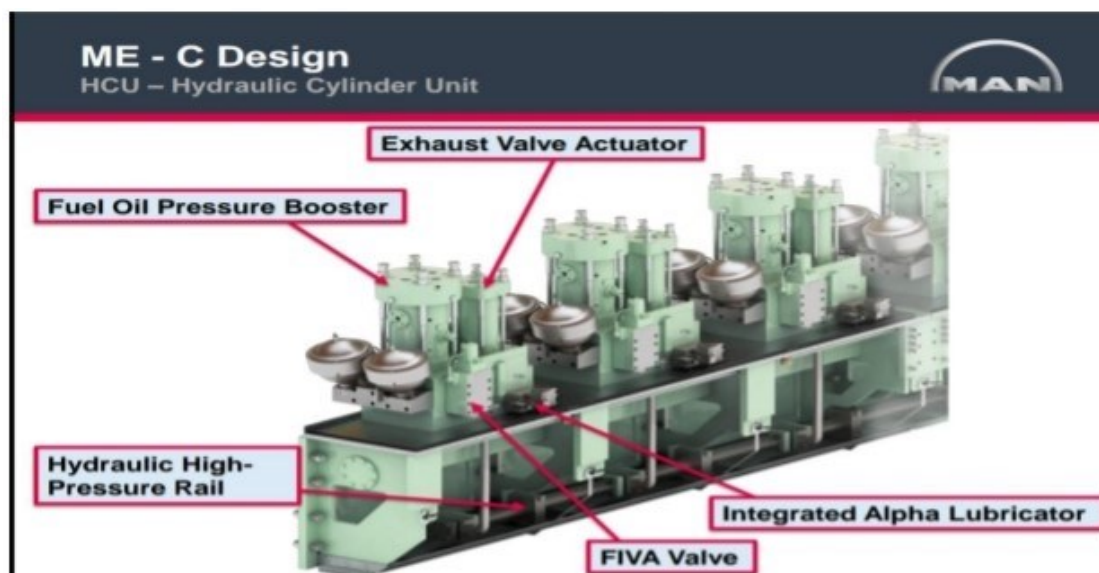
Το νέο ηλεκτρουδραυλικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα ME περιλαμβάνει HCU (Hydraulic Control Unit): υδραυλική μονάδα κυλίνδρου συμπεριλαμβανομένης της βαλβίδας FIVA για την έγχυση του καυσίμου και ο ηλεκτρονικός ελεγχόμενος ενεργοποιητής βαλβίδας alpha lubricator.

Από την μονάδα παροχής υδραυλικής ισχύος, το υδραυλικό λάδι τροφοδοτείται μέσω από τις σωληνώσεις διπλού τοιχώματος και καταλήγει στις υδραυλικές μονάδες κυλίνδρου.

Υπάρχει μια υδραυλική μονάδα ανά κύλινδρο, η οποία αποτελείται από ενισχυτές πίεσης, την βαλβίδα εξαγωγής, τους καυστήρες και την βαλβίδα ενεργοποίησης (FIVA), την βαλβίδα ελέγχου, την ηλεκτρονική βαλβίδα ψεκασμού καυσίμου (ELFI) και μια ηλεκτρονική βαλβίδα ενεργοποίησης (ELVA) βαλβίδων ελέγχου.



Εικόνα 61 σχηματική διάταξη υδραυλικής μονάδας κυλίνδρων.

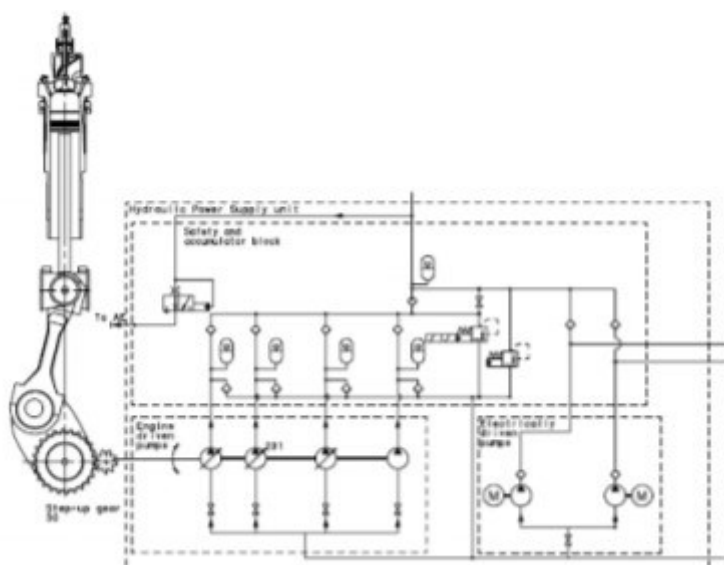


Εικόνα 62 σχηματική διάταξη υδραυλικής μονάδας κυλίνδρων για την έγχυση πετρελαίου και την ενεργοποίηση της βαλβίδας καθώς και η διαδρομή του ελαίου.



Εικόνα 63 βαλβίδα ELFI, πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος ασφαλισμένη με σταθερή συναρμολόγηση.

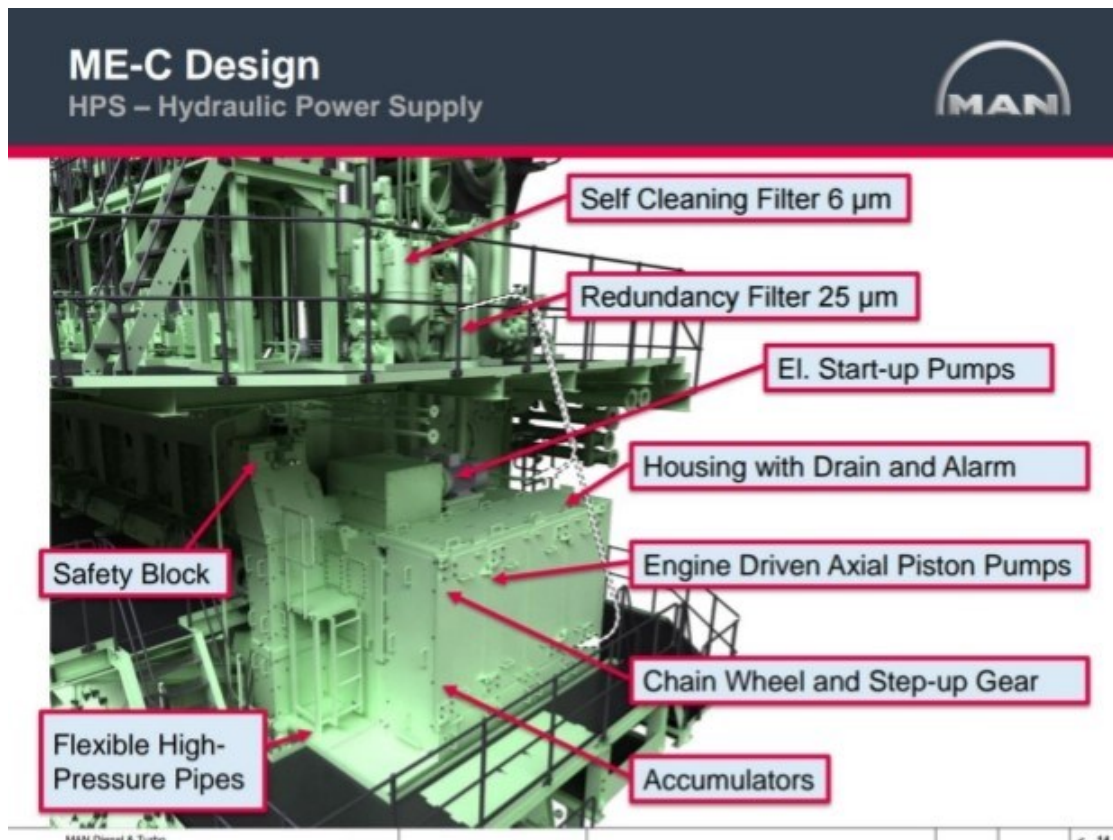
9.9.2 Υδραυλική μονάδα παροχής ισχύος



Εικόνα 64 διάγραμμα παροχής υδραυλικής ισχύος.

HPS: υδραυλική μονάδα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος μονάδα ελέγχου καλείται η πλήρη μονάδα και όλο το σύστημα. Αποτελείται από επενεργητές, αλυσίδα μετάδοσης κίνησης συνδεδεμένη με το στροφαλοφόρο και το γρανάτζι όπου συνδέεται με τον άξονα της μονάδας και περιστρέφει τα έμβολα για την συμπίεση του λαδιού. Επίσης, υπάρχουν τοποθετημένα αλάρμ και δίκτυο εξυδάτωσης. Μια ηλεκτροκίνητη αντλία για τη μονάδα και τα φίλτρα με διατομή

25 μικρά και έπειτα τα αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα με διατομή 6 μικρά. Τέλος, οι ελαστικές σωλήνες υψηλής πίεσης για τη μεταφορά του ελαίου αποτελούν εξαρτήματα για την παραγωγή και διανομή του λαδιού με μεγάλη πίεση.



Εικόνα 65 απεικόνιση της εγκαταστάσεως για την υδραυλική παροχή ισχύος.

9.10 Ηλεκτρονικά ελεγχόμενη έγχυση πετρελαίου

Το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης καυσίμου αποτελείται από υδραυλικά ενεργοποιούμενο ενισχυτή της πίεσης του πετρελαίου, τη βαλβίδα ελέγχου του, δηλαδή την FIVA, και τις βαλβίδες έγχυσης καυσίμου.

Η βαλβίδα FIVA (που ελέγχεται από το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου - ECS) εξασφαλίζει γρήγορο και ακριβή έλεγχο της ροής πετρελαίου προς τον ενισχυτή πίεσης πετρελαίου. Η ροή του πετρελαίου ωθεί το υδραυλικό έμβολο και το έμβολο εγχύσεως καυσίμου, δημιουργώντας έτσι την πίεση έγχυσης καυσίμου και συνεπώς την έγχυση.

Μετά την ολοκλήρωση της έγχυσης, το έμβολο έγχυσης και το υδραυλικό έμβολο επιστρέφουν στις αρχικές θέσεις τους, ενώ το υδραυλικό έμβολο

συνδέεται με μία γραμμή εκκένωσης και αφήνει την πίεση της παροχής καυσίμου να οδηγήσει το έμβολο έγχυσης πίσω στην αρχική του θέση. Ο ενισχυτής της πίεσης του πετρελαίου στη συνέχεια γεμίζει και είναι έτοιμος για την επόμενη σειρά εγχύσεως.



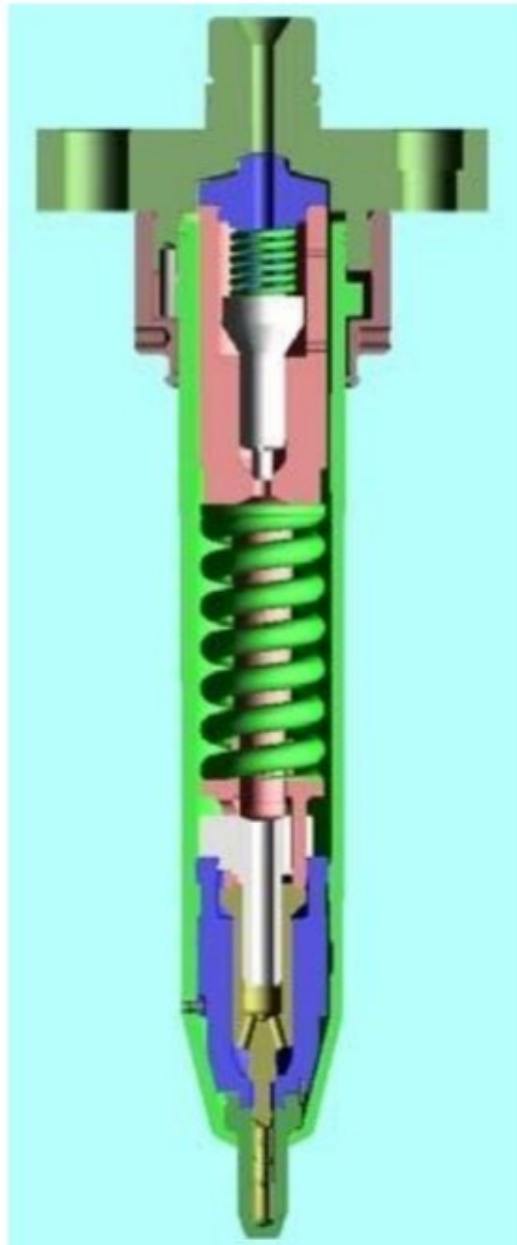
Εικόνα 66 ενισχυτής πίεσης πετρελαίου μηχανής τύπου ΜΕ. (αντλία υψηλής πίεσης)

Το σύστημα καυσίμου επιτρέπει τη συνεχή κυκλοφορία του θερμαινόμενου βαρέως πετρελαίου μέσω του ενισχυτή πίεσης και των καυστήρων, για να κρατήσει το σύστημα θερμό κατά την διάρκεια της ακινησίας της μηχανής.

9.11 Μονάδα εγχυτήρα

Ο εγχυτήρας αποτελείται από το προστόμιο και από το σώμα του εγχυτήρα. Τοποθετημένα μέσα στο σώμα του εγχυτήρα είναι μια ανεπίστροφη βαλβίδα, μια άτρακτος, ένας οδηγός με ένα ελατήριο πίεσης και ένα ακροφύσιο. Η άτρακτος μπορεί να εφοδιάζεται με μία αξονική βαλβίδα αποκοπής. Όταν η

βαλβίδα καυσίμου είναι τοποθετημένη στο καπάκι του κυλίνδρου, τα τμήματα της βαλβίδας σφίγγονται μεταξύ τους από την πίεση των περικοχλίων (παξιμαδιών) σύσφιξης.



Εικόνα 67 εγχυτήρας πετρελαίου μηχανής MAN B&W τύπου ME

Η λειτουργία του εγχυτήρα (βαλβίδας καυσίμου) έχει ως εξής:

Η ηλεκτρική αντλία πλήρωσης καυσίμου κυκλοφορεί προθερμασμένο πετρέλαιο μέσα από το σύστημα πίεσης πετρελαίου και τον εγχυτήρα καυσίμου. Το πετρέλαιο περνά μέσα από τον εγχυτήρα καυσίμου, ενώ φεύγει μέσω μιας οπής κυκλοφορίας και της σωλήνας επιστροφής πετρελαίου στην πάνω πλευρά

του καυστήρα. Όταν η πίεση κατά την έναρξη της διαδρομής παροχής πετρελαίου έχει φτάσει την προκαθορισμένη πίεση, οι οπές επανακυκλοφορίας είναι κλειστές. Όταν η πίεση έχει φτάσει στη προκαθορισμένη τιμή για το άνοιγμα της βαλβίδας καυσίμου, η άτρακτος θα ανασηκωθεί και καύσιμο εγχύεται μέσω του ακροφυσίου εντός του κυλίνδρου της μηχανής. Με την ολοκλήρωση του χρόνου κατάθλιψης της πίεσης καυσίμου, η άτρακτος της βαλβίδας πιέζεται επάνω στην έδρα της και η έγχυση του καυσίμου τώρα σταματάει. Τότε η οπή επανακυκλοφορίας είναι ακάλυπτη και πετρέλαιο αρχίζει να επανακυκλοφορεί μέσω του εγχυτήρα

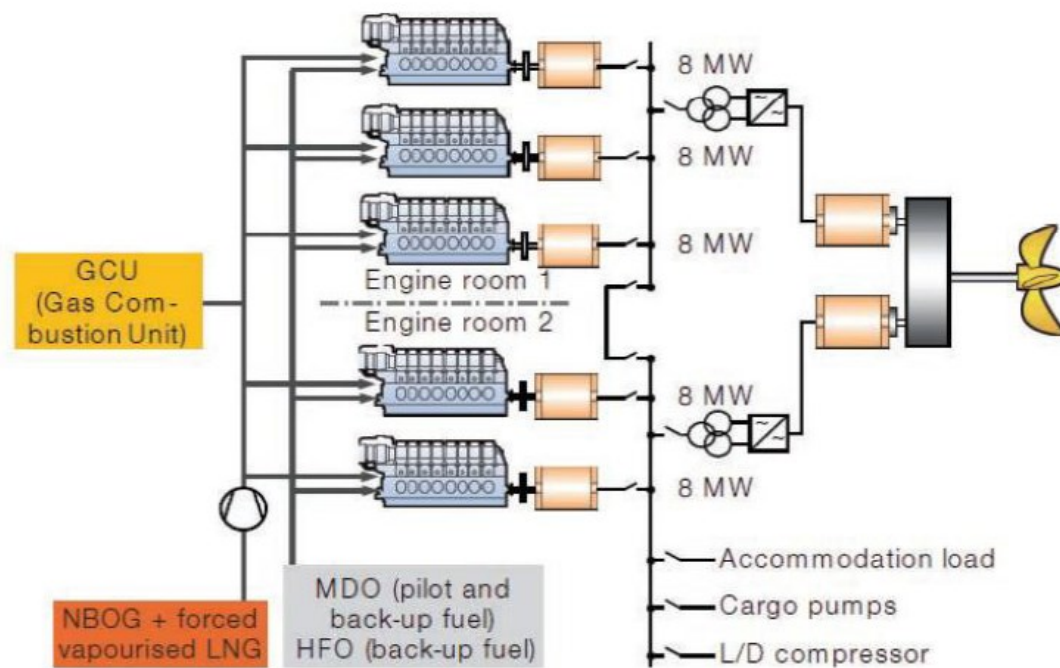
9.12 Καύση LNG σε κινητήρες διπλού καυσίμου

Το LNG (Liquified Natural Gas) είναι φυσικό αέριο (κυρίως μεθάνιο, CH_4 , σε μίγμα με αιθάνιο C_2H_6) που έχει ψυχθεί κάτω από το κρίσιμο σημείο και υγροποιηθεί για την ευκολία και την ασφάλεια της αποθήκευσης ή της μεταφοράς. Έχει περίπου 600 πλάσια πυκνότητα από αυτήν του φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση.

Η διαδικασία υγροποίησης περιλαμβάνει την αφαίρεση σκόνης, όξινων αερίων, ηλίου, νερού και βαρέων υδρογονανθράκων. Το φυσικό αέριο στη συνέχεια συμπυκνώνεται κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση, με ψύξη στους -162°C . Η μέγιστη πίεση μεταφοράς είναι 25 kPa [5].

Το LNG χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά φυσικού αερίου στις αγορές, όπου εξαερώνεται εκ νέου και διανέμεται στους αγωγούς φυσικού αερίου. Το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής του LNG και η ανάγκη αποθήκευσης του σε ακριβές κρυογενικές δεξαμενές εμπόδισαν την ευρεία εμπορική χρήση. Παρά τα μειονεκτήματα αυτά σε ενεργειακή βάση, η παραγωγή LNG αναμένεται να φτάσει το 10% της συνολικής παραγωγής αργού μέχρι το 2020. Το ποσοστό φυσικού αερίου, που πωλείται ως LNG αυξάνεται από 6 - 8% / έτος

Η καύση LNG έχει ως αποτέλεσμα μικρότερα επίπεδα εκπομπών από ότι η καύση του HFO. Οι κινητήρες αερίου διπλού καυσίμου έχουν 25% μικρότερα επίπεδα εκπομπών CO_2 , ενώ οι εκπομπές NO_x είναι 89% μικρότερες από τις αντίστοιχες μιας μηχανής ντίζελ. Επίσης, καθώς το LNG δεν περιέχει καθόλου θείο, η χρήση του δεν παραβιάζει κανέναν από τους κανονισμούς που σχετίζονται με τις εκπομπές οξειδίων του θείου.



Εικόνα 68 Σχηματικό διάγραμμα καύσης LNG-HFO σε κινητήρες MAN B&W

10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για το προσεχές μέλλον οι κινητήρες Diesel θα συνεχίσουν να έχουν τη συντριπτική πλειοψηφία στις εγκαταστάσεις προώσεως πλοίων, παρόλο που διεισδύει σε κάποιο βαθμό και το LNG. Οι στόχοι είναι για κινητήρες που συνδυάζουν ευελιξία καυσίμου, βέλτιστη προσαρμοστικότητα στις συνθήκες λειτουργίας και διά βίου αξιοπιστία.

Η πλέον σημαντική εξέλιξη στους ναυτικούς κινητήρες Ντίζελ είναι η παρουσία ηλεκτρονικά ελεγχόμενης έγχυσης ή όπως αλλιώς λέγεται κοινής γραμμής (common rail), η οποία θα συνεχίσει να επικρατεί στο μέλλον, δίνοντας το πλεονέκτημα στους κινητήρες Diesel. Στις μηχανές αυτού του τύπου δεν υπάρχει εκκεντροφόρος για την έγχυση του πετρελαίου και τη λειτουργία της βαλβίδας εξαγωγής μιας και οι εντολές αυτές δίνονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου με βάση μικροεπεξεργαστές.

Η εξέλιξη των συστημάτων ελέγχου έγχυσης των μηχανών πετρελαίου βαρέως τύπου μας έχει οδηγήσει σε ελαφρύτερες κατασκευές μιας και τα εμπλεκόμενα μηχανικά μέρη είναι λιγότερα, πράγμα που συνεπάγεται λιγότερες μηχανικές φθορές. Η αξιοπιστία των ηλεκτρονικά ελεγχόμενων συστημάτων υποστηρίζεται από σύγχρονα συστήματα διάγνωσης βλαβών ενσωματωμένα στο σύστημα ελέγχου.

Συνοψίζοντας, τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των σύγχρονων συστημάτων κοινής γραμμής έναντι των παλιότερων συστημάτων απευθείας έγχυσης (Direct Injection) είναι τα παρακάτω.

Πλεονεκτήματα

- Ομοιόμορφο μίγμα αέρα καυσίμου σε κάθε κύλινδρο
- Ακριβής έλεγχος της αναλογίας αέρα-καυσίμου σε κάθε περιοχή στροφών λειτουργίας της μηχανής.
- Συνεχείς διορθώσεις του μίγματος αέρα-καυσίμου.
- Μειωμένη ειδική κατανάλωση καυσίμου που έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθετη οικονομία καυσίμου.
- Μεγαλύτερη απόδοση ισχύος της μηχανής.
- Καλύτερη συμπεριφορά της μηχανής με την συνεχή ρύθμιση των παραμέτρων καύσης.
- Χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων.
- Λιγότερες μηχανικές φθορές, λόγω των λιγότερων μηχανικών μερών της μηχανής (απουσία εκκεντροφόρου).
- Ευκολότερη συντήρηση και επισκευή των ηλεκτρονικών τμημάτων της μηχανής.

Μειονεκτήματα

- Το υψηλότερο κόστος των ηλεκτρονικών συστημάτων ψεκασμού σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα (απευθείας έγχυσης).
- Οι περιορισμοί στην ποιότητα του καυσίμου που μπορεί να κάψει η μηχανή.
- Η μεγαλύτερη εμπλοκή των ηλεκτρονικών συστημάτων στα συστήματα ψεκασμού προαπαιτεί και τις εξειδικευμένες γνώσεις του έμψυχου δυναμικού.

11 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΓΛΩΣΣΑΡΙ

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

MCR (maximum continuous rating): η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδίδει η μηχανή χωρίς πρόβλημα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της.

Ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFQC - specific fuel oil consumption): μέτρο με το οποίο προσδιορίζεται κατανάλωση μάζας καυσίμου, για την παραγωγή της δεδομένης ισχύος σε μία ώρα.

Pilot valve: τροφοδοτείται με control air πίεσης 0,5 - 5,5 bar.

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

Pmax / Maximum combustion pressure (μέγιστη πίεση καύσης): η πίεση που επικρατεί στον κύλινδρο κατά την φάση της καύσης, στην μέγιστη τιμή της. Η τιμή αυξάνεται με την αύξηση της προπορείας. Η άυξησής της ωφελεί αυξάνοντας την ισχύ της μηχανής. Πάνω σε αυτή την αρχή βασίζεται το VIT.

HPS: υδραυλική μονάδα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

FIVA: injection, βαλβίδα καυσίμου ενεργοποίησης βαλβίδων

Fuel oil pressure booster: ενισχυτές πίεσης καυσίμου

ECS: hydraulic control unit - υδραυλική μονάδα κυλίνδρου.

ELFI: ηλεκτρονική βαλβίδα ψεκασμού καυσίμου

ELVA: ηλεκτρονική βαλβίδα ενεργοποίησης βαλβίδων ελέγχου

Actuators: ενεργοποιητές

Electronic governor: ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών

Convertor: μετατροπέας

Compression pressure: πίεση συμπίεσης

Scavenge pressure: πίεση σάρωσης

Manoeuvring system: σύστημα ελιγμών

Breakpoint: σημείο διακοπής

MDO: marine diesel oil

Spill-ports: σημείο διαρροής

Delivery valve: βαλβίδα κατάθλιψης

Eccentric shaft: εκκεντρικός άξονας - μόχλος

Suction valve: βαλβίδα αναρρόφησης

Spill valve: βαλβίδα διαφυγής

Fuel cam: έκκεντρο καυσίμου

Regulating tappet: ρυθμιζόμενο πώμα

Idle stroke: αεργός διάδρομος

Roller: κύλινδρος

Plunger stroke: χτύπημα εμβόλου

Injection valve: βαλβίδα έγχυσης

Compression space: χώρος συμπίεσης

Stagnation pressure control valve: βαλβίδα ελέγχου πίεσης στασιμότητας

Injection nozzles: ακροφύσια έγχυσης

After spray: μεταψεκασμό

BSFC: brake specific fuel consumption- ειδική κατανάλωση πέδης

Part load operation: μερικό φορτίο

Lower ignition pressures: χαμηλές πιέσεις ανάφλεξης

Clogging: απόφραξη

Ignition delay: καθυστέρηση ανάφλεξης

Firing pressure: πίεση ανάφλεξης

Crank angle sensor: αισθητήρας γωνίας στροφάλου

WECS: Wartsila Engine Control System

Plunger: έμβολο

Barrel: χιτώνιο

Roller guide: βάκτρο

Lifting device: μηχανισμός ανύψωσης

Shock absorber: αποσβεστήρας κραδασμών

Puncture valve: βαλβίδα διάτρησης

Pump housing: σώμα αντλίας

Air cylinder: πνευματικό έμβολο

Fuel regulating shaft: οδοντωτός άξονας ρύθμισης

Governor: ελεγκτής

Suction stroke: αναρρόφηση αντλίας

Rack: οδοντωτή ράβδος

Engine load condition: κατάσταση φορτίου καυστήρα

Pressure control valve: βαλβίδα ελέγχου πίεσης

Fuel control pump handwheel: χειροκίνητη αντλία καυσίμου

Pivoted bar: στρεφόμενη ράβδος

Positioner index: δείκτης θέσης

Mechanic - pneumatic system: μηχανικό-πνευματικό σύστημα

VIT: variable injection timing - μεταβλητός χρόνος έγχυσης

FQS: fuel quality system - χειροκίνητη ρύθμιση που προσαρμόζει το χρονισμό ψεκασμού με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά καύσης του καυσίμου

MCR: maximum continuous rating

12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Mollenhauer, K. and H. Tschoeke, *Handbook of Diesel Engines*. 2010: Springer.
2. Δανιήλ, Γ., *Κινητήριες Μηχανές I & II*, . 1991, Αθήνα Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου.
3. Bosch. *Προϊόντα και υπηρεσίες, Αυτοκίνηση*. 2020; Available from: <https://www.bosch.gr/products-and-services/mobility/>.
4. Μπότσας, Ν., *Συστήματα Τροφοδοσίας Καυσίμου Πετρελαιοκινητήρων. Πτυχιακή Εργασία*. 2012, ΤΕΙ Καβάλας.
5. Αλεξανδρόπουλος, Χ.-Δ., *Εναλλακτικά καύσιμα ναυτιλίας για προσαρμογή στις νέες προδιαγραφές*, in *Σχολή Χημικών Μηχανικών*. 2019, ΕΜΠ.
6. Holt, D.J., *The Diesel Engine*. 2004: SAE.
7. Κλιάνης, Λ., Ι. Νικολός, and Ι. Σιδέρης, *ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ* 2012, Αθήνα: ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.
8. Τζιφάκης, Α., *ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ*. 1978, Αθήνα ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
9. Woodyard, D., *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. 2009: Butterworth-Heinemann; 9 edition.
10. Κοντούλης, Ι.Π., *Υπολογιστική Μελέτη Εναλλακτικών Στρατηγικών Έγχυσης σε Δίχρονους Ναυτικούς Κινητήρες Diesel*. 2008: Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. .
11. IHI. *Ishikawajima-Harima Heavy Industries*. 2020; Available from: <http://www.ihi.co.jp>.
12. Maass, H., *Gestaltung und Hauptabmessungen der Verbrennungskraftmaschine*. Die Verbrennungskraftmaschine. 1979, Wien - New York: Springer--Verlag
13. Φραγκόπουλος, Α., *Υπολογιστική Μελέτη Τεχνικών Έγχυσης Νερού σε Δίχρονους Ναυτικούς Κινητήρες Diesel*. 2003: Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π. .
14. N.N. *MAN Energy Solutions, Marine Engines & Systems, Two-stroke engines*. 2020; Available from: <https://marine.man-es.com/two-stroke/2-stroke-engines>.
15. Martin's. *Marine Engineering Page*. 2020; Available from: <http://www.dieselduck.info/>.

16. Ξένος, Δ. and Γ. Οικονομόπουλος, *Το Σύστημα Common Rail* 2004, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού, Νέα Μηχανιώνα: επιβλέπων καθηγητής Τσορμπατζίδης Ανέστης.
17. Reif, K., *Diesel Engine Management*. 2014: Springer - Bosch.
18. Ζώγου, Ο. and Λ. Δημητριάδης, *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ*. 2008, ΠΘ/TMM Βόλος: Εργαστήριο Θερμοδυναμικής & Θερμικών Μηχανών.
19. Παππάς, Α. and Δ. Αναγνωστόπουλος, *Μηχανολογικό Σχέδιο*. 1995, Αθήνα Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου
20. Κανδύλης, Γ., *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης II*. 2003: Εκδόσεις Κωστόγιαννος.
21. N.N. Wärtsilä - *Enabling sustainable societies with smart technology*. 2020; Available from: <https://www.wartsila.com/>.
22. N.N. *Becoming a Marine Engineer*. 2020; Available from: <http://www.marineengineering.org.uk>.
23. marinediesels.co.uk, *The Learning Resource For Marine Engineers*. 2020.
24. N.N. Sulzer. 2020; Available from: <https://www.sulzer.com/>.
25. N.N. *Marine World Archives - Marine Insight*. 2020; Available from: <http://www.marineinsight.com/marine>.
26. Brown, D., *The Sulzer RT-Flex Common Rail System Described*. 2004: Wartsila.
27. Perez, D., *Engine User Technical Manual: DW10 ATED* 2000: La Garennes.
28. Σταματέλλος, Α., *Σημειώσεις ΜΕΚ*. 1994, Βόλος: ΠΘ-TMM.
29. N.N., *Common Rail: Design and Field Experience*. MAN Diesel and Turbo, 2019.
30. N.N., *Service Experience MAN B&W Low Speed Diesel Engines*. 2010, MAN Diesel & Turbo, 5510-0073-00ppr: Copenhagen SV, Denmark.