



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών



ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Διπλωματική εργασία του
Χεσμάτι Αλαμντάρι Σαχαμποντίν

‘Εγκατάσταση , Δοκιμαστική Λειτουργία και Συγκριτική
Αξιολόγηση Αναλυτή Αιθάλης AVL415s’

Επιβλέπων
Καθηγητής Δημήτριος Θ. Χουντάλας



Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο Περιγραφή και βασικές αρχές του κινητήρα Diesel	6
Κεφάλαιο 2 ^ο Το Πρόβλημα της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	12
Κεφάλαιο 3 ^ο Περιγραφή της Καύσης στον Κινητήρα Diesel.....	18
3.1 Καύση και μηχανισμός της καύσης στον κινητήρα Diesel.....	19
3.1.1 Καύση.....	19
3.1.2 Καύση στον κινητήρα Diesel	20
3.1.2.1 Στοιχειομετρική καύση	22
3.1.2.2 Πλήρη καύση (Τέλεια καύση).....	23
3.1.2.3 Χημική Ισορροπία και Χημική κινηματική	24
3.1.2.4 Καύση Υδρογονανθράκων.....	24
3.1.3 Η Καθυστέρηση Ανάφλεξης	25
3.1.4 η Ανεξέλεγκτη καύση	27
3.1.5 Η Ελεγχόμενη Καύση	28
Κεφάλαιο 4 ^ο Η Περιγραφή του Μηχανισμού Σχηματισμού των Ρύπων	30
4.1.Εισαγωγή	31
4.2 Τα Οξειδία του αζώτου NO _x	32
4.2.1 Σχηματισμός NO.....	32
4.2.2 Μηχανισμός σχηματισμού του NO ₂	33
4.2.3 Συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα που επηρεάζουν τις εκπομπές NO	33
4-3 Το Μονοξείδιο του Άνθρακα CO	35
4-4 Οι υδρογονάνθρακες HC	35
4-5 Σωματιδιακές εκπομπές	36
4-5-1 Μηχανισμός σχηματισμού της Αιθάλης	38
4-5-2 Επίδραση των Παραμέτρων Λειτουργίας στις Εκπομπές Σωματιδίων	39
Κεφάλαιο 5 ^ο Τεχνικές Μείωσης των Εκπομπών των Ρύπων.....	41
5-2 Οι Μέθοδοι της Πρόληψης.....	42
5-2-1 Ανακυκλοφορία καυσαερίου (Exhaust Gas Recirculation-EGR)	42
5-2-2 Προπορεία έγχυσης καυσίμου.....	43
5-2-3 Πίεση Εγχύσεως	44
5-2-4 Πίεση Υπερπλήρωσης.....	44
5-2-5 Έγχυση Νερού.....	45
5-3 Οι Μέθοδοι Περιστολής	45
5-3-1 Οι Παγίδες Αιθάλης	45
Κεφάλαιο 6 ^ο Τεχνικές Μέθοδοι Μέτρησης Αιθάλης	47
6-1 Εισαγωγή	48
6-2 Μέθοδος του Φίλτρου.....	48
6-3 LASER INDUCED INCANDESCENCE (LII)	49
6-4 Η Οπτική Μέθοδος	50
Κεφάλαιο 7 ^ο Περιγραφή της Λειτουργίας του Αναλυτή Αιθάλης AVL415s	53
7-1 Περιγραφή του AVL 415S Smoke Meter.....	54
7-1-1 Γενική περιγραφή του Αναλυτή AVL415S	53
7-1-2 Όρια εφαρμογής του Αναλυτή AVL 415S	55
7-1-3 Πλεονεκτήματα του Αναλυτή AVL 415S Αιθάλης	56
7-1-3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	57
7-2 Αρχή Λειτουργίας AVL 415S	59
7-2-1 Ορολογία	59
7-2-2 Περιγραφή της Αρχής της Μέτρησης.....	68
7-2-3 Περιγραφή της λειτουργίας του Αναλυτή	69
7-2-3-1 Διαδρομή των αέριων.....	69
7-2-3-2 Υπολογισμός του δείκτη “PB” (Paper Blackening)	71
7-2-4 Σύστημα μικροεπεξεργαστή.....	73
7-2-5 Ενέργειες (διαδικασίες) στην διάρκεια του κύκλου μέτρησης	74
7-2-6 Χρόνος Καθαρισμού	76

7-2-7 Επιλογή του όγκου του δείγματος και του χρόνου δειγματοληψίας ή ρύθμιση του «Auto Range»	77
7-2-8 Λειτουργία Εξοικονόμησης Χαρτιού (Paper Economy Mode).....	79
7-2-9 Πρόληψη σχηματισμού συμπυκνωμάτων	79
7-2-10 Γενικές Προϋποθέσεις για Μετρήσεις με Πολύ Μεγάλη Ακρίβεια	80
7-2-10-1 Περιβάλλον και Εγκατάσταση της Συσκευής.....	80
7-2-10-2 Παράμετροι που επηρεάζουν τις μετρήσεις και το μέγεθος της επίδρασης τους ..	81
7-2-10-3 Απαιτήσεις του συστήματος μέτρησης	81
7-2-10-4 Απαιτήσεις πριν τις μετρήσεις	84
7-3 Μέτρηση	85
7-3-1 Γενικά.....	85
7-3-2 Διακόπτης DIL (DIL Switches).....	85
7-3-2-1 Θέση των διακοπών	85
7-3-2-2 Επιλογή πρωτοκόλλου διασύνδεσης.....	86
7-3-2-3 Χρήση των αποτελεσμάτων μέσω COM1 για AFSN	87
7-3-2-4 Ρυθμός Baud της σειριακής διασύνδεσης RS232	87
7-3-3 Λειτουργία με το AVL 4210 Instrument Controller	88
7-3-3-1 Ρύθμιση του AVL 4210 Instrument Controllers	88
7-3-3-2 Χειρισμός του AVL 4210 Instrument Controller	90
7-3-3-2-1 Επιλογή και ρύθμιση	92
7-3-3-2-2 Ρυθμίσεις που μπορούν να μεταβληθούν από τον χρήστη.....	93
7-3-4 Απλή μέτρηση-Προεπιλεγμένος όγκος/χρόνος δειγματοληψίας	95
7-3-5 Πολλαπλές Μετρήσεις-Προεπιλεγμένος όγκος/χρόνος δειγματοληψίας	96
7-3-6 Συγχρονισμένες Μετρήσεις με προεπιλεγμένο όγκο ή χρόνο δειγματοληψίας	96
7-3-7 SPECIAL μέτρηση	98
7-3-8 Auto-Range Μέτρηση	99
7-3-8-1 Auto-Range με Προμέτρηση	99
7-3-8-2 Auto-Range Online.....	100
7-4 Παραμετροποίηση και ρυθμίσεις των μετρήσεων	101
7-4-1 Γενικά.....	101
7-4-2 Data Backup.....	102
7-4-3 System Parameters.....	103
7-4-4 Pollution parameters	104
7-4-5 Calibration Parameters.....	106
7-4-6 Global Parameters (Γενικοί Παράμετροι).....	107
7-4-7 Manual Parameters (Παράμετροι για Χειροκίνητη Λειτουργία).....	108
7-4-8 Λειτουργία με θέρμανση (Heating Option)	109
7-5 Συνοπτική Περιγραφή της Λειτουργίας του Αναλυτή AVL 415s	110
7-5-1-1 Απλή μέτρηση με προεπιλεγμένο όγκο/χρόνο δειγματοληψίας	110
7-5-1-2 Μέτρηση με Χρήση AutoRange	112
7-5-2 Μέτρηση σε Μεταβαλλόμενες Συνθήκες Λειτουργίας του Κινητήρα	112
7-5-3 Ειδική Μέτρηση (Special)	113
Κεφάλαιο 8 ^ο Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Μετρήσεων με Χρήση της Συσκευής AVL415s σε Δοκιμαστική Λειτουργία και Αξιολόγηση	118
8-1 Παρουσίαση μετρούμενων μεγεθών	119
8-2 Επεξεργασία Μετρούμενων Αποτελεσμάτων.....	120
8-3 Ενδεικτική Συγκριτική Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων του αναλυτή AVL 415s με το αναλυτή τύπου Bosch RTT100	121
8-3-1 Οι εκπομπές αιθάλης σε mg/m ³ και % και FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα.....	122
Κεφάλαιο 9 ^ο Συμπεράσματα	126
Κεφάλαιο 10 ^ο Βιβλιογραφία	128

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί το τελευταίο στάδιο της προπτυχιακής πορείας των σπουδών μου στην Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. πιστεύω ότι η παρούσα εργασία είναι η πιο δημιουργική δραστηριότητα μου στο Ίδρυμα και για αυτό το λόγο ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου Δημήτριο Χουντάλα ο οποίος πραγματικά κατά την διάρκεια της εργασίας μου, με βοηθούσε πάρα τις δυσκολίες μου στην γλώσσα. Ο οποίος με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε αμέριστα σε όλα τα στάδια της εργασίας μου.

Κεφάλαιο 1

«Περιγραφή και βασικές αρχές του κινητήρα Diesel»

1-1 Περιγραφή και βασικές αρχές του κινητήρα Diesel¹

Οι Μηχανές Εσωτερικές Καύσης (Μ.Ε.Κ.) χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Τους κινητήρες Diesel και τους κινητήρες Otto. Οι κινητήρες Diesel μπορούν να διακριθούν σε δίχρονους (2-X) και τετράχρονους (4-X), όπως επίσης και οι κινητήρες Otto. Αναφορικά με τις διαφορές ανάμεσα στους κινητήρες Diesel και τους κινητήρες Otto, επισημαίνεται ότι η βασικότερη εξ'αυτών έγκειται στην λειτουργία τους και πιο συγκεκριμένα στον μηχανισμό της καύσης. Στους κινητήρες Diesel σημειώνεται αυτανάφλεξη (αυτόματη ανάφλεξη) του μείγματος καυσίμου-αέρα λόγω των κατάλληλων συνθηκών που επικρατούν εντός του κυλίνδρου κατά την χρονική στιγμή που εγχύεται το καύσιμο, καθώς ο περιεχόμενος εντός του κυλίνδρου αέρας έχει συμπιεστεί και θερμανθεί (με αποτέλεσμα να έχει φτάσει σε υψηλή θερμοκρασία). Αντίθετα, στους κινητήρες Otto η ανάφλεξη γίνεται με την βοήθεια κάποιου εξωτερικού ηλεκτρικού μέσου (σπινθηριστής).

Εξ'άλλου, σε αντίθεση με τους κινητήρες Otto, στους κινητήρες Diesel η ρύθμιση της ισχύος είναι ποιοτική, επιτυγχάνεται δηλαδή με αλλαγή της ποιότητας του μείγματος καυσίμου-αέρα (δηλαδή του λόγου καυσίμου-αέρα) μες στο κύλινδρο. από την στιγμή που το καύσιμο εγχύεται κατευθείαν (με υγρή μορφή του) μες στον κύλινδρο, η ρύθμιση της ποιότητας γίνεται αλλάζοντας μονό την ποσότητα του εγχυμένου καυσίμου, γιατί η ποσότητα του αέρα που αναρροφείται στους ατμοσφαιρικούς κινητήρες diesel, για όλα τα φόρτια με σταθερή ταχύτητα στροφών, σχεδόν είναι ίδια.

Οι κινητήρες Diesel χρησιμοποιούν ως καύσιμο τα βαρύτερα της βενζίνης υγρά καύσιμα της κατηγορίας των πετρελαίων, που γενικά είναι φθηνότερα της βενζίνης, όπως είναι για παράδειγμα το αεριέλαιο ή στους μέσων και μεγάλων διαστάσεων κινητήρες Diesel, το ελαφρύ ή βαρύ καύσιμο λεβήτων.

Στους κινητήρες Diesel το καύσιμο (σε υγρή φάση) εγχύεται απ'ευθείας μέσα στον κύλινδρο (περί το Άνω Νεκρό Σημείο-Α.Ν.Σ.), προς το τέλος της φάσης της συμπίεσης. Η έγχυση λαμβάνει χώρα υπό την επίδραση υψηλών πιέσεων (150-2000 bar) που δημιουργούνται από το σύστημα έγχυσης του κινητήρα. Η αντλία του συστήματος έγχυσης κινείται μέσω του εκκεντροφόρου άξονα του κινητήρα. Στους

¹ Από το όνομα του Γερμανού εφευρέτη τους Rudolf Diesel

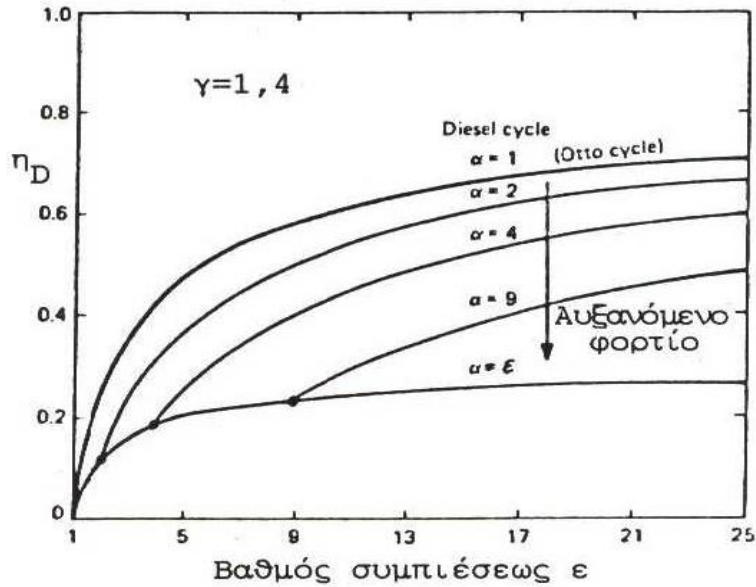
μικρούς κινητήρες συναντάται μονό μια κεντρική πολυκυλινδρή αντλία, ενώ αντίθετα στους μεγάλους κινητήρες Diesel, εΐθισται συνήθως κάθε κύλινδρος να έχει μια ανεξάρτητη αντλία που λαμβάνει ισχύ κατευθείαν από τον εκκεντροφόρο άξονα.

Στους κινητήρες Diesel σημειώνεται η καύση ετερογενούς μείγματος καυσίμου-αέρα. Το μείγμα χαρακτηρίζεται έτσι, γιατί η αναλογία καυσίμου-αέρα δεν είναι σταθερή σε όλο τον όγκο του κυλίνδρου. Ως εκ τούτου, είναι δυνατόν σε κάποια σημεία μέσα στον κύλινδρο το μείγμα καυσίμου-αέρα να είναι φτωχό και σε άλλα σημεία να είναι πιο πλούσιο. Αντίθετα, στους κινητήρες Otto παρατηρείται η καύση ομογενούς μείγματος καυσίμου-αέρα (φλόγα προαναφλέξεως).

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στους κινητήρες Diesel το καύσιμο εγχύεται απ'ευθείας μέσα στον κύλινδρο και εν συνεχεία σημειώνεται αυτανάφλεξη του καυσίμου. Για να είναι όμως δυνατή η αυτανάφλεξη του μείγματος καυσίμου-αέρα, πρέπει να επικρατεί εντός του κυλίνδρου μια κατάλληλη θερμοκρασία, η όποια θα εξασφαλίζει ικανοποιητική ταχύτητα καύσεως με συνεχόμενη, απότομη αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η ελαχίστη τιμή της θερμοκρασίας αυτής ονομάζεται **θερμοκρασία αυτανάφλεξεως Θ_z** , η όποια είναι συνάρτηση της καθυστέρησης ανάφλεξεως t_z . Ο χρόνος καθυστέρησης ανάφλεξεως t_z είναι ο χρόνος εκείνος που πρέπει να παρέλθει από την στιγμή που το μείγμα καυσίμου-αέρα, εντός του κυλίνδρου κύλινδρο, αποκτάει την θερμοκρασία θ_z μέχρι την στιγμή που ξεκινάει η διαδικασία της καύσης. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι πρέπει το καύσιμο που χρησιμοποιείται στο κινητήρα diesel να έχει μικρή Θ_z , για να καίγεται γρήγορα και απότομα σε μεγάλη ποσότητα, μόλις εγχύεται μέσα στον κύλινδρο.

Η αύξηση των θερμοκρασιακών επιπέδων και η επίτευξη της θερμοκρασίας αυτανάφλεξεως (θ_z) είναι δυνατή μόνο κατά την διάρκεια της φάσης της συμπίεσης του αέρα στον κύλινδρο. Είναι φανερό λοιπόν, ότι είναι απαραίτητο και καθοριστικό για την λειτουργία του κινητήρα να έχουμε πολύ μεγάλο βαθμό συμπίεσης (ϵ). Για τον λόγο αυτό οι κινητήρες Diesel κατασκευάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν με μεγάλους βαθμούς συμπίεσεως (από 12 έως και 24 για κινητήρες με διμερείς θαλάμους καύσης).

Λόγω του υψηλού βαθμού συμπίεσεως, οι κινητήρες Diesel έχουν πολύ καλύτερο θερμικό βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους αντίστοιχους κινητήρες Otto, γεγονός το οποίο φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα βαθμού απόδοσης – βαθμού συμπίεσης

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι συνθήκες υπό τις οποίες λαμβάνει χώρα η καύση στους κινητήρες Diesel είναι ιδιαίτερα δυσμενείς. Λόγου ότι στους κινητήρες Diesel όλη η διαδικασία του ψεκασμός και ατμοποίηση και ανάμιξη του καυσίμου με αέρα, αντιστοιχούν μοναχά σε λίγες μοίρες γωνιάς στροφάλου, τότε αναγκαστικά θα γίνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Η λειτουργία των κινητήρων Diesel οριοθετείται από δύο σημαντικούς περιορισμούς:

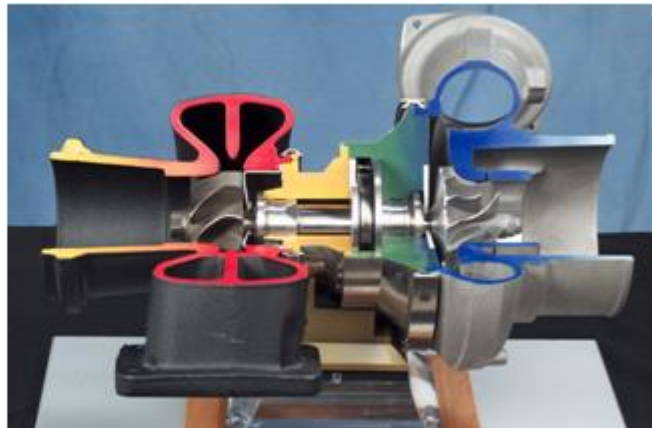
- Περιορισμός στην ταχύτητα περιστροφής
- Περιορισμός στον λόγο ισοδυναμίας αέρα (λ_a).

Πράγματι οι κινητήρες Diesel σε σχέση με τους κινητήρες Otto είναι αρκετά αργόστροφοι με τιμές ταχύτητας περιστροφής, που για τους πλέον ταχύστροφους δεν ξεπερνούν τις 5000 με 5500 rpm. Η μεγάλη τιμή του λ σε σχέση με το Otto έχει σαν πλεονέκτημα την οικονομία του καυσίμου αλλά σαν μειονέκτημα έχει την απαίτηση μεγάλων διαστάσεων του κινητήρα για δεδομένη συγκέντρωση ισχύος. Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί έως ένα βαθμό με την υπερπλήρωση (turbocharging)². Παρ' όλα αυτά, λόγω του ίδιου του θερμοδυναμικού τους κύκλου (κύκλος Diesel), οι πιέσεις των αερίων που αναπτύσσονται κατά τον

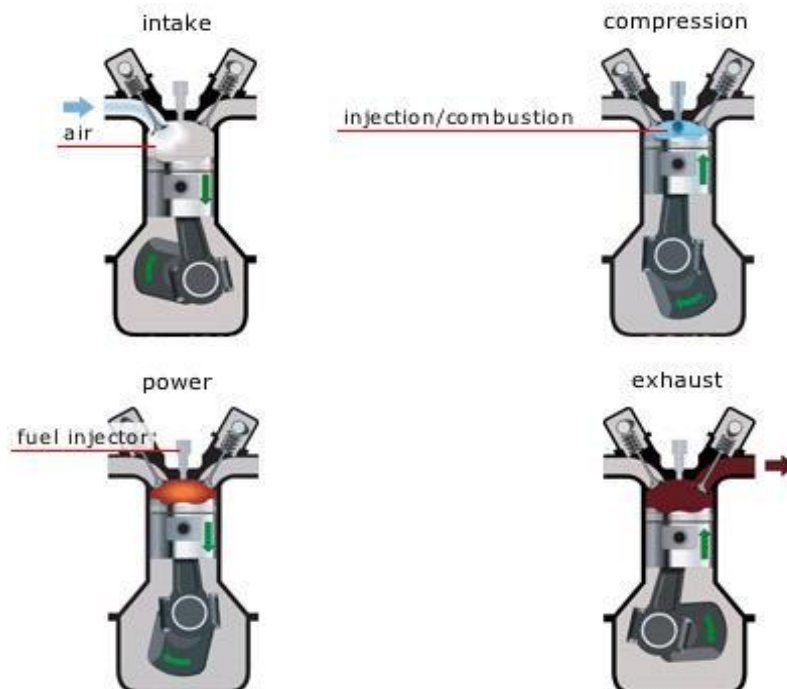
² Προ-συμπίεση μέρους ή όλης της γόμωσης (μόνο αέρα) εξωτερικά του κυλίνδρου με την βοήθεια κάποιου συμπιεστή με σκοπό την αύξηση της πυκνότητας του εισερχομένου αέρα και επομένως σημαντική αύξηση της παραγόμενης ισχύος του κινητήρα

κύκλο λειτουργίας τους είναι αρκετά υψηλές, ιδιότητα που έχει ως αποτέλεσμα οι πετρελαιοκινητήρες να εμφανίζουν αρκετά υψηλές τιμές ροπής, αλλά και κατασκευαστικά να είναι αρκετά στιβαροί (βαρείς και ογκώδεις). Πράγματι, το μεγάλο πλεονέκτημα της υψηλής ροπής που παρουσιάζουν, τους καθιστά κυρίαρχους σε ότι αφορά την κάλυψη μεγάλων φορτίων, γεγονός που δικαιολογεί και την ευρεία εφαρμογή τους στις μεταφορές (φορτηγά, πρόωση πλοίων, αμαξοστοιχίες, ηλεκτρομηχανές) και στην ηλεκτροπαραγωγή.

Σχήμα 1.2
Turbocharger



Η λειτουργία ενός 4-Χ κινητήρα Diesel, όπως φαίνεται και από το σχετικό σχήμα, περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα στάδια:



Σχήμα 1.3 λειτουργία στον τετράχρονο (4-Χ) diesel

A- Intake (αναρρόφηση) : Κατά την διάρκεια αυτής της φάσης, αναρροφάται καινούρια ποσότητα αέρα (φρέσκου αέρα), η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την καύση του καυσίμου.

B- Compression (συμπύεση): Η περιστροφική κίνηση της στροφαλοφόρου ατράκτου αναγκάζει το έμβολο να κινηθεί προς τα πάνω, συμπιέζοντας την ποσότητα αέρα που παγιδεύτηκε εντός του κυλίνδρου κατά την διάρκεια της φάσης της αναρρόφησης.

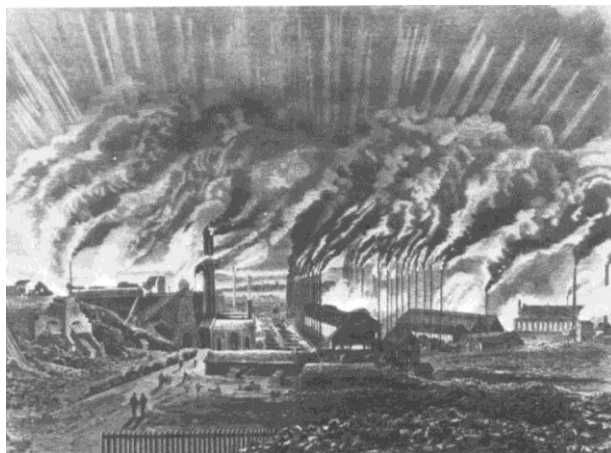
Γ- Power (εκτόνωση) : σε αυτήν την φάση θα έχουμε τον ψεκασμό του καύσιμου περί του Άνω Νεκρού Σημείο (ΑΝΣ). Μετά από τον ψεκασμό του καύσιμου, θα έχουμε ένα μίγμα καύσιμου-αέρα το οποίο δεν έχει ομοιομορφία σε ότι αφορά την αναλογία καύσιμου-αέρα . μετά τον ψεκασμό και μετά από έναν χρόνο καθυστέρησης αναφλέξεως ξεκινά η διαδικασία της καύσης και επομένως εκτόνωση. Το έμβολο με δύναμη κατεβαίνει προς τα κάτω

Δ- Exhaust (εξαγωγή) : Ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και το ανερχόμενο έμβολο σπρώχνει τα προϊόντα της καύσης να βγουν από τον κύλινδρο. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι κλειστή.

Κεφάλαιο 2

« Το Πρόβλημα της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης »

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν αποτελεί νέο φαινόμενο. Ένας από τους λόγους που οδήγησε τις πρώτες φυλές σε νομαδική ζωή ήταν η ανάγκη της περιοδικής απομάκρυνσης από την δυσσομία, την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα, καθώς γέμιζε τον αέρα στις περιοχές κατοικίας με τα προϊόντα της ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μετά Χριστό στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη. Αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου με αποτέλεσμα ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκαμίνους του Λονδίνου. Η βιομηχανική επανάσταση κατά τον 19^ο αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως -και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου- για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων εξ' αιτίας του καπνού και της στάχτης.



Σχήμα 2.1 Χαρακτική η οποία εμφανίζει ένα χυτήριο στην βιομηχανική περιοχή Saar της Γερμανίας (1876).

Παρ' όλο που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό προνόμιο της σύγχρονης εποχής, μια σειρά από μεγάλα επεισόδια τις τελευταίες δεκαετίες μας υπενθύμισαν το μέγεθος του προβλήματος και την ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε.

Το πρόβλημα της εκπομπής ρύπων από τις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ έχει γίνει πιο σημαντικό τα τελευταία χρόνια, μετά από προβλήματα που είχαν αρχίσει την δεκαετία '60-'70 να απασχολούν το κοινό όπως το φωτοχημικό νέφος στην πόλη Los Angeles των Η.Π.Α. λόγω της εκπομπής ρύπων κυρίως από τους κινητήρες Otto.



Σχήμα 2.2 Φωτοχημικό νέφος στην Los Angeles

Ο κύριος ρύπος που θα απασχολήσει την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η **αιθάλη (SOOT)**. Η αιθάλη είναι ο ρύπος που παράγεται σχεδόν αποκλειστικά από τους κινητήρες Diesel.

Άλλοι ρυπαντές που παράγονται από τις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ είναι και οι ακόλουθοι:

- NO_x (οξειδία του αζώτου)
- CO (μονοξείδιο του άνθρακα)
- HC (άκαυστοι υδρογονάνθρακες)

Οι ρύποι αυτοί, μαζί και με την αιθάλη, ονομάζονται **ελεγχόμενοι ρύποι (regulated emissions)**. Ονομάζονται έτσι επειδή τα επίπεδα συγκέντρωσης των ρύπων αυτών στα καυσαέρια των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. είναι οριοθετημένα από τον νόμο σε ανεπτυγμένες χώρες όπως είναι οι Η.Π.Α, η Ε.Ε και η Ιαπωνία. Επειδή τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους εμβολοφόρους Μ.Ε.Κ δεν διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα (C) και υδρογόνο (H_2), οι ρύποι που αναφέραμε προηγουμένως είναι πρακτικά οι ίδιοι τόσο στους κινητήρες Diesel όσο και στους κινητήρες Otto. Η διαφορά στις εκπεμπόμενες ποσότητες ρύπων ανάμεσα στους δύο τύπους κινητήρων οφείλεται στον διαφορετικό μηχανισμό καύσης που παρατηρείται σε κάθε κινητήρα. Έτσι, τα οξειδία του αζώτου (NO_x)

εμφανίζονται σχεδόν με την ίδια συγκέντρωση και στους δυο κινητήρες, η εκπομπή CO είναι δύο τάξεις μεγέθους μικρότερη στους Diesel και οι εκπομπές HC μια τάξη μεγέθους μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες των κινητήρων Otto.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ρύποι που εκπέμπονται από τους κινητήρες Diesel και τους κινητήρες Otto ως προς το είδος τους είναι σχεδόν ίδιοι, με την εξαίρεση της αιθάλης. Η αιθάλη είναι τα σωματίδια που σχηματίζονται στη διάρκεια της καύσης. Η ποσότητα της αιθάλης στους diesel, αυξάνεται συνήθως με την απότομη αλλαγή φορτίου του κινητήρα και είναι σημαντική ιδίως στα μεγάλα φορτία του κινητήρα όπου σε μερικές περιπτώσεις καταλήγει στην εμφάνιση μαύρου καπνού στην εξάτμιση. Η αιθάλη είναι η αιτία σχηματισμού της **αιθαλομίχλης (SMOG³)** στις μεγάλες πόλεις.



Σχήμα 2.3 - Αιθαλομίχλη την δεκαετία του 30 στο Pittsburgh

Πέραν τούτου, τα σωματίδια της αιθάλης, λόγω του μικρού τους μεγέθους (0,1 μm) προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και ειδικότερα στους πνεύμονες κατά την εισπνοή.

Γενικότερα τα οι ρύποι χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

Πρωτεύοντες ρύποι: Έτσι ονομάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή σχηματισμού τους.

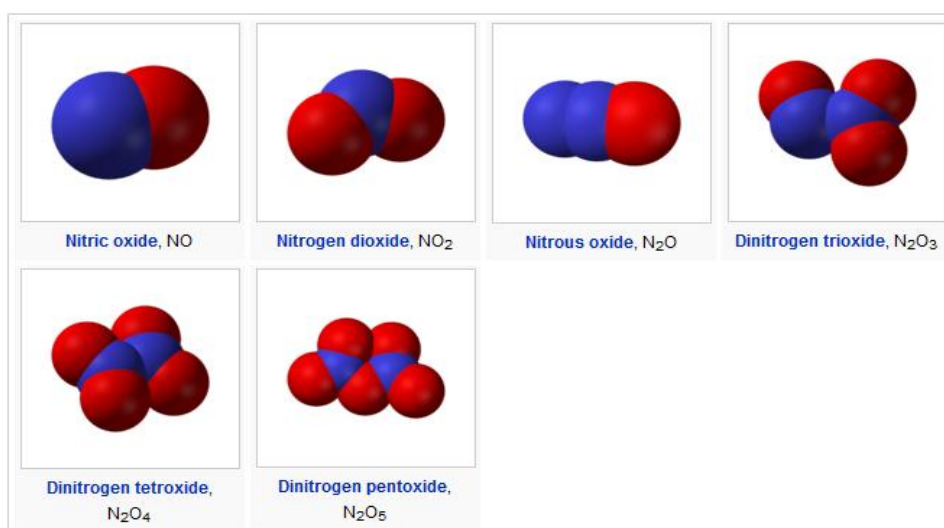
Δευτερογενείς ρύποι: Έτσι ονομάζονται οι ρύποι που παράγονται από αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων και της ατμόσφαιρας και επηρεάζουν το περιβάλλον και την ανθρωπινή υγεία με διάφορους τρόπους.

³ Προέρχεται από τις λέξεις SMOke (αιθάλη) και foG (ομίχλη)

Ενας από τους πιο σημαντικούς ρυπαντές με διαφόρους δευτερογενούς ρύπους που παράγονται από εμβολοκινητήρες Μ.Ε.Κ είναι τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Τα NO_x προκαλούν διάφορα προβλήματα, από τα οποία μπορούμε να αναφέρουμε την όξινη βροχή που προκαλεί καταστροφή στα αυτοκίνητα, στα κτίρια, σε ιστορικά μνημεία καθώς και σε οικοσυστήματα (π.χ λίμνες) λόγω του έντονα όξινου περιεχομένου της (νιτρικά και θειικά οξέα).

Επισης ένας άλλος δευτερογενώς ρύπος που παράγεται μετά την αντίδραση των NO_x με ασταθή οργανικά μίγματα (VOC_s) είναι το όζον (O_3). Το όζον Αποτελεί μια [αλλοτροπική](#) μορφή του Οξυγόνου και είναι ασταθέστερο από τη διατομική του έκφανση (O_2) . Είναι αέριο ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρό τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο ύδωρ και όπως είναι ασταθές και εύκολα διασπάται δεν αφήνει υπολείμματα. Ενώ Το όζον στα υψηλότερα στρωματά της ατμόσφαιρας είναι πολύ χρήσιμο , γιατί προλαμβάνει την επιβλαβή [υπεριώδη ακτινοβολία](#) από το να φτάσει στην επιφάνεια της γης, είναι ιδιαίτερα επιβλαβές όταν βρίσκεται στα πολύ χαμηλά (επίπεδο της θάλασσας) γιατί προκαλεί ζημιά στους ιστούς των πνευμόνων και επομένως δυσλειτουργία κατά την αναπνοή.

Από τις άλλες επιπτώσεις που προκαλούν τα NO_x όταν βρίσκονται στο περιβάλλον πέρα του ότι αποτελούν μερικά από τα αέρια που συμβάλουν στο **φαινόμενο του θερμοκηπίου** , στα NO_x αποδίδεται διαταραχή της τροφικής αλυσίδας στη φύση (φαινόμενο του **ευτροφισμού**).



Σχήμα 2.4 διάφοροι σχηματισμοί των NO_x

Γενικότερα προτείνονται δυο μεθόδους για τον έλεγχο των ρύπων στους κινητήρες Μ.Ε.Κ . Η μια κατηγορία είναι οι πρωτογενείς μέθοδοι ,δηλαδή εκείνες που βασίζονται στην βελτίωση του μηχανισμού της καύσης και γενικότερα στο σχεδιασμό του θαλάμου καύσης και των συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου ώστε να έχουμε λιγότερη παράγωγή ρύπων μέσα στο κινητήρα. Η άλλη κατηγορία είναι οι δευτερογενείς μέθοδοι , δηλαδή εκείνες που βασίζονται στο περιστολή των παραγομένων ρυπογόνων ουσιών σε καταλύτες , παγίδες στέρεων σωματιδίων κλπ. Όμως γενικά Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην πρώτη κατηγορία των μεθόδων γιατί αυτό βοηθά να λυθεί το πρόβλημα στην πηγή του, δηλαδή να παράγονται λιγότεροι ρύποι.

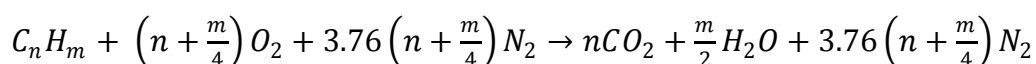
Κεφάλαιο 3

«Περιγραφή της Καύσης στον Κινητήρα Diesel»

3.1 Καύση και μηχανισμός της καύσης στον κινητήρα Diesel

3.1.1 Καύση

Πριν ξεκινήσουμε αυτό το κεφάλαιο είναι κάλο να γίνει μια αναφορά στην διαδικασία της καύσης στους κινητήρες Diesel. Η καύση είναι μια χημική αντίδραση των στοιχείων ενός καυσίμου με το οξυγόνο, μέσω της οποίας η ενεργεία των χημικών δεσμών των στοιχείων του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα. η γενική μορφή της χημικής εξίσωσης της στοιχειομετρικής καύσης είναι:



Αυτή η εξίσωση περιγράφει την τέλεια καύση. Για να είναι πρακτικά δυνατή η επίτευξη της τέλει καύσης πρέπει να διαθέτουμε ένα όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφο μείγμα καυσίμου-αέρα, έτσι ώστε όλα τα μόρια του καυσίμου να έρθουν σε επαφή με μόρια οξυγόνου O_2 και να αντιδράσουν.

Στους κινητήρες Diesel, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο, το καύσιμο εγχύεται σε υγρή μορφή μέσα στον κύλινδρο. Η επίτευξη ενός ομοιόμορφου μείγματος καυσίμου-αέρα είναι πιο δύσκολη στον κινητήρα Diesel σε σχέση με τον κινητήρα Otto. Όμως η ύπαρξη μεγάλης περισσειας αέρα στον κύλινδρο στους κινητήρες Diesel, βοηθά να έχουμε καλύτερη καύση.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στους κινητήρες Diesel σημειώνεται αυτανάφλεξη του καυσίμου (δηλαδή χωρίς εξωτερική βοήθεια). Για να είναι δυνατή η έναρξη της ταχεία καύσης σε τέτοιες συνθήκες, πρέπει το μείγμα να έχει αποκτήσει την θερμοκρασία Θ_Z (θερμοκρασία αυτανάφλεξης). Στον κινητήρα Diesel, η θερμοκρασία αυτή είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο με την συμπίεση του αέρα κατά την φάση της συμπίεσης. Από εκεί και περά, μετά την έναρξη της καύσης, η απαιτούμενη θερμότητα για την συντήρηση της καύσης γίνεται διαθέσιμη από την ίδια την καύση καθιστώντας έτσι την καύση του υπόλοιπου μείγματος αυτοσυντηρούμενη. Το καύσιμο εγχύεται περί το ANΣ, από τις οπές (διαμέτρου “d”) του ακροφυσίου του εγχυτήρα με την μορφή μιας δέσμης μεγάλης ταχύτητας “u”. Η δέσμη αυτή είναι αρχικά συμπαγής, με μορφή καθοριζόμενη κυρίως από την γεωμετρία του ακροφυσίου. Στην συνέχεια, αυτή διεισδύει μέσα στην μάζα του πυκνού και συμπιεσμένου αέρα, υφιστάμενη επιβράδυνση λόγω των μορίων του

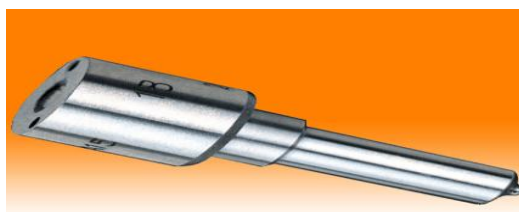
αέρα, που τελικά συμβάλει στην ανάμειξη του καυσίμου με την απαιτούμενη ποσότητα αέρα.

3.1.2 Καύση στον κινητήρα Diesel

Οι δύο κύριες τάσεις στον σχεδιασμό των σύγχρονων πετρελαιοκινητήρων είναι η επιθυμία για χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων και η βελτίωση της οικονομίας καυσίμου. Οι στόχοι αυτοί, που συχνά είναι αντικρουόμενοι, επιτυγχάνονται μέσω της βελτίωσης του σχεδιασμού του θαλάμου καύσης, και της έγχυσης και της κίνησης του αέρα στον κύλινδρο. Αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στις διεργασίες καύσης σε κινητήρες ντίζελ και πώς αυτές επηρεάζουν τους στόχους των χαμηλών εκπομπών και χαμηλή κατανάλωση καυσίμου.

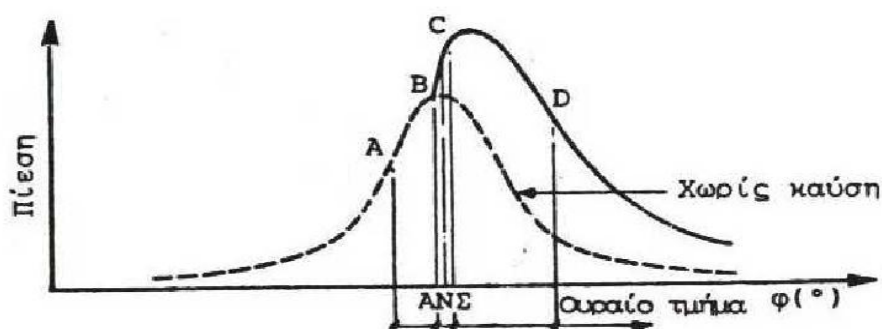
Η διαδικασία της καύσης συνεπάγεται την ύπαρξη αερίων, υγρών και στερεών (αιθάλης) φάσεων εντός του κυλίνδρου, όπως επίσης και την πραγματοποίηση πολύπλοκων φυσικών και χημικών αντιδράσεων. Παρά την πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυτής, οι ερευνητές γενικά συμφωνούν σχετικά με την ακολουθία των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στον θάλαμο καύσης.

Η καύση Diesel είναι γενικά η διαδικασία κατά την οποία ένα καύσιμο, που έχει επιλεγεί λόγω της αυταναφλεξιμότητά του, εγχύεται σε όγκο αέρα που έχει συμπιεστεί και έχει αποκτήσει υψηλή θερμοκρασία και πίεση μέσα στον κύλινδρο. Το καύσιμο δεν καίγεται αμέσως, αφού πρέπει πρώτα να παρέλθει ένα χρονικό διάστημα, που ονομάζεται **καθυστέρηση ανάφλεξης**, κατά το οποίο το καύσιμο εξατμίζεται, αναμειγνύεται με τον αέρα, και υφίσταται χημικές αντιδράσεις που παράγουν τα χημικά στοιχεία που είναι αναγκαία για την αυτανάφλεξη. Γενικά η διαδικασία της εξάτμισης πραγματοποιείται ταχύτατα. Σε ορισμένες μηχανές μάλιστα, η εξάτμιση έχει ήδη ολοκληρωθεί εντός ολίγων χιλιοστών από το ακροφύσιο του εγχυτήρα.



Σχήμα 3.1 το ακροφύσιο εγχυτήρα

Μετά το πέρας αυτού του μικρού χρονικού διαστήματος, η ανάφλεξη λαμβάνει χώρα σε περιοχές του μείγματος καυσίμου-αέρα που έχουν αναλογίες καυσίμου-αέρα κοντά στην στοιχειομετρική. Η καύση προχωρεί γρήγορα λόγω της έτοιμης μείγματος καυσίμου-αέρα που σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια της καθυστέρησης ανάφλεξης. Η ταχέως αυξανόμενη θερμοκρασία και η πίεση στον κύλινδρο, επιταχύνει την καύση ως ότου ο προς καύση όγκος του προετοιμασμένου μείγματος εξαντληθεί. Όμως το μείγμα καυσίμου-αέρα στον πυρήνα της δέσμης εξακολουθεί να είναι πολύ πλούσιο για να μπορέσει να καεί. Αντίθετα, το μείγμα στην περιφέρεια της δέσμης είναι πολύ φτωχό, με αποτέλεσμα η καύση να επιβραδύνεται και να ελέγχεται από τον ρυθμό με τον οποίο συμπαρασύρεται ο αέρας και τον ρυθμό που σχηματίζεται το μείγμα καυσίμου-αέρα. Το πρώτο στάδιο της καύσης, όπου το προετοιμασμένο καύσιμο καίγεται γρήγορα, είναι γνωστό ως **Ανεξέλεγκτη καύση ή προαναμεμειγμένη (*premixed*)** φάση, ενώ η δεύτερη φάση είναι γνωστή ως η **κανονική ή ελεγχόμενη καύση (*mixing-controlled*)**.



Σχήμα 3.2 οι φάσεις της καύσης. AB χρόνος καθυστέρησης , BC ανεξέλεγκτη καύση , CD ελεγχόμενη καύση

Το ποσοστό της καύσης κατά τη διάρκεια της ελεγχόμενης καύσης εξαρτάται από την κίνηση του αέρα και το ρυθμό έγχυσης. Η καύση ξεκινά με αρκετά μεγάλη εντάση, διότι υπάρχει μεγάλη περίσσεια αέρα και ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται γρήγορα. Μετά το τέλος της έγχυσης καυσίμου, ιδιαίτερα σε υψηλά φορτία, όταν δεν υπάρχει τόσο πολύ περίσσεια αέρα, σε σχέση με ελαφρά φορτία, η ταχύτητα καύσης μειώνεται σταδιακά προς μηδέν.

3.1.2.1 Στοιχειομετρική καύση

Είναι κατανοητό ότι η καύση στο κινητήρα Diesel δεν είναι στοιχειομετρική. Όμως είναι χρήσιμο να συγκριθούν η πραγματική αναλογία καύσιμο-αέρα στον κύλινδρο με τη στοιχειομετρική του.

Δεδομένου ότι η σύνθεση του καυσίμου diesel ποικίλλει σημαντικά, χρησιμοποιείται η Μέθοδος D5291 από την American Society for Testing and Materials (ASTM) για το προσδιορισμό των ποσοστών υδρογόνου και άνθρακα στο καύσιμο. Αν είναι διαθέσιμο και το μέσο μοριακό βάρος, μπορεί να προσδιοριστεί το ισοδύναμο μόριο των υδρογονανθράκων. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί το μοριακό βάρος καυσίμου είναι η Universal Oil Products Method 375-86 που βασίζεται στις ιξώδες του καυσίμου, τη πυκνότητα, και την καμπύλη απόσταξης⁴.

Ένα τυπικό καύσιμο ντίζελ έχει μοριακό βάρος 183, κλάσμα μάζας άνθρακα 86,57%, και υδρογόνου 13,43%. Κατά μάζα για ένα μόριο υδρογονάνθρακα του εντύπου C_xH_y, τα X και Y πρέπει να είναι έτσι ώστε :

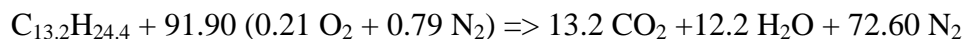
$$X(12.0111) + Y(1.00797) = 183$$

Σε 1 kg καυσίμου, υπάρχουν 0,8657 χιλιόγραμμα άνθρακα ή 0,0721 kmol και 0,1343 kg υδρογόνου ή 0,1332 kmol. Άρα,

$$y/x = 0.1332/0.0721$$

αυτό το σύστημα των δυο εξισώσεων έχει δυο άγνωστους . Εάν επιλυθεί προκύπτει X= 13.2 και Y= 24.4 . Το ισοδύναμο του καυσίμου ντίζελ θα είναι C_{13.2}H_{24.4}.

Η στοιχειομετρική αντίδραση για αυτό το καύσιμο θα έχει ως ακολούθως :



Η μοριακή αναλογία αέρα-καυσίμου στο στοιχειομετρικό μείγμα είναι 91,90 kmol αέρα / kmol καυσίμου, η οποία μπορεί να μετατραπεί ως εξής:

⁴ Universal Oil Products, 'Calculation of UOP Characterization Factor and Estimation of Molecular Weight of Petroleum Oils,' UOP Method 375-86, Universal Oil Products, Des Plaines, Illinois (1986)

$$91.90 \frac{\text{Kmol Αέρα}}{\text{Kmol κάυσιμο}} \times \frac{28.97 \text{ kg Αέρας}}{\text{Kmol Αέρα}} \times \frac{\text{Kmol κάυσιμο}}{183 \text{ kg κάυσιμο}} = 14.55 \frac{\text{Kmol Αέρα}}{\text{Kmol κάυσιμο}}$$

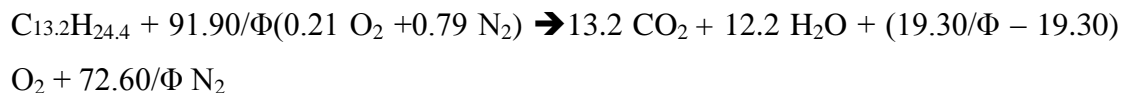
Η σχέση ισοδυναμίας ορίζεται ως η πραγματική αναλογία αέρα-καυσίμου διαιρούμενη με την στοιχειομετρική. Αν σε μια μηχανή ο λόγος αέρα-καύσιμο είναι 30:1, τότε ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου θα είναι :

$$\phi = \frac{F/A)_{actual}}{F/A)_{stoich}} = \frac{1/30}{1/14.55} = 0.485$$

Το ποσοστό αυτό δείχνει ότι ο κινητήρας χρησιμοποιεί λιγότερο από το μισό του αέρα που υπάρχει διαθέσιμος. Ο χρησιμοποιημένος αέρας στους πετρελαιοκινητήρες κατά κανόνα περιορίζεται συνήθως σε $0 < \phi < 0.7$. Υψηλότερες σχέσεις ισοδυναμίας προκαλούν υπερβολική εκπομπή καπνού.

3.1.2.2 Πλήρη καύση (Τέλεια καύση)

Η στοιχειομετρική εξίσωση του πραγματικού καυσίμου Ντίζελ μπορεί να εκφράζεται ως ακολούθως:



Η εξίσωση προϋποθέτει πλήρη καύση, δηλ. παράγει μόνο CO_2 και HO_2 . Εκτός από την παρουσία μικρών ποσοτήτων ειδών ρύπων, αυτή η εξίσωση περιγράφει με ακρίβεια τα καυσαέρια των κινητήρων Diesel.

Σε υψηλές θερμοκρασίες, μέρος του CO_2 διασπάται σε CO και O_2 , και το H_2O σε H_2 , OH , O , και H . Ακόμα το O_2 και το N_2 μπορούν να διασπαστούν στα άτομα N και O .

Ορισμένες από αυτές τις ενώσεις είναι παρούσες μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες και εξαιρετικά αντιδραστικές. Καλούνται ρίζες (radicals) και συμμετέχουν στη διαδικασία της καύσης. Η συγκέντρωση των ριζών μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας χημική ισορροπία μέσω της ελαχιστοποίησης της θερμοδυναμικής συνάρτησης Gibb.

3.1.2.3 Χημική Ισορροπία και Χημική κινηματική

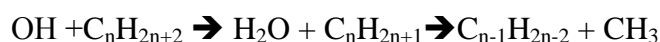
Όλες οι χημικές αντιδράσεις τείνουν να φέρουν τα συστήματα πιο κοντά στην ισορροπία . Γενικά ο ρυθμός μίας αντίδρασης αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, η οξείδωση των καυσίμων είναι πολύ αργή σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά είναι πολύ έντονη σε $T > 2000 \text{ K}$.

Η θεώρησης χημικής ισορροπίας είναι μια απλοποίηση η οποία συνήθως δεν ισχύει. Οι υπολογισμοί χημικής Ισορροπίας δείχνουν ότι ρύποι, όπως μονοξείδιο του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα δεν πρέπει να υπάρχουν στα καυσαέρια του κινητήρα Diesel . Αυτό φανερώνει ότι ο σχηματισμός αυτών των ρύπων ελέγχεται από χημική κινητική.

3.1.2.4 Καύση Υδρογονανθράκων

Για να γίνει ανάφλεξη σε χαμηλή θερμοκρασία , πριν από την ανάφλεξη, οι χημικές αντιδράσεις πρέπει να σχηματίζουν ρίζες. Ένας τρόπος να συμβεί αυτό είναι να σπαστούν οι δεσμοί C-C. Σε χαμηλές θερμοκρασίες οι δεσμοί C-C διαρπάζονται πιο εύκολα από ό, τι οι δεσμοί C-H, επειδή έχουν χαμηλότερη ενέργεια διάσπασης (80 kcal / mole σε σύγκριση με 90 έως 100 kcal / mole). Οι ρίζες που δημιουργούνται στη συνέχεια αφαιρούν υδρογόνο από άλλα μόρια.

Αν το περιβάλλον είναι πλούσιο σε οξυγόνο, σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες OH. Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες τείνουν να αντιδρούν με αυτό OH ως εξής:



Οι ρίζες $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ είναι από τη φύση τους ασταθείς και αποσυντίθεται σε αιθυλένιο, βουτυλένιο, και ισοβουτένιο.

Η οξείδωση τελικά μετατρέπει τον υδρογονάνθρακα σε CO στη συνέχεια σε CO_2 . Οι ολεφινικοί γίνονται αλδεΐδες και στην συνέχεια ακετυλένιο μέσω της οξείδωσης των υπολοίπων ριζών.

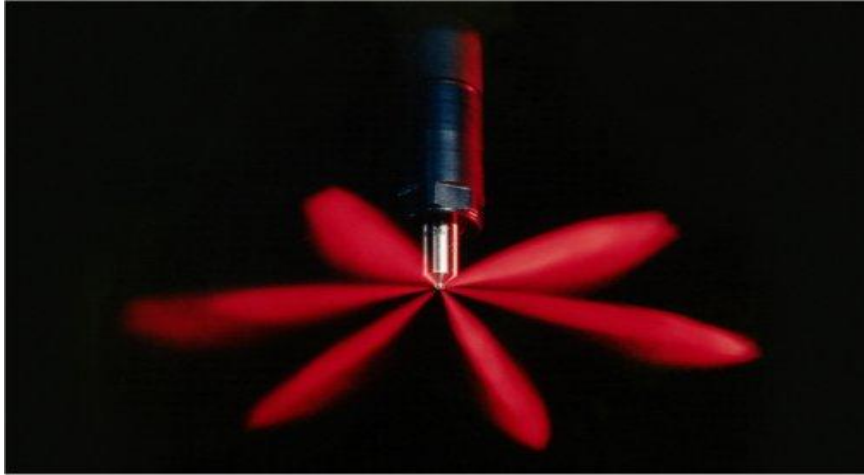
3.1.3 Η Καθυστέρηση Ανάφλεξης

Καθυστέρηση Ανάφλεξης ορίζεται ως η χρονική περίοδος από την έναρξη της έγχυσης καυσίμου έως την έναρξη της καύσης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το καύσιμο πρέπει να εξατμιστεί, να αναμειχτεί με τον αέρα, και υφίστανται αρχικές χημικές αντιδράσεις πριν από την αυτόματη ανάφλεξη (Ανεξέλεγκτη καύση). Η κλασική έννοια της καθυστέρηση ανάφλεξης προσδιορίζει την εξάτμιση και την διαδικασία ανάμειξης έως μια *φυσική καθυστέρηση* και τις χημικές αντιδράσεις έως *χημική καθυστέρηση*. Αυτή η έννοια μπορεί να είναι παραπλανητική, διότι όλες οι διαδικασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα. Γενικά ο χρόνος καθυστέρησης αναφλέξεως πρέπει πάντοτε να είναι όσο πιο δυνατό βραχύτερος, και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες.

Η θερμοκρασία του αέρα είναι η πιο σημαντική μεταβλητή που επηρεάζει την καθυστέρηση ανάφλεξης διότι επιταχύνει την εξάτμιση των ριζών.

Η χημική δομή του Καυσίμου είναι επίσης σημαντική διότι ορισμένα καύσιμα δεν αυτόαναφλέγονται εύκολα . Ο αριθμός κετάνιου είναι η ιδιότητα των καυσίμων που σχετίζεται με την αναφλεξιμότητα. Τα καύσιμα με υψηλό αριθμό κετάνιου (ελαφρύ πετρέλαιο CN>45) έχουν μικρή καθυστέρηση ανάφλεξης.

Επίσης ο καλός διασκορπισμός , επειδή δίνει καλύτερη διανομή του καυσίμου εντός της μάζας του αέρα και μικρότερη διάμετρο σταγονιδίων καυσίμου, επιφέρει μείωση του χρόνου ανάφλεξης. Ο αριθμός των οπών του ακροφυσίου του εγχυτήρα καυσίμου κυμαινόταν παλιότερα από 2-5 , ενώ στην σημερινή εποχή λόγω της όλης εξέλιξης έχουμε φτάσει τον αριθμό 8, παρέχοντας έτσι ισάριθμες δέσμες καυσίμου δυνάμενες να φέρουν το καύσιμο σε κάθε θέση του θαλάμου καύσης και να το διανεύουν όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφα εντός αυτού.



Σχήμα 3.3 Ψεκασμός καυσίμου υπό μορφή σπρέι

Γενικά οι υπερπληρωμένοι κινητήρες diesel έχουν πολύ μικρή καθυστέρηση ανάφλεξης στο πλήρες φορτίο, αλλά οι Diesel κινητήρες φυσικής αναπνοής και υπερπληρωμένοι στα μικρά φορτία μπορεί να έχουν καθυστέρηση ανάφλεξης μεταξύ 1 και 2 ms. Η καθυστέρηση ανάφλεξης μπορεί να μελετηθεί υπολογιστικά με εξισώσεις. Μια τέτοια εξίσωση, η οποία αναπτύχθηκε από Hardenberg και Hase⁵, παρουσιάζεται παρακάτω:

$$ID = [0.36 + 0.22\bar{U}_P] \exp \left[E_A \left(\frac{1}{RT_{im} r^{n_c-1}} - \frac{1}{17190} \right) + \left(\frac{21.2}{P_{im} r^{n_c} - 12.4} \right)^{0.63} \right]$$

Οπού:

ID = Περίοδος καθυστέρησης ανάφλεξης, έως μοίρα

\bar{U}_P = μέση ταχύτητα εμβόλου, m / s

$$E_A = \frac{618840}{CN+25}$$

CN = αριθμός κετάνιου του καυσίμου

R = γενική σταθερά των αερίων, 8.31434 J/kmol-K

T_{im}, P_{im} = θερμοκρασία και πίεση της εισαγωγής, K και bar

⁵ HARDENBERG, H. O. and HASE, F. W. 'An Empirical Formula for Computing the Pressure Rise Delay of a Fuel from its Cetane Number and from the Relevant Parameters of Direct Injection Diesel Engines,' *Society of Automotive Engineers Paper No. 790493*, SAE, Warrendale, PA (1979)

R = λόγος συμπίεσης

n_c = πολύτροπος εκθέτης

Η Καθυστέρηση ανάφλεξης είναι μια σημαντική μεταβλητή στην καύση ντίζελ, επειδή επηρεάζει την ποσότητα του καυσίμου που καίγεται στην φάση της ανεξέλεγκτης καύσης. Όταν τελικά συμβεί ανάφλεξη, αντιδρά πολύ καύσιμο και έχει ως αποτέλεσμα έντονη αύξηση της πίεσης. Η καύση αυτή πολλές φορές μοιάζει με τη κρουστική και έχει ως αποτέλεσμα υψηλό θόρυβο, η Ανεξέλεγκτη καύση συμβάλει σε υψηλά επίπεδα μονοξειδίου του αζώτου (NO) στην εξαγωγή. Στη συνέχεια το αέριο συμπιέζεται περαιτέρω κατά την καύση με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση των εκπομπών NO_x.

3.1.4 η Ανεξέλεγκτη καύση

Αυτό το στάδιο αρχίζει με την ανάφλεξη που δεν εμφανίζεται πάντοτε σε μια ορισμένη θέση. Εμφανίζεται στις θέσεις που έχει γίνει πληρέστερη φυσική και χημική προετοιμασία. Αυτές οι θέσεις είναι στην περιφέρεια σταγονιδίων που βρίσκονται στις παρυφές της δέσμης του καυσίμου. Στην συνέχεια σχεδόν ταυτόχρονα εμφανίζονται και άλλες εστίες ανάφλεξης που στην συνέχεια ενώνονται μεταξύ τους ταχέως, επεκτεινόμενες πρακτικώς σε όλη την μέχρι τη στιγμή εκείνη εγχυθείσα ποσότητα του καυσίμου.

Γενικά χρειάζεται μια πολύ μικρή ποσότητα θερμότητας για να αναφλεγεί η πρώτη εγχυθείσα ποσότητα του καυσίμου. η όποια έχει προετοιμαστεί φυσικώς και χημικώς στο στάδιο της καθυστέρησης αναφλέξεως. Στην συνέχεια της καύσης έχουμε απότομη αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο θάλαμο που επιταχύνει την καύση.

3.1.5 Η Ελεγχόμενη Καύση

Όταν αυτανάφλεγεται, το διαθέσιμο καύσιμο καίγεται πολύ γρήγορα, αυξανοντας σημαντικά τη πίεση του κυλίνδρου και παράγοντας το χαρακτηριστικό ήχο του. Το υπόλοιπο καύσιμο καίγεται με ένα ρυθμό που καθορίζεται από το ρυθμό της έγχυσης και της ανάμειξης.

Στο στάδιο αυτό το καύσιμο καίγεται με πολύ μικρό χρόνο καθυστέρησης αναφλέξεως, δηλαδή με τον δυνάμενο να ελεγχθεί από εμάς ρυθμό εγχύσεως του. Αυτό φυσικά ισχύει όταν υπάρχει στο κύλινδρο η απαιτούμενη ποσότητα αέρα. Η καύση συνεχίζεται μέχρι τέλος της φάσης της αποτονώσεως όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.

Η ανομοιογένεια στην διαδικασία της καύσης του ντίζελ είναι υπεύθυνη για μερικά από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του, αλλά και για ορισμένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα. Η έγχυση του καυσίμου σε αέρα υψηλής πίεσης εξασφαλίζει ότι ένα εύφλεκτο μείγμα θα υπάρχει πάντοτε κάπου στον κύλινδρο, ανεξάρτητα από το πόσο φτωχό το συνολικό μείγμα μπορεί να είναι. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο του φορτίου κινητήρα ντίζελ, χωρίς στραγγαλισμό της εισαγωγής.

Εντός της δέσμης, υπάρχουν περιοχές όπου υπάρχει λίγος αέρας. Καθώς η θερμοκρασία του καυσίμου αυξάνεται κατά τη μεταφορά θερμότητας και την επαφή με υψηλή θερμοκρασία τα αέρια προϊόντα που έχουν υψηλή θερμοκρασία παράγονται πολυπύρηντοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και αιθάλη.

Αν και μεγάλο μέρος της αιθάλης θα οξειδωθεί, πριν ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής, ένα τμήμα της παραμένει και θα εξέλθει στην εξαγωγή.

Η επιτάχυνση της διαδικασίας ανάμειξης καυσίμου-αέρα μπορεί να μειώσει την ποσότητα του καυσίμου στις πλούσιες ζώνες υψηλής θερμοκρασίας και, επομένως, την παραγωγή αιθάλης. Η μείωση της παραγωγής αιθάλης επιτυγχάνεται από υψηλές πιέσεις έγχυσης ή υψηλότερα επίπεδα συστροφής του αέρα.

Ωστόσο, αυτό θα συμβάλει σε υψηλότερα επίπεδα οξειδίων του αζώτου (NO_x). Σε γενικές γραμμές, οι αλλαγές στο σχεδιασμό του κινητήρα ή των παραμέτρων λειτουργίας που μειώνουν την εκπομπή σωματιδίων αυξάνουν τις εκπομπές NO_x και το αντίστροφο. Αυτή η αντίθεση συσχέτιση μεταξύ των εκπομπών σωματιδίων και

NOx είναι μία από τις κρίσιμες προκλήσεις για το σχεδιασμό των συστημάτων καύσης κινητήρων Ντίζελ.

Κεφάλαιο 4

«Η Περιγραφή του Μηχανισμού Σχηματισμού των Ρύπων»

4.1.Εισαγωγή

Η αντίδραση της καύσης έχει ως προϊόντα, όπως είναι γνωστό, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρατμό (H_2O) και θερμότητα η οποία αντιστοιχεί στη χημική ενέργεια των αντιδρώντων. Η διαδικασία της ανάμειξης του καυσίμου και του αέρα γίνεται παράλληλα με την καύση και έτσι παρατηρείται και το φαινόμενο της χημικής διάστασης. Αυτό σημαίνει ότι γίνονται και επιμέρους αντιδράσεις με αποτέλεσμα την ύπαρξη επιπλέον προϊόντων στα καυσαέρια εκτός από το CO_2 και το H_2O , τα οποία είναι N_2 , O_2 , CO , H_2 , OH , H , O , NO σε υπολογίσιμες ποσότητες και άλλα όπως αλδεΐδες, κετόνες, O_3 κτλ σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Οι αντιδράσεις χημικής διάστασης είναι ενδόθερμες, και ως εκ τούτου η ενέργεια που τελικά λαμβάνεται (για την παραγωγή του επιθυμητού μηχανικού έργου) είναι μικρότερη της αναμενόμενης. Το γεγονός αυτό δεν οφείλεται αποκλειστικά στην απώλεια ενέργειας λόγω των ενδόθερμων αντιδράσεων χημικής διάστασης αλλά και στο γεγονός ότι σημαντικό ποσό ενέργειας χάνεται λόγω των θερμικών απωλειών του κυλίνδρου.

Η χημική διάσταση επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία αλλά και από τη σύσταση του μείγματος (λόγος λ). Για θερμοκρασίες μικρότερες των 2000K η χημική διάσταση είναι αμελητέα. Συνθήκες οι οποίες υπάρχουν κατά την εξαγωγή των καυσαερίων και στο τέλος της εκτόνωσης. Επίσης για πολύ μικρές τιμές του λ (μικρότερες του $\lambda=0,33$) παράγονται και άλλες ουσίες όπως ακετυλνίιο (C_2H_2), στερεός άνθρακας C (αιθάλη) και υδροκυάνιο (HCN). Η τιμή 0,33 για το λ είναι πολύ μικρή, ενδεχομένως όχι ικανή για την ανάφλεξη του μείγματος στον κινητήρα Diesel. Όπως όμως τονίσθηκε και προηγουμένως, επειδή το μείγμα είναι αρκετά ετερογενές στον κύλινδρο, είναι δυνατή η παραγωγή αυτών των προϊόντων σε κάποια σημεία (ζώνες), λόγω των τοπικά διαφορετικών αναλογιών καυσίμου-αέρα.

Εκτός των προαναφερθέντων ουσιών, στην εξαγωγή του κινητήρα συναντώνται και οξειδία του θείου (SO_x), τα οποία οφείλονται στην ποσότητα θείου που ενδεχομένως περιέχεται στο καύσιμο. Στην συνέχεια θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στον τρόπο σχηματισμού τους και στην επίδραση των ουσιών NO_x , αιθάλη (C), CO και SO_x , οι οποίες είναι ιδιαίτερα τοξικές και επιβλαβείς.

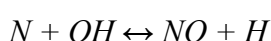
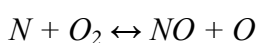
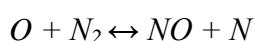
4.2 Τα Οξειδία του αζώτου NO_x

Στα καυσαέρια των κινητήρων Diesel τα οξειδία του αζώτου NO_x αποτελούνται από NO (μονοξείδιο του αζώτου), NO₂(διοξείδιο του αζώτου) και ενδεχομένως κάποια άλλα οξειδία όπως είναι για παράδειγμα το N₂O₅ (πεντοξείδιο του αζώτου). Στα μεσαία και μεγάλα φορτία των κινητήρων Diesel το ποσοστό του NO είναι μεγάλο (98-99% της συνολικής ποσότητας NO_x), ενώ στα μικρά φορτία το ποσοστό αυτό μειώνεται και αυξάνεται το ποσοστό του NO₂ (10-20%). Ως βασική αιτία σχηματισμού των NO_x θεωρείται η οξείδωση του N₂, που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα που χρησιμοποιείται για την καύση. Η οξείδωση πραγματοποιείται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στην περιοχή της αντίδρασης. Σαν δεύτερη πηγή σχηματισμού θεωρείται η οξείδωση του N₂ που μπορεί να περιέχεται στο καύσιμο (σε αμελητέα ποσότητα).

4.2.1 Σχηματισμός NO

Οι κύριοι παράγοντες που ευνοούν τον σχηματισμό του NO είναι η υψηλή θερμοκρασία και η διαθεσιμότητα O₂. Στους κινητήρες Diesel το καύσιμο εγχύεται σε υγρή μορφή και κατά την ατμοποίηση του αναμιγνύεται με τον συμπιεσμένο αέρα στον κύλινδρο. Δημιουργείται έτσι μεγάλη στρωμάτωση κατανομής του αέρα και της συγκέντρωσης του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης και ο σχηματισμός του NO παρατηρείται μόνο στις περιοχές όπου οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Το μεγαλύτερο ποσοστό του NO σχηματίζεται κατά το στάδιο της ανεξέλεγκτης καύσης, όταν η φλόγα είναι τύπου προαναμίξεως, με τιμές του λόγου ισοδυναμίας αέρα κοντά στη στοιχειομετρική τιμή ($\lambda=1$), ενώ παράλληλα η θερμοκρασία είναι σε υψηλά επίπεδα.

Ο μηχανισμός σχηματισμού του NO αποτελείται από τις παρακάτω αμφίδρομες αντιδράσεις⁶ (για μείγμα καυσίμου αέρα κοντά στη στοιχειομετρική τιμή):



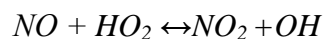
⁶ Μηχανισμός **Zeldovich**

Στην βιβλιογραφία βρίσκουμε και το ρυθμό παραγωγής του NO ο οποίος εξάγεται με βάση αυτές τις αντιδράσεις. Γίνεται κατανοητό ότι η παραγωγή του NO είναι εξαρτημένη από τη θερμοκρασία αλλά και από το διαθέσιμο οξυγόνο.

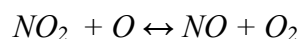
4.2.2 Μηχανισμός σχηματισμού του NO₂

Όταν ο κινητήρας Diesel δουλεύει σε υψηλά φορτία το ποσοστό του NO₂ που παράγεται είναι αμελητέο, όμως σε χαμηλά φορτία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αυξάνεται στο 10-25% του συνολικού ποσοστού NO_x

Ο σχηματισμός του NO₂ γίνεται με βάση την αντίδραση (ταχύτερη οξείδωση του NO):



Το NO₂ μετατρέπεται πάλι σε NO μέσω της αντίδρασης:



εκτός και αν το NO₂ αναμειχθεί με ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας, το οποίο συμβαίνει σε χαμηλά φορτία.

4.2.3 Συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα που επηρεάζουν τις εκπομπές NO

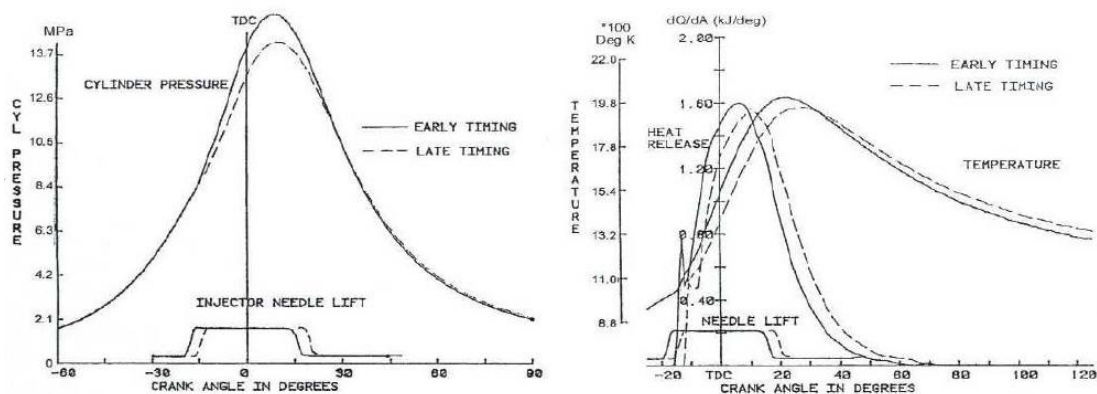
Όπως είναι γνωστό, η επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης του κινητήρα, είναι δυνατή όταν σημειώνεται καλύτερη καύση, δηλαδή όταν είναι μεγάλη η επάρκεια σε O₂ σε συνδυασμό με την ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών εντός του κυλίνδρου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αυτές οι συνθήκες ευνοούν και την παραγωγή NO. Άρα με την βελτίωση της καύσης και του βαθμού απόδοσης του κινητήρα αυξάνεται η εκπομπή NO. Με βάση αυτήν την διαπίστωση, θα εξετάσουμε διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα και την επίδραση που έχουν αυτές στην παραγωγή NO.

Φορτίο

Η ρύθμιση του φορτίου στον κινητήρα Diesel γίνεται μεταβάλλοντας την παροχή καυσίμου. Όσο αυξάνεται η απαίτηση ισχύος, τόσο αυξάνεται και η ποσότητα του εγχυόμενου καυσίμου, και ως εκ τούτου αυξάνεται και η τιμή της θερμοκρασίας στην ζώνη αντίδρασης. Λόγω και της ύπαρξης αρκετών περιοχών στο θάλαμο καύσης με συγκέντρωση αέρα-καυσίμου γύρω από τη στοιχειομετρική τιμή, καταλήγουμε σε αύξηση της συγκέντρωσης του NO στα καυσαέρια.

Προπορεία έγχυσης

Όσο νωρίτερα εγχύεται το καύσιμο στο θάλαμο καύσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο διαθέσιμος χρόνος για την ατμοποίηση του και την ανάμειξη του με τον εγκλωβισμένο αέρα. Το αποτέλεσμα αυτού όσον αφορά την ισχύ είναι θετικό αλλά παράλληλα αυξάνεται η εκπομπή NO λόγω της αύξησης της πίεσης και της θερμοκρασίας.



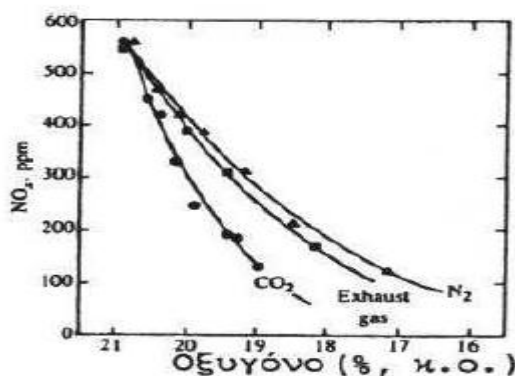
Σχήμα 4.1

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως όσο νωρίτερα γίνει η έγχυση (αύξηση προπορείας έγχυσης) τόσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία, μετατοπίζοντας το ρυθμό έκλυσης θερμότητας σε νωρίτερες χρονικές στιγμές πριν το ΑΝΣ με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής του NO.

Παραμένον καυσαέριο

Ο όρος κατάλοιπο ή παραμένον καυσαέριο χρησιμοποιείται για το καυσαέριο που παραμένει εγκλωβισμένο εντός του κυλίνδρου μετά την εξώθηση των καυσαερίων.

Το παραμένον καυσαέριο έχει μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα και η παρουσία του έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας στη ζώνη αντίδρασης. Σε συνδυασμό και με τη μείωση του διαθέσιμου O_2 έχουμε μείωση της παραγωγής NO , όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 4.2

Αυτή η παρατήρηση έχει συντελέσει στην ιδέα της εφαρμογής της ανακυκλοφορίας καυσαερίου (EGR), τεχνική ιδιαίτερα αποδοτική για την μείωση των NO_x .

4-3 Το Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

Ο σχηματισμός του Μονοξειδίου του Άνθρακα λαμβάνει χώρα όταν σε μια καύση το διαθέσιμο οξυγόνο δεν επαρκεί ώστε να πραγματοποιηθεί η πλήρης στοιχειομετρική καύση, δηλαδή στις περιπτώσεις ατελούς καύσης. Ως εκ τούτου όσο πιο πλούσιο είναι ένα μείγμα, τόσο αυξάνει το ποσοστό του Μονοξειδίου του Άνθρακα στα προϊόντα της καύσης. Εφόσον όμως οι ντιζελοκινητήρες λειτουργούν με μεγάλη περίσσεια αέρα, τα επίπεδα εκπομπής του είναι χαμηλά και για αυτό ο συγκεκριμένος ρύπος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ιδιαίτερα σημαντικός στους ντιζελοκινητήρες.

4-4 Οι υδρογονάνθρακες HC

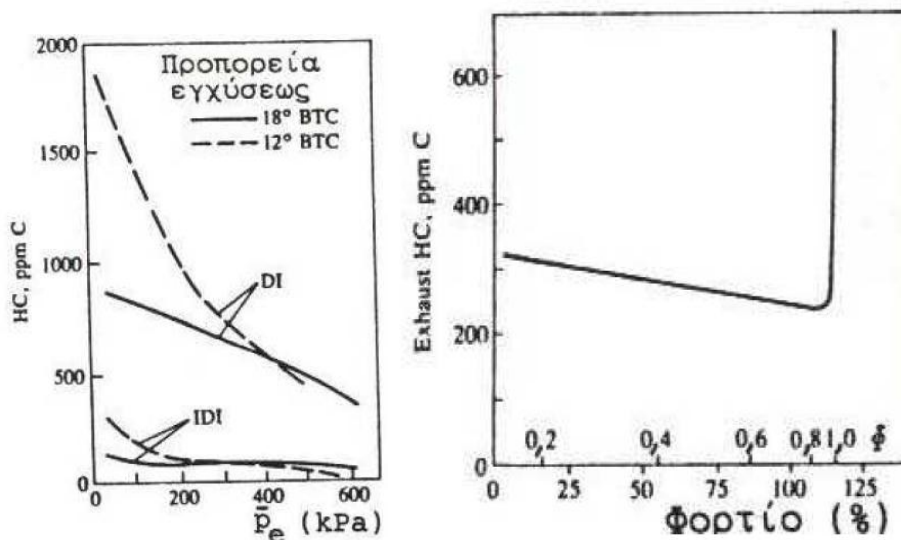
Όπως συμβαίνει και για το μονοξείδιο του άνθρακα, ο λόγος της εμφάνισης των υδρογονανθράκων είναι η ατελής καύση. Οι βασικές αιτίες της εμφάνισης ατελούς καύσης στους κινητήρες Diesel είναι δύο:

1. **Υπεραναμειξιμότητα:** Υπεραναμειξιμότητα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία το μείγμα είναι πολύ φτωχό για την σημείωση αυτανάφλεξης.

2. **Υποαναμειξιμότητα:** Υποαναμειξιμότητα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία το μείγμα είναι τόσο πλούσιο ώστε να διαφεύγει άκαυστο καύσιμο και επομένως να σημειώνεται ατελής καύση.

Από τις δύο ανωτέρω περιπτώσεις, κυριότερη αίτια σχηματισμού υδρογονανθράκων είναι η πρώτη, δηλαδή η περίπτωση του παρουσίας φτωχού μείγματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι ο σχηματισμός και επομένως η εκπομπή των HC στους ντιζελοκινητήρες έχει να κάνει καθαρά με τις συνθήκες λειτουργίας. Στα πολύ χαμηλά φορτία οι εκπομπές είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι στο πλήρες φορτίο. Επίσης όταν ο κινητήρας υπερφορτώνεται παρατηρείται εκ νέου αύξηση των εκπομπών υδρογονανθράκων. Η επίδραση της προπορείας εγχύσεως στην εκπομπή υδρογονανθράκων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3 . όπως φαίνεται Όσο μειώνεται η προπορεία και πλησιάζει το ANΣ, τόσο η συγκέντρωση HC αυξάνεται.



Σχήμα 4.3 διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης HC συνάρτηση του φορτιού

4-5 Σωματιδιακές εκπομπές

Οι σωματιδιακές εκπομπές που εκπέμπονται από το κινητήρα diesel έχουν την μορφή καπνού και είναι άμεσα ορατές με το ανθρώπινο μάτι . Χωρίζονται ανάλογα με το χρώμα που έχουν, έτσι αν ο καπνός είναι λευκός αποτελείται από τα άκαυστα σωματίδια του καύσιμου και συνήθως εμφανίζεται στην αρχή της λειτουργίας του κινητήρα (όταν ο κινητήρας είναι ακόμα κρύος). Αν ο καπνός έχει χρώμα μπλε

αποτελείται από άκαυστα σωματίδια λιπαντικού ελαίου. Αν ο καπνός έχει χρώμα Μελανό είναι καπνός τύπος Αιθάλης που μας ενδιαφέρει περισσότερο και η μέτρηση του αποτελεί το βασικό σκοπό αυτής της διπλωματικής εργασίας αυτής.



Σχήμα 4.4 Εκπομπή αιθάλης από κινητήρα diesel

Η αιθάλη αποτελεί σωματιδιακή εκπομπή αποτελούμενη κατά κύριο λόγο από άτομα άνθρακα, σε αναλογία με το υδρογόνο $H/C = 0,1$. Η διάμετρος κάθε σωματιδίου είναι μερικές εκατοντάδες nm, αποτελούμενο από μικρότερα σφαιρίδια 20 έως 30 nm και παράγεται σε περιπτώσεις που το μίγμα στο θάλαμο καύσης είναι πολύ πλούσιο. Αυτό συμβαίνει συνήθως στις απότομες αλλαγές φορτιού από τα χαμηλά προς τα ψηλά δηλαδή εκείνη την στιγμή που το οξυγόνο μέσα στο θάλαμο καύση δεν φτάνει για πραγματοποίηση μιας στοιχειομετρικής καύσης, και επίσης στην περίπτωση της σταθερής λειτουργίας του κινητήρα στα ψηλά φορτία που το μίγμα είναι πολύ πλούσιο.

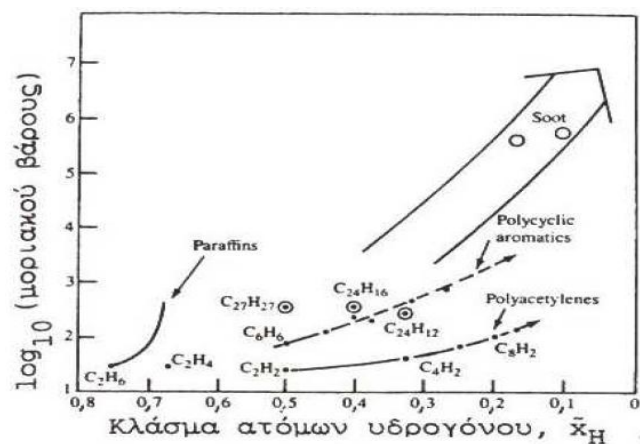
Όπως αναφέρθηκε η αιθάλη παράγεται όταν το μίγμα στο θάλαμο καύσης είναι αρκετά πλούσιο. Αυτό συμβαίνει στο πυρήνα της δέσμης του καύσιμου στο οποίο δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο. Οι συγκεντρώσεις αιθάλης αυξάνουν ραγδαία με την έναρξη της καύσης, ενώ μειώνονται όταν σταματήσει η έγχυση του καύσιμου και ο πλούσιος σε καύσιμο πυρήνας αναμειχτεί με αέρα προς φτωχότερες αναλογίες. Από αυτά φαίνεται ότι για την πρόληψη του σχηματισμού της αιθάλης πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος κατά τον οποίο ο κινητήρας δουλεύει με πολύ πλούσια μίγματα.

4-5-1 Μηχανισμός σχηματισμού της Αιθάλης

Γενικά ο μηχανισμός σχηματισμού της αιθάλης δεν είναι μια απλή διαδικασία και περιλαμβάνεται εκατοντάδες αντιδράσεις. Για αυτό το λόγο η προσομοίωση του σχηματισμού είναι δύσκολη. Όμως έχουν ανακαλυφθεί απλά και προσεγγιστικά μοντέλα σχηματισμού που πάρα ότι δεν έχουν πολύ ακριβή αποτελέσματα είναι πολύ κοντά στην πραγματική κατάσταση. Μεταξύ των οποίων το πιο γνωστό είναι το μοντέλο Higoγασου, που χωρίζει όλη την διαδικασία του σχηματισμού αιθάλης σε δυο στάδια το σχηματισμό και την οξειδωση. Έτσι η χρονική μεταβολή της μάζας της εκπεμπόμενης αιθάλης, θεωρείται ότι προκύπτει από τη καθαρή διάφορα των ρυθμών των δυο παραπάνω σταδίων (παράγωγης και οξειδωσης).

Η διαδικασία του σχηματισμού της αιθάλης συνήθως πραγματοποιείται σε χρονικό κλάσμα των μερικών ms και ξεκινάει σε μια θερμοκρασία της τάξης 1000-2800 K και σε πιέσεις των 50 έως 100 atm.

Το σύστημα των διασκορπισμένων σωματιδίων αιθάλης εντός του αέριου χαρακτηρίζεται από το κλάσμα όγκου αιθάλης (F_v) δηλαδή τον όγκο αιθάλης προς τον ολικό όγκο και από τον αριθμό των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου (N). Το πρώτο στάδιο (γέννηση των σωματιδίων) περιλαμβάνει την διάσπαση των πολύπλοκων υδρογονανθράκων σε ακετυλένιο (C_2H_2), πολυακετυλένια ($C_{2n}H_2$) και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Εικάζεται ότι η συμπίκνωση τέτοιων μορίων οδηγεί στην δημιουργία των πρώτων δειγμάτων αιθάλης με διάμετρο κάτω των 2 nm. Στο δεύτερο στάδιο (μεγέθυνση των σωματιδίων) έχουμε αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων. Η επιφανειακή αύξηση περιλαμβάνει την προσκόλληση συστατικών αέριας φάσεως στην επιφάνεια των σωματιδίων και την ενσωμάτωση τους στην σωματιδιακή φάση. Όμως γενικότερα όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5 η καθαρή αύξηση του μεγέθους των συστατικών (πολυακετυλένια, αρωματικές υδρογονάνθρακες) με κλάσμα ατόμων υδρογόνου (\bar{X}_H) μεταξύ 0,1 έως 0,2 δεν μπορεί να οδηγεί σε σωματίδια αιθάλης. Αυτό που απαιτείται είναι η συμπίκνωση συστατικών με σωστή ποσότητα σε υδρογόνο ή η συμπίκνωση συστατικών με υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο ακολουθούμενη από αφυδρογόνωση, ή ένας συνδυασμός των δυο.

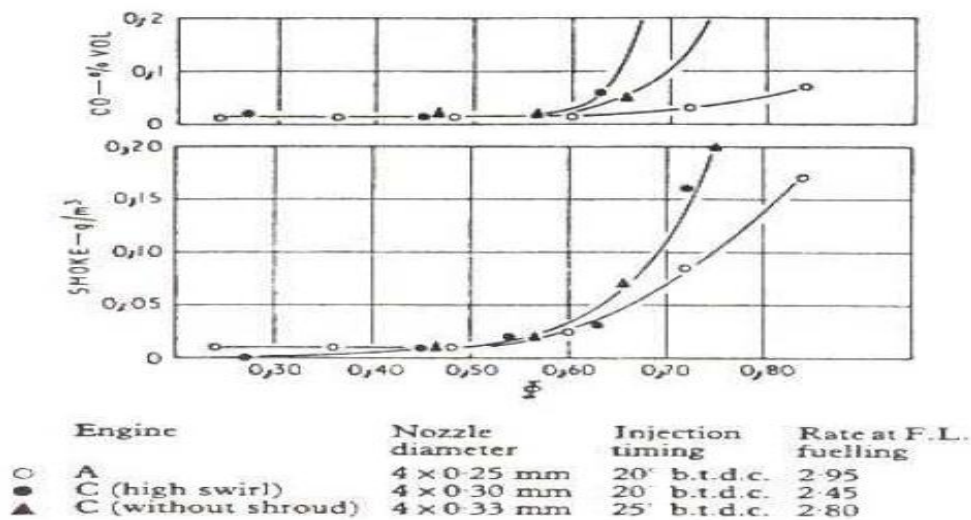


Σχήμα 4.5 Λογάριθμος μοριακού βάρους συνάρτηση του κλάσματος ατόμων H₂ ορισμένων υδρογονανθράκων

4-5-2 Επίδραση των Παραμέτρων Λειτουργίας στις Εκπομπές Σωματιδίων

Όπως αναφέρθηκε και πριν η αιθάλη παράγεται σε συνθήκες που το μίγμα αέρα-καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης είναι πολύ πλούσιο και γενικώς δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο ώστε να πραγματοποιηθεί στοιχειομετρική καύση. Συνεπώς κάθε παράγοντας που εμποδίζει ή δυσκολεύει την στοιχειομετρική καύση του καυσίμου, αποτελεί ευεργετικό παράγοντα σχηματισμού της αιθάλης.

Ένα από τους πιο σημαντικούς παράγοντες αποτελεί το φορτίο του κινητήρα. Όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα, τόσο περισσότερο καύσιμο εγχύεται στον κύλινδρο, όποτε το μείγμα γίνεται πιο πλούσιο και οι εκπομπές της αιθάλης αυξάνονται. Στο σχήμα 4.6 παρατηρείται η εξάρτηση της εκπομπής αιθάλης και του CO με το φορτίο (Φ) του κινητήρα diesel αμέσου εγχύσεως. Για τους κινητήρες diesel εμμέσου εγχύσεως λόγω της έντονης αναμείξεως που επιτυγχάνεται λόγω της διμερής θαλάμου καύσης, έχουμε μικρότερες τιμές εκπομπών.



Σχήμα 4.6 εκπομπή αιθάλης και CO συναρτήσεις του φορτίου του κινητήρα

Μια άλλη σημαντική παράμετρος που επηρεάζει πολύ την εκπομπή αιθάλης είναι η προπορεία. Γενικότερα όσο πιο μεγάλη η προπορεία εγχύσεως, τόσο περισσότερος είναι και ο διαθέσιμος χρόνος για την ατμοποίηση και ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το ποσοστό της προαναμεμειγμένης καύσης και συνεπώς της μείωσης της εκπομπής αιθάλης. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι ο γενικός κανόνας που ισχύει για τους κινητήρες Diesel υπαγορεύει ότι η μείωση του ενός από τους δύο κύριους ρύπους (NO_x, αιθάλη), οδηγεί στην αντίστοιχη αύξηση του άλλου (αρκεί το φορτίο, εξαρτώμενο από τον λόγο καυσίμου-αέρα να είναι σταθερό). Αυτό είναι άλλωστε και το κλασσικό πρόβλημα για τους σχεδιαστές των κινητήρων Diesel.

Κεφάλαιο 5

«Τεχνικές Μείωσης των Εκπομπών των Ρύπων»

5-1 Εισαγωγή

Οι διάφορες τεχνολογίες που εφαρμόζονται για την μείωση των εκπομπών ρύπων στους εμβολοφόρους κινητήρες μπορεί να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες τις εσωτερικές (Μέθοδοι της πρόληψης) και τις εξωτερικές (Μέθοδοι της Περιστολής).

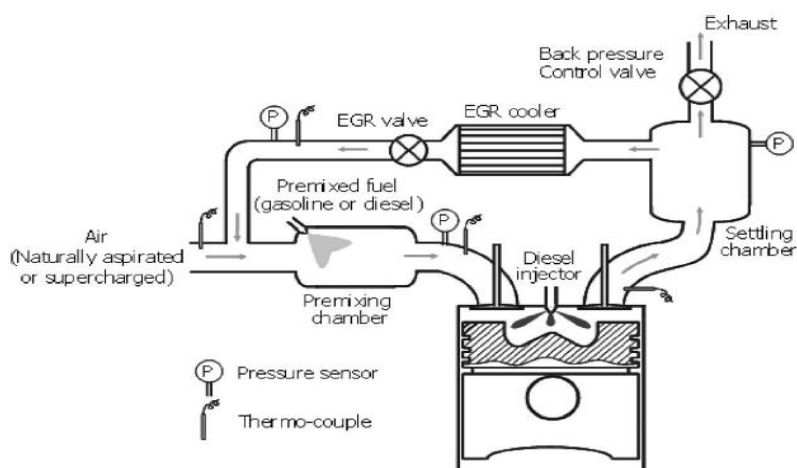
Οι εσωτερικές μέθοδοι (αλλιώς αποκαλούμενες και μέθοδοι πρόληψης) είναι εκείνες που επιδρούν στην ίδια την διαδικασία της καύσης με σκοπό τον περιορισμό της παράγωγης των ανεπιθύμητων ρύπων. Αντίθετα, οι εξωτερικές μέθοδοι (μέθοδοι περιστολής) είναι εκείνες που εφαρμόζονται εξωτερικά του κινητήρα και ως εκ τούτου δεν επηρεάζουν την διαδικασία της καύσης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονισθεί ότι οι μέθοδοι περιστολής δεν λύνουν ουσιαστικά το πρόβλημα των ρύπων, γιατί δεν στοχεύουν στην καταπολέμηση του προβλήματος στην ‘πηγή’ του. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη αναφορά σε διάφορες τεχνικές μείωσης των εκπομπών ρύπων (πρόληψης και περιστολής).

5-2 Οι Μέθοδοι της Πρόληψης

5-2-1 Ανακυκλοφορία καυσαερίου (Exhaust Gas Recirculation-EGR)

Τα καυσαέρια που παράγονται στον κύλινδρο κατά την φάση της καύσης, περιέχουν κατά κανόνα CO_2 και H_2O λόγω της ύπαρξης του άνθρακα και του υδρογόνου του καυσίμου. Τα στοιχεία αυτά έχουν υψηλές τιμές θερμοχωρητικότητας και αν αναμειχτούν με τον εισερχόμενο αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο κατά την αναρρόφηση, μπορούν να μειώσουν τα θερμοκρασιακά επίπεδα του κύκλου λόγω της απορρόφησης θερμότητας από αυτά. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ο σχηματισμός των οξειδίων του αζώτου (NO_x) ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες και την παρουσία οξυγόνου. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η Ανακυκλοφορία καυσαερίου λόγω της μείωσης που επιφέρει τόσο στα θερμοκρασιακά επίπεδα, όσο και στην διαθεσιμότητα οξυγόνου, παίζει σοβαρό ρόλο στην μείωση των NO_x . Παρ’αυτά όμως, σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί προηγουμένως, η ανακυκλοφορία καυσαερίου θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του σχηματισμού αιθάλης λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και της μειωμένης διαθεσιμότητας σε οξυγόνο.

Η τεχνική της Ανακυκλοφορίας των καυσαερίων επιτυγχάνεται με δυο τρόπους: την εσωτερική και την εξωτερική μέθοδο. Στην εσωτερική μέθοδο, λόγω του κατάλληλου σχεδιασμού του κυλίνδρου, αυξάνεται το ποσοστό του παραμένου καυσαερίου μέσα στον κύλινδρο και στην συνέχεια το παραμένον αυτό καυσαέριο αναμειγνύεται με τον φρέσκο εισερχόμενο αέρα. Στην εξωτερική μέθοδο, ένα ποσοστό του καυσαερίου από τον αγωγό εξαγωγής του κυλίνδρου εισάγεται στον αγωγό του εισερχομένου αέρα και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται το επιθυμητό μείγμα αέρα-καυσαερίου.



Σχήμα 5.1 External EGR

5-2-2 Προπορεία έγχυσης καυσίμου

Η χρονική στιγμή που εγχύεται το καύσιμο εντός του κύλινδρο, όπως είναι κατανοητό, διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα θερμοκρασιακά επίπεδα και στα επίπεδα πιέσεων μέσα στο κύλινδρο και συνεπώς και στις εκπομπές NO_x . Αυτή η χρονική στιγμή ρυθμίζεται μέσω της γωνιάς στροφάλου (προ ANΣ) και όσο νωρίτερα εγχύεται το καύσιμο στον κύλινδρο, τόσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση λόγω της έντονης προαναμεμειγμένης καύσης. Συνεπώς, επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση του κινητήρα (μέχρι ενός βέλτιστου σημείου, από το οποίο και μετά περαιτέρω αύξηση της προπορείας οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου), αλλά οι εκπομπές NO_x αυξάνονται λόγω της καλύτερης καύσης που σημειώνεται. Αντίθετα, η καθυστερημένη έγχυση του καυσίμου στον κύλινδρο, τείνει, για τους ακριβώς αντίθετους λόγους, να μειώσει την παραγωγή NO_x .

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η αύξηση της προπορείας έγχυσης οδηγεί σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα και πιο έντονη προαναμειγμένη καύση. Οι εκπομπές αιθάλης είναι αντιστρόφως ανάλογες των θερμοκρασιών στον κύλινδρο, όποτε γίνεται κατανοητό ότι η αύξηση της προπορείας εγχύσεως μειώνει τις εκπομπές αιθάλης.

5-2-3 Πίεση Εγχύσεως

Όπως φαίνεται και από την σχέση 5.1, η πίεση εγχύσεως συνδέεται με την αρχική ταχύτητα της δέσμης του καυσίμου στο ακροφύσιο, Όποτε είναι φανερό ότι πιθανή αύξηση της πίεσης εγχύσεως αυξάνει την ταχύτητα διεξόδου της δέσμης στον κύλινδρο και επομένως επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμειξη των σταγονιδίων του καυσίμου με τον αέρα. Ως αποτέλεσμα αυτής της καλύτερης ανάμειξης είναι τα υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα του κύκλου και συνεπώς η καλύτερη καύση. Όπως έχει αναφερθεί η καλύτερη καύση του καυσίμου έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), ενώ λόγω του καλύτερου διασκορπισμού των σταγονιδίων του καυσίμου στον συμπιεσμένο αέρα εντός του κυλίνδρου δημιουργείται μικρότερος πυρήνας δέσμης καυσίμου. Σύμφωνα με τα προηγούμενα όσο μικρότερος είναι ο πυρήνας της δέσμης, τόσο μειώνονται και οι περιοχές στις οποίες παράγεται ακετυλένιο και πολυακετυλένιο και επομένως μειώνονται και οι εκπομπές αιθάλης.

$$u_{inj} = c_d \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_l}}$$

5-2-4 Πίεση Υπερπλήρωσης

Η πίεση υπερπλήρωσης αφορά την ποσότητα του εισερχομένου αέρα που διατίθεται για την διαδικασία της καύσης. Είναι προφανές ότι με την αύξηση της ποσότητας του αέρα θα αυξηθεί και η ποσότητα οξυγόνου εντός του κυλίνδρου και συνεπώς θα αυξηθούν τα επίπεδα εκπομπών NO_x . Αντίθετα, η αύξηση της διαθεσιμότητας σε οξυγόνο (λόγω της αυξημένης πίεσης υπερπλήρωσης), για δεδομένη ποσότητα καυσίμου, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών αιθάλης. Επίσης λόγω της εκμετάλλευσης ενός ποσοστού της θερμικής ισχύος των καυσαερίων (με την χρήση του στροβίλο-υπερπληρωτή) αυξάνεται και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα. Όσο αφορά την ισχύ του κινητήρα είναι προφανές ότι με την χρήση της υπερπλήρωσης

καίγεται περισσότερο καύσιμο μέσα σε ένα ίδιο κύκλο λειτουργίας και επομένως αυξάνεται η ισχύ του κινητήρα .

5-2-5 Έγχυση Νερού

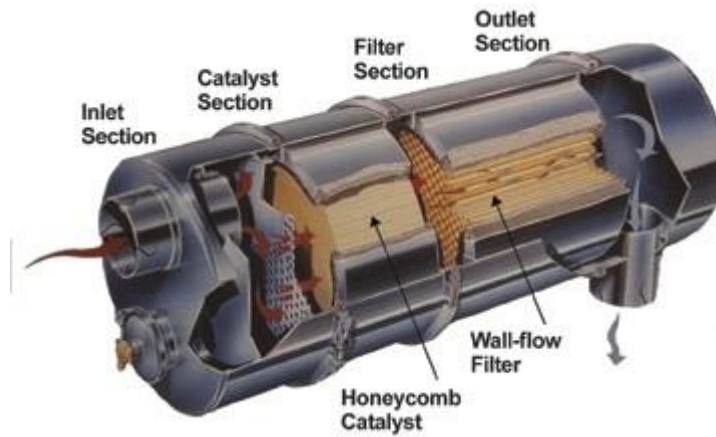
Αν κατά την διάρκεια της καύσης, εγχυθεί νερό μέσα στο κύλινδρο, λόγω της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης του νερού και της απαιτούμενης ενεργείας για την χημική του διάσπαση, τα θερμοκρασιακά επίπεδα του κύκλου πέφτουν σε χαμηλότερες τιμές, και συνεπώς σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί, θα έχουμε μικρότερες εκπομπές NO_x. Με την έγχυση του νερού μέσα στον κύλινδρο (αυτή όμως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 40%) η θερμοκρασία εντός του κυλίνδρου κατά την διάρκεια της καθυστέρησης αναφλέξεως γίνεται χαμηλότερη και συνεπώς ο χρόνος καθυστέρησης αναφλέξεως αυξάνεται, οπότε συμπεραίνουμε ότι μεγαλύτερη ποσότητα του καυσίμου καίγεται την στιγμή έναρξης της καύσης και συνεπώς θα έχουμε μια αύξηση στο βαθμό απόδοσης του κύκλου και την μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

5-3 Οι Μέθοδοι Περιστολής

5-3-1 Οι Παγίδες Αιθάλης

Σε αυτήν την μέθοδο, τα σωματίδια της αιθάλης που εξέρχονται από τον κινητήρα παγιδεύονται με την χρήση μιας παγίδας αιθάλης που τοποθετείται στον σωλήνα εξαγωγής καυσαερίων. Όπως είναι κατανοητό, αν δεν απομακρύνονται τα στρωματά της αιθάλης από την παγίδα, με το πέρασμα του χρόνου, φράσσεται η διόδος των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα. Η απόφραξη αυτή οδηγεί σε πτώση της ισχύος του κινητήρα (λόγω της μεγαλύτερης πίεσης που πρέπει να έχουν τα καυσαέρια) και ως εκ τούτου, πρέπει να καταναλώνεται μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ. Είναι προφανές ότι κάτι τέτοιο οδηγεί σε μικρότερο βαθμό απόδοσης του κύκλου. Για τον λόγο αυτό πρέπει τα μόρια του άνθρακα να αναφλέγονται και να μην κατακάθονται στην παγίδα προς αποφυγή της απόφραξης της διόδου καυσαερίων (αναγέννηση). Τα σωματίδια της αιθάλης όμως αναφλέγονται σε θερμοκρασίες της τάξης των 500-600 °C, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τις θερμοκρασίες που συναντώνται στην έξοδο των καυσαερίων των κινητήρων Diesel.

Αυτό το πρόβλημα λύνεται είτε με τη χρήση εξωτερικής θέρμανσης (με ψεκασμό καυσίμου στα καυσαέρια), είτε με την χρήση κατάλληλου καταλυτικού υλικού στο καύσιμο με σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας αναφλέξεως των σωματιδίων σε χαμηλά θερμοκρασιακά επίπεδα, έως και 200 °C .



Σχήμα 5.2 παγίδα αιθάλης

Κεφάλαιο 6

«Τεχνικές Μέθοδοι Μέτρησης Αιθάλης»

6-1 Εισαγωγή

Όπως γνωρίζουμε οι αυστηροί κανονισμοί για τις εκπομπές των τύπων κατά την τελευταία δεκαετία μειώνουν τα επιτρεπόμενα επίπεδα εκπομπής σωματιδίων. Ως αποτέλεσμα τα επίπεδα εκπομπής σωματιδίων από τους συγχρόνους κινητήρες είναι τόσο χαμηλά που η μέτρηση τους γίνεται πλέον πρόκληση (challenge) . επειδή προβλέπεται ότι οι μελλοντικοί κανονισμοί θα γίνουν συνεχώς πιο αυστηροί, επιβάλλεται η χρήση οργάνων μέτρησης σωματιδίων με ελάχιστο επίπεδο ανίχνευσης $\leq 0.1 \text{ (mg/m}^3\text{)}$.

Σε αυτό το κεφαλαίο θα αναφέρουμε μερικές από τις τεχνικές μέτρησης σωματιδίων(αιθάλης) στα καυσαέρια των Μ.Ε.Κ.

6-2 Μέθοδος του Φίλτρου

Αυτή η μέθοδος είναι η πιο κλασική μέθοδος μέτρησης αιθάλης στα καυσαέρια των Μ.Ε.Κ.

Σε αυτήν την μέθοδο, η μέτρηση της αιθάλης που περιέχεται στα καυσαέρια γίνεται οδηγώντας γνωστός όγκο καυσαερίου μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο. Στη συνέχεια μετράται η ποσοστιαία αμαύρωση συγκρίνοντας την αντανάκλαση του φωτός σε ένα καθαρό φίλτρο με την αντίστοιχη στο αμαυρωμένο. Κατόπιν ορίζεται ο « αριθμός αμαύρωσης» (smoke number) ως εξής:

$$SN = 100 \times \left(1 - \frac{R}{R_0}\right)$$

Όπου

SN: smoke number καθαρός αριθμός

R: απόλυτη αντανάκλαση του αμαυρωμένου φίλτρου

R₀: απολυτή αντανάκλαση του καθαρού φίλτρου

Από τον αριθμό αμαύρωσης ορίζεται η μονάδα Bosch Smoke Number:

$$BSN = \frac{SN}{10}$$

Από αυτήν προκύπτει και ο αριθμός Bacharach, που είναι η συχνότερη μονάδα μέτρησης αιθάλης, ως εξής

$$\text{Bacharach} = 0.8 * \text{BSN}$$

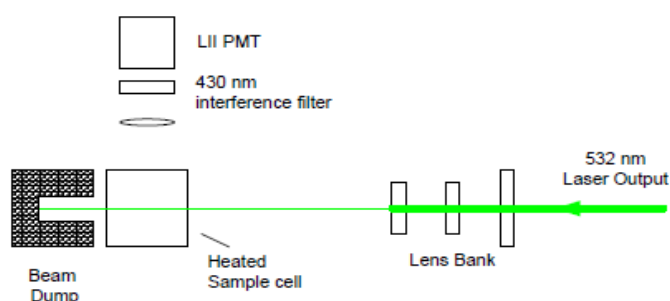
Η αρχή λειτουργίας του αναλυτή AVL 415s smoke meter βασίζεται σε αυτήν την μέθοδο μέτρησης, η οποία θα αναφερθεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

6-3 LASER INDUCED INCANDESCENCE (LII)

Με αυτή τη μέθοδος γίνεται δυνατή η μέτρηση σωματιδίων με ελάχιστο επίπεδο συγκέντρωσης της τάξης $0.001 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ και επιτρέπει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο σε συχνότητα 50 Hz.

Η μέθοδος Laser induced incandescence (LII) συνίσταται στη θέρμανση των σωματιδίων με την χρήση λέιζερ υψηλής συχνότητας (high-power laser pulse.). Μετά το πέρασμα του λέιζερ υψηλής συχνότητας από το δείγμα, εκπέμπεται φαιά ακτινοβολία από το σώμα και συλλέγεται σε μια στενή λωρίδα αποδίδοντας έτσι πληροφορίες για το όγκο δειγματοληψίας.

Η έξοδος 532 nm από το παλμικό Nd: YAG λέιζερ έχει σχήμα κάθετου φύλλου χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό κυλινδρικών φακών έτσι ώστε το εστιακό επίπεδο να βρίσκεται στο κέντρο του δείγματος. Ένα φωτοκύτταρο λοχείας απόκρισης έχει τοποθετηθεί μετά από το δείγμα παρακολουθεί την ισχύ της δέσμης λέιζερ για τις απαιτούμενες παλμικές ενέργειες. Το σήμα εντοπίζεται από έναν ανιχνευτή PMT που έχει τοποθετηθεί στη δεξιά γωνία της εισερχομένης δέσμης λέιζερ σε $430 \pm 5 \text{ nm}$.



Σχήμα 6.1 το σχέδιο του LII

Οι διαδικασία της λειτουργίας του LII (LASER INDUCED INCANDESCENCE) φαίνεται στο σχήμα 6.1 . Τα καυσαέρια του diesel αραιώνονται περνώντας φλιταρισμένο αέρα μέσα από το κελί δείγματος. Οι τοίχοι του θαλάμου διατηρούνται σε θερμοκρασία ελαφρώς υψηλότερη από το δείγμα για να αποφευχθεί η κατακρήνη των σωματιδίων.

6-4 Η Οπτική Μέθοδος

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στον καθορισμό του ποσού της μείωσης του Φωτός που διέρχεται μέσω των καυσαερίων και στην μέτρηση της αντίστοιχης ροής.

Τα μηχανήματα που λειτουργούν με αυτήν την μέθοδο έχουν δυο κλίμακες μέτρησης: Η κύρια κλίμακα που είναι σε απόλυτες τιμές μείωσης του φωτός και μία συμπληρωματική κλίμακα που είναι γραμμική με πεδίο μέτρησης 0-100%. Η σχέση μεταξύ των ενδείξεων των κύριων και συμπληρωματικών κλιμάκων υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\varepsilon = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{N}{100}\right)$$

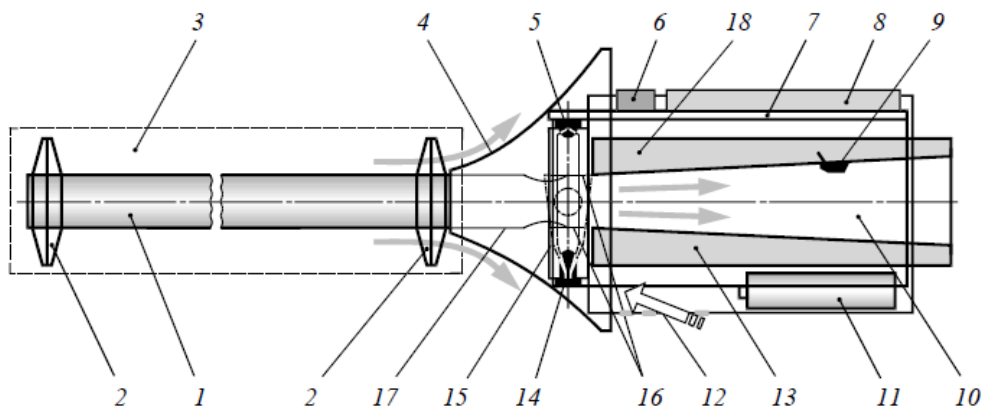
Οπού:

ε : παράγοντας μείωσης της έντασης του Φωτός

L: μήκος του τμήματος κατά την οποία μετράται η μείωση των εκπομπής φωτός

N : ένδειξη της γραμμικής κλίμακας του μετρητή πυκνότητας του καπνού .

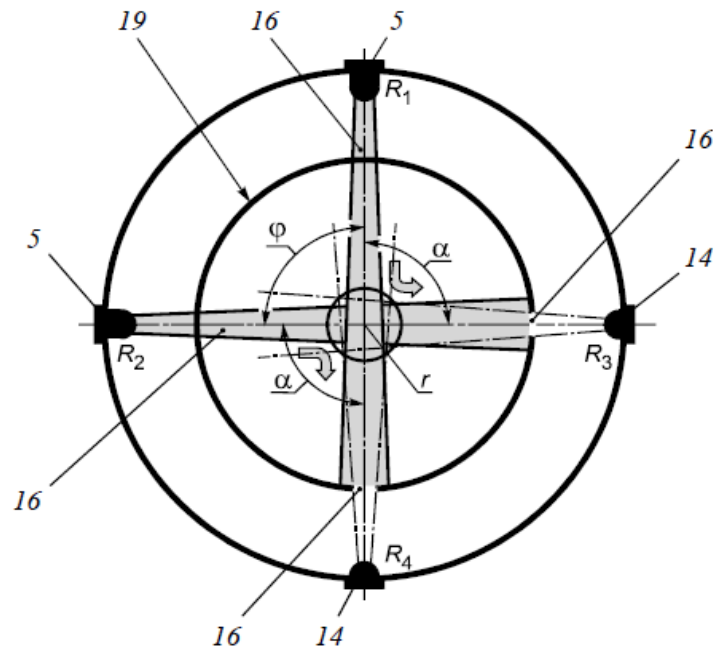
Η μέθοδος και ο εξοπλισμός που ενδείκνυνται για τη πραγματοποίηση μέτρησης του καπνού σχετίζεται με την συγκέντρωση της μάζας αιθάλης στα καυσαέρια.



Σχήμα 6.2 λειτουργικό διάγραμμα του δείκτη καπνού με πρόσληψη δείγματος από σωλήνα καυσαερίων.

1)δειγματολήπτης 2) κεντρικός δακτύλιος 3) σωλήνας εξαγωγή 4) ανακλαστήρας καυσαερίων 5) φωτοανιχνευτής 6) ρυθμιστικά κουμπιά 7) ηλεκτρονική πλακέτα 8) δείκτης υγρών κρυστάλλων 9) αισθητήρας θερμοκρασίας 10) ακροφύσιο εξόδου 11) μπαταρία για προμήθεια δείκτη καπνού 12) καθαρό αέρα 13) θερμομονωμένα σώματα 14) δίοδος λέιζερ 15) δαχτυλίδι 16) σπή λέιζερ 17) διαχύτης 18) θερμική μόνωση

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2 τοποθετούνται δυο πηγές και δυο δείκτες πάνω στην διαδρομή των καυσαερίων μέσα σε ένα δαχτυλίδι (15) έτσι ώστε οι εκπομπές των λέιζερ να τέμνονται στο μέσο της διαδρομής των καυσαερίων (όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3). Προκειμένου να μειωθεί η αντανάκλαση Φώτους από τα τοιχώματα του ακροφυσίου και επομένως η επίδραση της πάνω στα αποτελέσματα των μετρήσεων, στην εσωτερική επιφάνεια του ακροφυσίου τοποθετείται μια “μάσκα” ώστε η εσωτερική επιφάνεια να διατηρείται εντελώς σκοτεινή (όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3). Από την φωτοδίοδο (14) εξέρχεται μια δέσμη Φώτος και καταγράφεται από τον φωτοανιχνευτή (5). Έτσι ανάλογα με την μείωση της έντασης του φωτός που εκπέμπεται υπολογίζεται η ποσότητα της συγκέντρωσης των σωματιδίων μέσα στα καυσαέρια. Επίσης από την αναλογία της ροής του φωτός υπολογίζεται η συγκέντρωση της μάζας των καυσαερίων.



Σχήμα 6.3 διατομή δείκτη καπνού στο επίπεδο του αποστολέα και του φωτοδέκτη

Κεφάλαιο 7

«Περιγραφή της Λειτουργίας του Αναλυτή
Αιθάλης AVL415s»

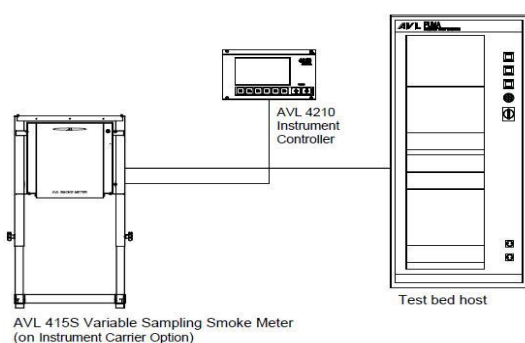
7-1 Περιγραφή του AVL 415S Smoke Meter

7-1-1 Γενική περιγραφή του Αναλυτή AVL415S

Ο αναλυτής AVL 415S Smoke Meter είναι ένας μετρητής καπνού για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας της αιθάλης στα καυσαέρια κινητήρων Diesel. Το αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται ως Filter Smoke Number (FSN) σύμφωνα με το standard ISO 10054 ή ως συγκέντρωση αιθάλης στα καυσαέρια (mg/m^3).

Στην πράξη, μια συγκεκριμένη ποσότητα καυσαερίου λαμβάνεται από τον αγωγό εξαγωγής του κινητήρα και περνάει μέσα από καθαρό διηθητικό χαρτί που βρίσκεται εντός του αναλυτή. Η ποσότητα αιθάλης που κατακρατείται, προκαλεί αμαύρωση στο διηθητικό χαρτί. Η αμαύρωση αυτή, ανιχνεύεται από μια φωτοηλεκτρική κεφαλή μέτρησης, και εν συνεχεία αξιολογείται στον μικροεπεξεργαστή από όπου και παράγεται τελικά το αποτέλεσμα σε FSN.

Η εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια του AVL 415S Smoke Meter είναι απόρροια της δυνατότητας δειγματοληψίας διαφόρων όγκων. Ο όγκος του δείγματος μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα ανάλογα με τη συγκέντρωση αιθάλης στα καυσαέρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα μέτρησης ακόμα και των χαμηλών επιπέδων αιθάλης που εκπέμπονται από τους σύγχρονους κινητήρες Diesel.



Σχήμα 7.1.1



Σχήμα 7.1.2

Ο αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή
- Με χρήση του μηχανήματος AVL 4210 (με το οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία)

Ο αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Απλή μέτρηση (single measurements)
- Πολλαπλές μετρήσεις (multiple measurements)
- Μέτρηση με Αυτόματη ρύθμιση (Auto Range)
- Μέτρηση με προεπιλεγμένο όγκο μέτρησης
- Μέτρηση με προεπιλεγμένο χρόνο μέτρησης
- Συγχρονισμένες μετρήσεις (Synchronized Measurements)
- Ειδική μέτρηση (επιλεκτικές πολλαπλές μετρήσεις)

Ο αναλυτής AVL 415S έχει την δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων με θέρμανση (**Heating option**), το οποίο εμποδίζει την συμπύκνωση, του περιεχομένου στον αέρα υδρατμού, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η αλλοίωση των μετρημένων τιμών (τα συμπυκνωμένα σταγονίδια που μπορεί να κατακαθίσουν πάνω στην αμαυρωμένη περιοχή του φίλτρου, επηρεάζουν την ακρίβεια των τιμών FSN).

Γενικά Ο αναλυτής AVL415S είναι σχεδιασμένο για την μέτρηση της εκπομπής ρύπων στο εύρος πιέσεων καυσαερίων ανάμεσα από 100 mbar υποπίεση και 400 mbar υπερπίεση. Για μετρήσεις σε μεγαλύτερο εύρος πιέσεων υπάρχει η ρύθμιση “**Special Sampling Option**” που θα αναφερθεί σε επόμενη ενότητα.

7-1-2 Όρια εφαρμογής του Αναλυτή AVL 415S

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι Ο αναλυτής AVL415S **δεν** είναι σχεδιασμένο για την μέτρηση αναφλέξιμων μιγμάτων, ή για καυσαέρια που αν αναμειχτούν με τον αέρα δύνανται να αναφλεγούν.

Ο κίνδυνος έγκειται στο γεγονός ότι τέτοια αέρια μείγματα πιθανόν να αναφλεγούν, λόγω της θέρμανσης των σωλήνων, λόγω της συμπίεσης του αερίου μέτρησης στην αντλία διαφράγματος (diaphragm pump) κλπ με συνέπεια την καταστροφή της συσκευής, την πρόκληση βλάβης στη μηχανή και σε άλλα μηχανήματα ή ακόμα και τον τραυματισμό μελών του εργαζόμενου προσωπικού.

Ο αριθμός FSN καυσαερίων με πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρογόνο (δηλαδή μεγαλύτερο από 2% H₂, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των καυσαερίων με μικρή περιεκτικότητα σε οξυγόνο) συνιστάται να μην μετράται με αυτό τον αναλυτή αιθάλης.

Επίσης πρέπει να προσέξουμε ότι η μέγιστη συγκέντρωση CO στα καυσαέρια δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή 6% κατ'όγκο.

Όταν παρατηρείται αέριο μείγμα πολλών συστατικών στην εξαγωγή (HCs + H₂ + NO_x + O₂ + CO + N₂O + ...) είναι απολύτως αναγκαίο να εκτιμήσουμε αν το πλήθος των συστατικών του καυσαερίου μπορεί (είτε από μόνα τους ή κατά την ανάμειξη με τον αέρα) να παράξει αναφλέξιμο μείγμα.

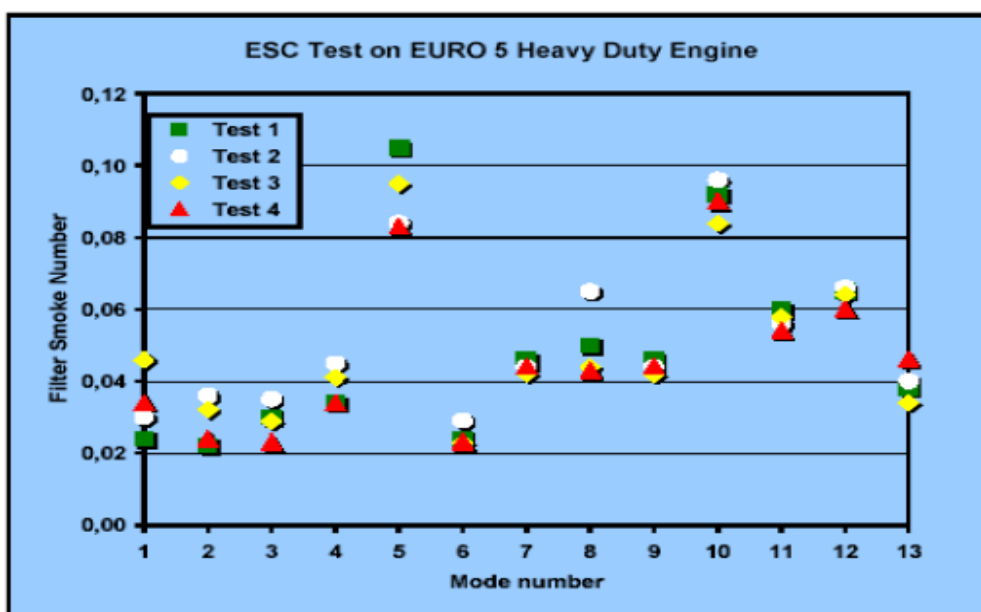
Στη διάρκεια του καθαρισμού της γραμμής δειγματοληψίας (με παροχή περίπου 10 l/min φρέσκου αέρα, για τουλάχιστον 1 λεπτό) και τον καθαρισμό της γραμμής δειγματοληψίας πριν από κάθε μέτρηση (παροχή περίπου 10 l/min, για περίπου 2 δευτερόλεπτα), ατμοσφαιρικός αέρας διεισδύει στο ρεύμα καυσαερίου μέσω του καθετήρα (probe).

Η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο ή σε τέφρα καθώς και η έγχυση νερού επηρεάζει σημαντικά το σημείο δρόσου των υδρατμών στα καυσαέρια, και ως εκ τούτου απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή σε τέτοιες συνθήκες μετρήσεων ώστε να αποφευχθεί η πρόκληση ζημιών στην συσκευή και να είναι δυνατή η λήψη σωστών μετρήσεων.

7-1-3 Πλεονεκτήματα του Αναλυτή AVL 415S Αιθάλης

1. Αξιοπίστα αποτελέσματα μετρήσεων, ακόμη και για τις περιπτώσεις εκείνες όπου εκπέμπονται μικρές ποσότητες καπνού.
2. Αυξημένη ευαισθησία για τις μετρήσεις καπνού έως και 0,002 FSN (20 µg/m³ συγκέντρωση αιθάλης)
3. Συμμόρφωση με το διεθνές πρότυπο ISO 10054: Τα αποτελέσματα μπορούν να εκφραστούν ως FSN (filter smoke number), ως συγκέντρωση αιθάλης (mg/m³) και ως επίπεδο της αμαύρωσης (%)

4. Εύκολο στην λειτουργία: Πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης, με αυτόματη βαθμονόμηση όλης της κλίμακας των αποτελεσμάτων (μαύρο / άσπρο)
5. Χαμηλό κόστος συντήρησης
6. Δυνατότητα πραγματοποίησης έως και 2.400 μετρήσεων σε ένα ρολό χαρτί φίλτρου. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την διεξαγωγή αυτοματοποιημένων δοκιμών κατά την διάρκεια της νύχτας ή κατά την διάρκεια του σαββατοκύριακου.
7. Εφαρμογή σε μεγάλο εύρος πιέσεων καυσαερίου



Σχήμα 7.1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων σε πολύ χαμηλές τιμές του καπνού

7-1-3 Τεχνικά Χαρακτηρίστηκα

Εύρος λειτουργίας:	Smoke value 0 ... 10 FSN Συγκέντρωση αιθάλης 0 ... 32000 mg/m ³ Επίπεδο αμαύρωσης 0 ... 100 %
Ακρίβεια μετρήσεων:	0.001 FSN, 0.01 mg/m ³
Επαναληψιμότητα μετρήσεων:	$\sigma \leq \pm (0.005 \text{ FSN} + 3\% \text{ της μετρημένης τιμής})$ Αρκεί να τηρούνται οι συνθήκες μέτρησης όπως αυτές περιγράφονται
Εύρος πίεσης καυσαερίων:	100 mbar υποπίεση έως 400 mbar υπερπίεση (-200 up to +700 mbar με την επιλογή Option Special Sampling)

Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία καυσαερίου στο σημείο δειγματοληψίας: δειγματοληψίας)	600 °C max. (800 °C με μακρύ ακροδεικτη
Παροχή ρεύματος:	230 VAC, 50/60 Hz
Διαστάσεις:	560x620x240 mm (WxHxD)
Βάρος:	περίπου 28 kg (Βασική μονάδα χωρίς επιπλέον επιλογές)
Κλάση προστασίας:	IP 34

7-2 Αρχή Λειτουργίας AVL 415S

7-2-1 Ορολογία

Πριν να δοθεί η αρχή λειτουργίας του αναλυτή AVL 415S, κρίνεται σκόπιμο να ορισθούν κάποια σύμβολα και έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.

- Σωματιδιακές εκπομπές και Αιθάλη (soot)

Επειδή δεν υπάρχει μια σαφής έκφραση για τις σωματιδιακές εκπομπές των κινητήρων Diesel, εΐθισται στα μηχανήματα που χρησιμοποιούν διηθητικό χαρτί (φίλτρο) για την μέτρηση των σωματιδιακών εκπομπών, να υπολογίζεται κατά κύριο λόγο η γραφική μορφή του άνθρακα (C) στα καυσαέρια, στην οποία από δω και στο εξής, θα γίνεται αναφορά υπό τον όρο ‘αιθάλη’.

- Αμαύρωση Χαρτιού (Paper blackening PB)

Ο όρος αμαύρωση χαρτιού δείχνει τον βαθμό στον οποίο το διηθητικό χαρτί (φίλτρο) έχει αμαυρωθεί. Η αμαύρωση μετράται με ένα οπτικό ανακλασίμετρο (optical reflectometer) και λαμβάνεται ίση με μηδέν για το λευκό χαρτί και δέκα για το εντελώς μαύρο. Η αμαύρωση του χαρτιού μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ λευκού και μαύρου μέσω της εξίσωσης:

$$PB = 10 \cdot \left(1 - \frac{R_B}{R_W}\right)$$

Οπού:

R_B = ανακλαστικότητα του μαυρισμένου χαρτιού (φίλτρου)

R_W = ανακλαστικότητα του λευκού χαρτιού (φίλτρου)

- FSN: Filter Smoke Number

Είναι η μονάδα που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην Ευρώπη και την Αμερική για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας της αιθάλης στα καυσαέρια. Γενικά τονίζεται ότι στην διάρκεια του υπολογισμού της περιεκτικότητας αιθάλης στα καυσαέρια, εκτός από το μαύρισμα του χαρτιού (PB), πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο

όγκος του καυσαερίου που περνά από το διηθητικό χαρτί στο πραγματικό (ενεργό) μήκος δειγματοληψίας (L_{eff}).

FSN = PB Για $L_{eff} = 405 \text{ mm}$

(Μήκος της στήλης των καυσαερίων που αναφέρεται στις συνθήκες 1 bar και 25 °C)

Για μήκη δειγματοληψίας διαφορετικά του L_{eff} , η τιμή του FSN υπολογίζεται από την αμαύρωση του χαρτιού και το πραγματικό μήκος δειγματοληψίας, χρησιμοποιώντας έναν πίνακα που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της φόρτισης φίλτρου από την αιθάλη

$$\left[\frac{mg \text{ soot}}{m^2} \right]$$

και την αμαύρωση του χαρτιού. Τονίζεται επίσης ότι ο αναλυτής AVL 415S αναρροφά καυσαέρια με σχεδόν σταθερή παροχή, που είναι άλλωστε ο λόγος που το αποτέλεσμα της μέτρησης αντιστοιχεί στη μέση τιμή συγκέντρωσης αιθάλης κατά τον χρόνο της δειγματοληψίας.

Σε αυτό το σημείο, είναι χρήσιμο να γίνει μια μικρή αναφορά στην μέτρηση και την μέθοδο υπολογισμού του FSN.

Το Πραγματικό (ενεργό) μήκος αναρρόφησης (L_{eff}) σε συνθήκες αναφοράς 100 kPa, 25 °C:

$$\frac{mg}{m^3} = \frac{1}{L_{Ref}} \cdot \alpha \cdot FSN \cdot e^{\beta \cdot FSN} \cdot k \quad \text{ή}$$

$$\frac{mg}{m^3} = \frac{1}{L_{eff}} \cdot \alpha \cdot PB \cdot e^{\beta \cdot PB} \cdot k$$

Παράμετροι για μετρήσεις χωρίς θέρμανση δείγματος:

$$\alpha = 4.95$$

$$\beta = 0.38$$

$$k = 1 \text{ for } PB \leq 8$$

$$k = 1 + 10 \cdot \left(\frac{PB - 8}{2} \right)^{10} \text{ Για } PB > 8$$

Παράμετροι για μετρήσεις με θέρμανση δείγματος:

Για $PB \leq 8.08$:

$$\alpha = 5.32$$

$$\beta = 0.3062$$

$$k = 1$$

Για $PB > 8.08$:

$$\alpha = 2.015$$

$$\beta = 0.4264$$

$$k = 1 + 7,8 \cdot \left(\frac{PB - 8}{2}\right)^{10}$$

όπου:

L_{eff} : το πραγματικό (ενεργό) μήκος αναρρόφησης (σε m) για συνθήκες αναφοράς 100 kPa, 25 °C

L_{Ref} : μήκος αναφοράς αναρρόφησης (0,405 m) για συνθήκες αναφοράς 100 kPa, 25 °C

Αλγόριθμος υπολογισμού του συστήματος μέτρησης

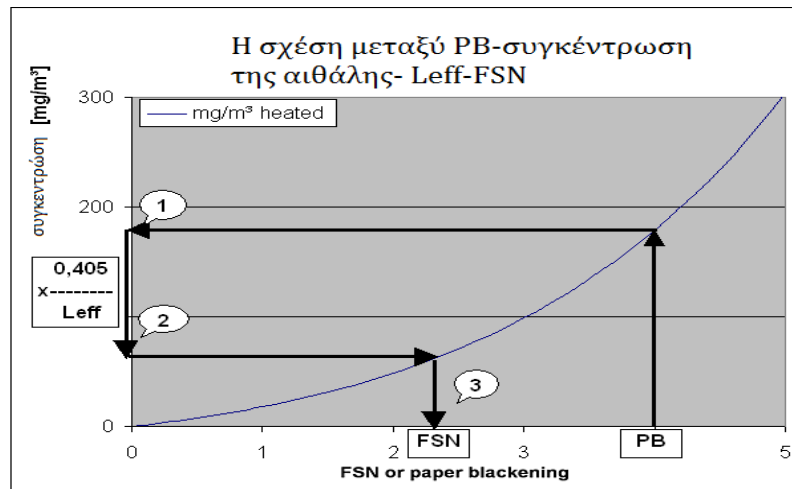
Από την μέτρηση του PB (αμαύρωση του χαρτιού), η αντίστοιχη τιμή της συγκέντρωσης σε mg/m^3 υπολογίζεται με βάση τον πίνακα 1.

Από την μέτρηση της παροχής όγκου του καυσαερίου, υπολογίζεται το μήκος αναρρόφησης L_{eff} στις συνθήκες αναφοράς των 100 kPa και 25⁰ C.

Από τις τιμές σε mg / m^3 , όπως αυτές λαμβάνονται από τον πίνακα 1, προσδιορίζεται η σχετική τιμή συγκέντρωσης για μέτρηση με μήκος 0,405 με βάση την ακόλουθη σχέση :

$$\frac{mg}{m^3} [0.405 m] = \frac{mg}{m^3} [L_{eff}] \cdot \frac{0.405}{L_{eff}}$$

Στο σχήμα 7.2.1 παρουσιάζεται γραφικά η σχέση ανάμεσα στα μεγέθη Αμαύρωση χαρτιού (PB) –συγκέντρωση αιθάλης – L_{eff} -FSN



Σχήμα 7.2.1 : Η σχέση μεταξύ PB –συγκέντρωσης αιθάλης – L_{eff} –FSN

Από την μέτρηση του PB και την μετατροπή της τιμής σε FSN, υπολογίζεται η ισοδύναμη συγκέντρωση της αιθάλης σε mg/m³ από τον παρακάτω πίνακα :

Table FSN - mg/m^3 (heated) - mg/m^3 (unheated)

FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated	FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated	FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated
0	0,000	0,000	0,2	2,79	2,64	1,5	31,19	32,42
0,001	0,013	0,012	0,25	3,55	3,36	1,6	34,30	35,92
0,002	0,026	0,024	0,3	4,32	4,11	1,7	37,6	39,6
0,003	0,039	0,037	0,35	5,12	4,89	1,8	41,0	43,6
0,004	0,053	0,049	0,4	5,94	5,69	1,9	44,7	47,8
0,005	0,066	0,061	0,45	6,78	6,53	2	48,5	52,3
0,006	0,079	0,074	0,5	7,65	7,39	2,1	52,5	57,0
0,007	0,092	0,086	0,55	8,55	8,28	2,2	56,7	62,0
0,008	0,105	0,098	0,6	9,47	9,21	2,3	61,1	67,4
0,009	0,119	0,110	0,65	10,42	10,17	2,4	65,7	73,0
0,01	0,132	0,123	0,7	11,39	11,16	2,5	70,6	79,0
0,02	0,264	0,246	0,75	12,40	12,19	2,6	75,7	85,4
0,03	0,398	0,371	0,8	13,43	13,25	2,7	81,1	92,1
0,04	0,53	0,50	0,85	14,48	14,35	2,8	86,7	99,2
0,05	0,67	0,62	0,9	15,57	15,49	2,9	92,6	106,7
0,06	0,80	0,75	0,95	16,69	16,66	3	98,7	114,6
0,07	0,94	0,88	1	17,84	17,87	3,1	105,2	123,1
0,08	1,08	1,01	1,1	20,24	20,42	3,2	112	132
0,09	1,22	1,14	1,2	22,76	23,14	3,3	119	141
0,1	1,35	1,27	1,3	25,43	26,04	3,4	126	151
0,15	2,06	1,94	1,4	28,23	29,13	3,5	134	162
FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated	FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated	FSN	mg/m^3 heated	mg/m^3 unheated
3,6	142	173	5,7	429	608	7,9	1166	1943
3,7	151	184	5,8	450	642	8	1217	2044
3,8	160	197	5,9	472	679	8,1	1274	2150
3,9	169	210	6	495	717	8,2	1346	2261
4	179	224	6,1	519	757	8,3	1422	2377
4,1	189	238	6,2	544	799	8,4	1502	2499
4,2	200	253	6,3	570	844	8,5	1586	2626
4,3	211	269	6,4	597	890	8,6	1675	2760
4,4	222	286	6,5	625	939	8,7	1768	2901
4,5	234	304	6,6	654	991	8,8	1868	3050
4,6	247	323	6,7	685	1045	8,9	1975	3212
4,7	260	343	6,8	717	1101	9	2094	3395
4,8	274	364	6,9	750	1161	9,1	2236	3621
4,9	289	385	7	784	1223	9,2	2423	3933
5	304	409	7,1	820	1289	9,3	2697	4419
5	304	409	7,2	858	1357	9,4	3142	5244
5,1	319	433	7,3	896	1430	9,5	3608	6709
5,2	336	458	7,4	937	1505	9,6	5261	9343
5,3	353	485	7,5	979	1585	9,7	7655	14038
5,4	371	514	7,6	1023	1668	9,8	11840	22265
5,5	389	543	7,7	1069	1755	9,9	19027	36384
5,6	409	575	7,8	1116	1847	10	31127	60098

Πίνακας 1 : FSN - mg/m (heated)- mg/m (unheated)

Ο λόγος που χρησιμοποιείται ξεχωριστός πίνακας για τις μετρήσεις που έχουν γίνει με θέρμανση είναι, ότι στην περίπτωση της θέρμανσης, η συμπύκνωση του νερού να αποφεύγεται, και αυτό οδηγεί σε μικρότερη κατακράτηση σωματιδίων στις δειγματοληπτικές γραμμές (sampling lines) και, κατά συνέπεια, στην μεταβολής της σχέσης μεταξύ mg / m^3 και FSN / PB για το διηθητικό χαρτί.

Για παράδειγμα, κατά την διάρκειας μέτρησης χωρίς θέρμανση, απαιτείται μια συγκέντρωση αιθάλης της τάξης $162 \text{ mg} / \text{m}^3$, ώστε ο αναλυτής να υποδείξει την τιμή FSN 3.5 . αλλά κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης με θέρμανση, αρκεί μια συγκέντρωση αιθάλης της τάξης $134 \text{ mg} / \text{m}^3$, ώστε η τιμή του FSN να είναι ίση με 3.5 .

Οι τιμές του FSN των μετρήσεων του αναλυτή AVL 415S αναφέρονται σε συνθήκες 298 K (= 25 ° C) και 100 kPa. Για αναγωγή των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας p_x, T_x χρησιμοποιούμε την παρακάτω μετατροπή:

$$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}(T_x, P_x) = \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}(T_o, P_o) \cdot \frac{P_x}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_x}$$

οπού οι θερμοκρασίες είναι σε βαθμούς Kelvin και οι πιέσεις σε kPa.

Για παράδειγμα, για μια τιμή FSN = 0,7 που μετρήθηκε σε συνθήκες αναφοράς και για μέτρηση χωρίς θέρμανση έχουμε :

$$\text{FSN}=0,7 \text{ (χωρίς θέρμανση)} = 11,16 \text{ mg/m}^3 (T_0, P_0) (100 \text{ kPa}, 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

Για αναγωγή της μέτρησης σε πίεση 90 kPa εργαζόμαστε ως εξής :

$$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}(90 \text{ kPa}, 298 \text{ K}) = 11.16 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{90}{100} = 10.044 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Η συγκέντρωση $10,044 \text{ mg/m}^3$ αντιστοιχεί σε τιμή FSN = 0,65 (90 kPa, 278 K).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το FSN είναι ίσον με PB για μήκος αναφοράς $L_{FSN}=0.405$ m και συνθήκες αναφοράς 100 kPa και 25 °C. Για μετατροπή σε αλλά μήκη L π.χ (μήκος Bacharach , $L_B = 2.918$ m), χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}(L_B) = \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}(L_{FSN}) \cdot \frac{L_B}{L_{FSN}}$$

Για παράδειγμα, για μια τιμή FSN = 0.7 (με θέρμανση) = 11.39 mg/m³ (100 kPa, 278 K, $L_{FSN} = 0.405$ m), και χρησιμοποιώντας τον τύπο έχουμε:

$$11.39 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{2.918}{0.405} \cong 82 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι η τιμή των 82 mg/m³ αντιστοιχεί περίπου στην τιμή 2.7 (FSN σε $L_B=2.918$ m)

- Συγκέντρωση αιθάλης

Είναι η περιεκτικότητα της αιθάλης σε mg / m³ που αναφέρεται σε πίεση 1 bar και θερμοκρασία 25 °C.

- Επίπεδο αμαύρωσης

Μονάδα μέτρησης της αμαύρωσης από το πρότυπο JIS 1101 (μονάδα που χρησιμοποιείται κυρίως στην Ασία για την περιεκτικότητα της αιθάλης στα καυσαέρια και δίνεται σε μονάδες επί τοις εκατό (%))

$$PL = 100 - 1.15 \cdot R_A$$

Όπου :

R_A : απόλυτη φωτεινότητα του δείγματος, προσδιοριζόμενη σε αντιπαραβολή με έναν ανεξάρτητο πρότυπο λευκό δίσκο (π.χ. οξειδίο του μαγνησίου)

$$R_A = \frac{\text{Reflectometer value of sample}}{\text{Reflectometer value of white standard disc}}$$

Το πραγματικό (ενεργό) μήκος (L_{eff}) δεν ορίζεται σαφώς στο JIS. Ο ορισμός της επιφάνειας φίλτρου, του όγκου δειγματοληψίας, των γεωμετρικών διαστάσεων κ.λπ. παράγουν ένα χαρακτηριστικό πραγματικό μήκος $L_{eff} = 380 \text{ mm}$.

Σημείωση: Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η τιμή PL για λευκό διηθητικό χαρτί είναι -3,5%.

Γενικά η φωτεινότητα του δείγματος στο AVL 415S, προσδιορίζεται σε σχέση με τη φωτεινότητα του λευκού φίλτρου. Επομένως το επίπεδο αμαύρωσης (μαυρίσματος) του διηθητικού χαρτιού (φίλτρου), πρέπει να είναι γνωστό πριν κάθε μέτρηση. Το επίπεδο της αμαύρωσης που έχει το φίλτρο πριν από την μέτρηση ονομάζεται ως "Αρνητική Μετατόπιση" του επιπέδου αμαύρωσης [%] (Negative Offset of the Pollution Level) ,όποτε ως τυπικές τιμές έχουμε: -3,5%, 380 mm.

- Όγκος δειγματοληψίας V_s

Είναι ο συνολικός όγκος του καυσαερίου που αναρροφάται από τη συσκευή μέσω του φίλτρου.

- Νεκρός όγκος V_D

Υποδηλώνει τον όγκο, ο οποίος πριν από κάθε μέτρηση, καταλαμβάνεται από καθαρό αέρα (κατά τη διάρκεια του καθαρισμού) και, συνεπώς, δεν συμβάλλει στην αμαύρωση του χαρτιού (PB).

- Όγκος διαρροής V_L

Είναι ο όγκος του καθαρού αέρα που αναρροφάται μαζί με τα καυσαέρια λόγω διαρροών (π.χ. μέσα στο σφικτήρα και σωλήνες). Προφανώς, ούτε και αυτός ο όγκος συμβάλλει στην αμαύρωση του χαρτιού.

- Πραγματικός όγκος V_{eff}

Είναι ο όγκος των καυσαερίων (που αναφέρονται σε πίεση 1 bar και θερμοκρασία 25 °C), που διέρχεται μέσω του διηθητικού χαρτιού (φίλτρου). Όπως είναι προφανές και από το ακόλουθο σχήμα, υπολογίζεται από την σχέση:

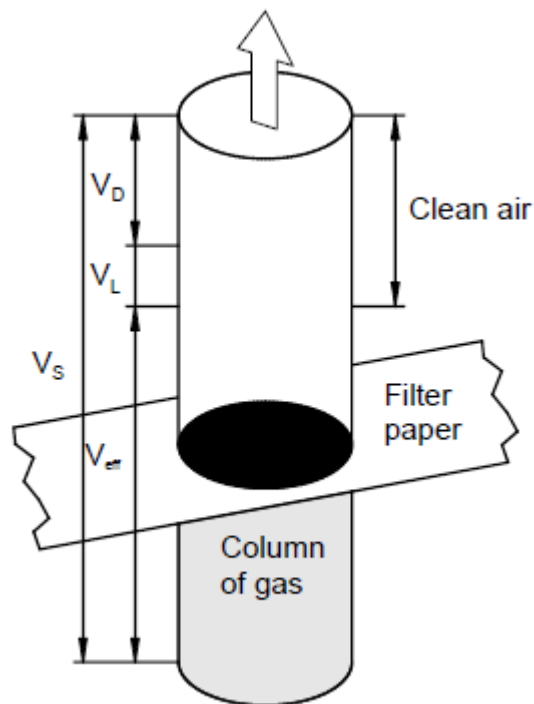
$$V_{\text{eff}} = V_S - V_D - V_L$$

- Πραγματικό μήκος L_{eff}

Είναι το μήκος της στήλης καυσαερίου, που διήλθε μέσω του διηθητικού χαρτιού και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{A}$$

Όπου A είναι το εμβαδόν του μαυρισμένου διηθητικού χαρτιού.



Σχήμα 7.2.2

- Χρόνος δειγματοληψίας

Είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο λαμβάνεται το δείγμα

- Πραγματικός χρόνος δειγματοληψίας

Είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο προσδιορίζεται η μέση συγκέντρωση αιθάλης. Γενικά μπορούμε να ειπωθεί ότι ο πραγματικός χρόνος δειγματοληψίας είναι

ίσος με τον χρόνο δειγματοληψίας μείον τον χρόνο κατά τον όποιον γίνεται η αναρρόφηση του νεκρού όγκου. Εν γένει για ο αναλυτής AVL 415S μπορούμε να θεωρήσουμε σταθερό ρυθμό δειγματοληψίας ίσο περίπου με 10 l/min.

7-2-2 Περιγραφή της Αρχής της Μέτρησης

Ο αναλυτής έχει την δυνατότητα να λαμβάνει δείγματα καυσαερίου στα όποια ο όγκος δειγματοληψίας καθορίζεται από τον χρηστή (στην λειτουργία Auto-Range, ο όγκος αυτός καθορίζεται από την ίδια συσκευή), και τα όποια περνούν μέσω του καθαρού φίλτρου. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του αναλυτή παρατηρούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Ο όγκος των καυσαερίων που περνά μέσω του φίλτρου μετριέται με χρήση ροόμετρου.
- Υπολογίζεται το πραγματικό μήκος L_{eff}
- Η αμαύρωση του διηθητικού χαρτιού (φίλτρου) λόγω της αιθάλης καθορίζεται από ένα οπτικό ανακλασίμετρο (optical reflectometer head)
- Η περιεκτικότητα σε αιθάλη των καυσαερίων προσδιορίζεται μέσω τιμής PB και του πραγματικού μήκους L_{eff} .
- Η περιεκτικότητα της αιθάλης εκφράζεται σε τιμές FSN, ως συγκέντρωση αιθάλης (σε mg / m^3) ή ως επίπεδο αμαύρωσης (σε%), όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα.

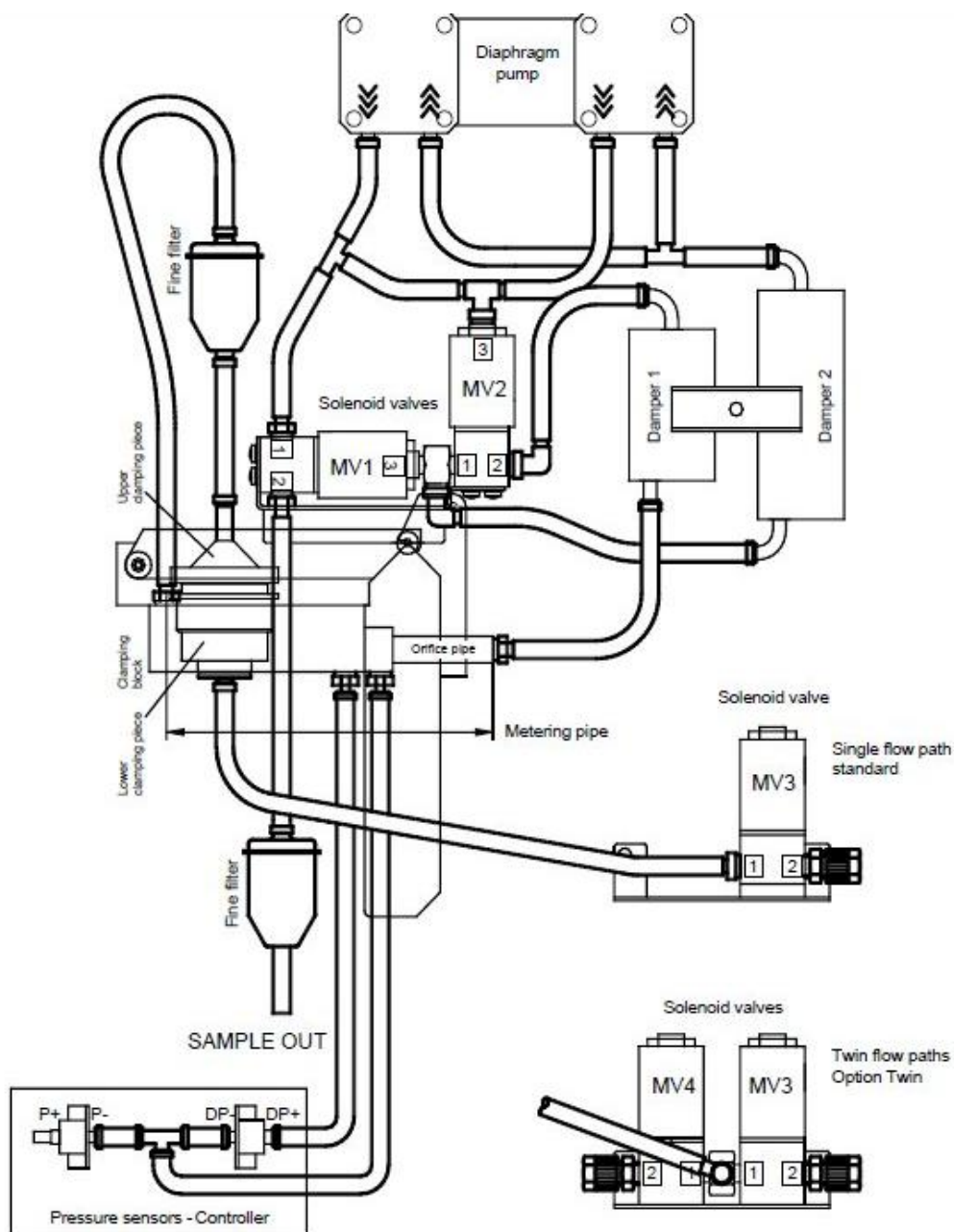
Η παροχή όγκου του δείγματος είναι περίπου σταθερή και ως εκ τούτου οι μετρούμενες τιμές αντιστοιχούν στη μέση τιμή της περιεκτικότητας της αιθάλης κατά τη διάρκεια του χρόνου δειγματοληψίας.

Η όλη διαδικασία της μέτρησης, που περιλαμβάνει τον καθαρισμό της διαδρομής των καυσαερίων, την δειγματοληψία, την τροφοδότηση του φίλτρου και τον προσδιορισμό της τιμής PB του φίλτρου και του πραγματικού μήκους L_{eff} , ελέγχεται και παρακολουθείται από έναν μικροεπεξεργαστή και λειτουργεί πλήρως αυτοματοποιημένα.

7-2-3 Περιγραφή της λειτουργίας του Αναλυτή

7-2-3-1 Διαδρομή των αέριων

Η διαδρομή των αερίων, κατά την λήψη του δείγματος, φαίνεται στο κάτωθι σχήμα:



Σχήμα 7.2.3

Στο προηγούμενο σχήμα παρατηρούμε ότι :

- Το δείγμα εισέρχεται στον αναλυτή μέσω του SAMPLE 1 IN (ή σε περίπτωση λειτουργίας με δυο κανάλια μέτρησης και από το SAMPLE 2 IN)
- Σωληνοειδής βαλβίδα (Solenoid valve) MV3 (ή σε μέτρηση με δύο κανάλια , τα MV3 και MV4)
- Μονάδα Δειγματοληψίας αποτελούμενη από:
 1. Κάτω τμήμα σύσφιξης (lower clamping piece), σχεδιασμένο ως διαχύτης για την επίτευξη ομοιογενούς αμαύρωσης του φίλτρου.
 2. Άνω τμήμα σύσφιξης (upper clamping piece)
 3. Φίλτρο (βρίσκεται ανάμεσα στο κάτω και το άνω κομμάτι σύσφιξης)
- Λεπτό Φίλτρο (Fine filter): Προστατεύει τη συσκευή από τις κατακαθίσεις αιθάλης, σε περίπτωση αστοχίας υλικού (π.χ. σε περίπτωση σκισίματος ή τρύπας του φίλτρου).
- Μετρητής παροχής (Flow meter): Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της παροχής μάζας.

Μια αρχική εκτίμηση της παροχής γίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\dot{m} = k \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \frac{P}{T}}$$

Όπου :

\dot{m} = ροή μάζας [kg/s]

K = συντελεστής αναλογικότητας

Δp = διαφορά πίεσης στο στόμιο

P = απόλυτη πίεση (που υπολογίζεται από την ατμοσφαιρική πίεση και την σχετική πίεση)

T = θερμοκρασία

Οι τιμές των μεγεθών Δp , p και T λαμβάνονται ανά διαστήματα των 5 ms και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της παροχής μάζας.

Επίσης στο σχήμα 7.2.3 παρατηρούμε ότι:

- Damper 1 (αποσβετήρας 1): Εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της πίεσης της ροής.
- Σωληνοειδείς βαλβίδες MV1 και MV2: χρησιμοποιούνται μαζί με σκοπό τον έλεγχο της κατεύθυνσης της ροής των αερίων μέσα στην συσκευή.
- Damper 2 (αποσβετήρας 2): Εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της πίεσης της ροής.
- Αντλία διαφράγματος: Αντλεί την ροή του αερίου
- Δεύτερο λεπτό φίλτρο
- Τα καυσαέρια εξέρχονται της διάταξης από την θέση SAMPLE OUT (πάνω στο δεύτερο λεπτό φίλτρο)

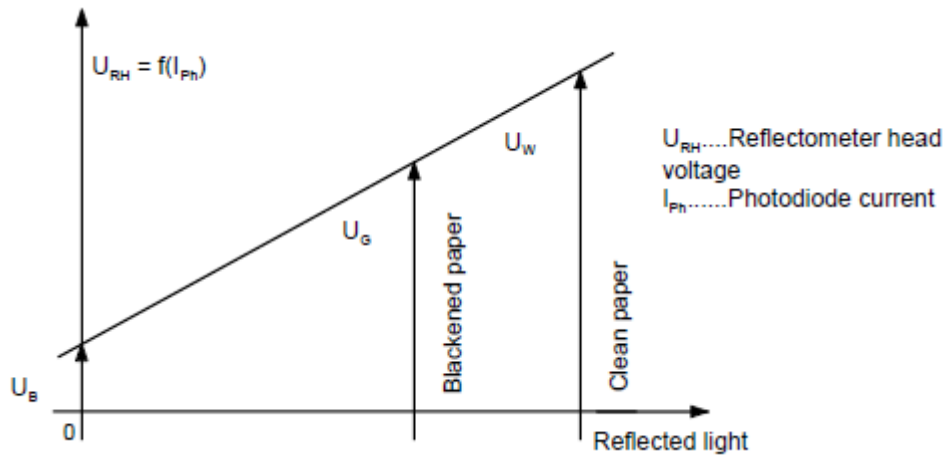
Κατά την διάρκεια του καθαρισμού της διαδρομής του καυσαερίου, αντιστρέφεται η ροή μέσω των βαλβίδων Solenoid valve MV1 και MV2. Ο καθαρός αέρας αναρροφάται από το SAMPLE OUT και φυσιέται στο σωλήνα εξαγωγής μέσω του sampling probe.

Δεν πρέπει να παραμείνουν (κατακαθίσουν) ποσότητες αιθάλης και υδρατμού στην διαδρομή του αερίου, διότι ο όγκος του καθαρού αέρα που αναρροφάται είναι συνήθως πολλές φορές μεγαλύτερος από τον όγκο δειγματοληψίας. Η κατάσταση της ροής κατά την δειγματοληψία και τον καθαρισμό παρακολουθείται διαρκώς, και σε περίπτωση βλάβης εμφανίζεται μήνυμα σφάλματος (π.χ. μπέρδεμα μάνικας)

7-2-3-2 Υπολογισμός του δείκτη “PB” (Paper Blackening)

Το φίλτρο τοποθετείται μεταξύ του ανακλασίμετρου (reflectometer head) και του λευκού δίσκου. Η κεφαλή του ανακλασίμετρου (reflectometer head) περιλαμβάνει έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα που τροφοδοτείται από μια σταθερή πηγή ρεύματος και μια φωτοδίοδο με πράσινο φίλτρο. Η φωτοδίοδος δουλεύει σε συνθήκες βραχυκύκλωσης και η λάμπα φωτίζει το φίλτρο ομοιόμορφα μέσω ενός οπτικού κύματος. Το

ανακλούμενο φως ανιχνεύεται από την φωτοδίοδο. Η μέθοδος του υπολογισμού του PB φαίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 7.2.4

Η αμαύρωση του χαρτιού (Paper Blackening) ορίζεται ως εξής:

$$PB = 10 \cdot \left(1 - \frac{U_G - U_B}{U_W - U_B}\right)$$

όπου:

U_B είναι η τάση του ανακλασίμετρου (reflectometer head) όταν το φίλτρο είναι τελείως μαυρισμένο (δηλαδή δεν ανακλάται καθόλου φως, μαύρη τιμή)

U_W είναι η τάση εξόδου της ανακλασίμετρου (reflectometer head) όταν το φίλτρο είναι τελείως λευκό κ καθαρό (λευκή τιμή)

U_G είναι η τάση εξόδου του ανακλασίμετρου (reflectometer head) όταν το φίλτρο είναι αμαυρωμένο (φαιά τιμή)

Όταν βαθμονομείται το ανακλασίμετρο, η τιμή U_B προσδιορίζεται με σβηστή την λυχνία. Στην συνέχεια η λυχνία ανάβει για 1 δευτερόλεπτο και μετράται η τιμή U_W . Οι δύο μετρούμενες τιμές αποθηκεύονται.

Όταν καθορίζεται η αμαύρωση του φίλτρου (PB) η λυχνία ανάβει για ένα δευτερόλεπτο και τότε μετριέται η τιμή U_G . Η αμαύρωση του χαρτιού (PB) υπολογίζεται από τον ανώτερο τύπο με χρήση της τιμής U_G και των τιμών U_B , U_w που έχουν αποθηκευτεί από την βαθμονόμηση του ανακλασίμετρου.

7-2-4 Σύστημα μικροεπεξεργαστή

Για την απόκτηση των δεδομένων και τον έλεγχο των επενεργητών χρησιμοποιείται ένας μικροεπεξεργαστής που λειτουργεί με βάση το σύστημα 80C196 με 122 K flash, buffered RAM και δύο Sigma / Delta ADCs με 16 bit ανάλυση.

- Ο επεξεργαστής έχει δύο σειριακές θύρες (serial ports) για :
 - Σύνδεση με έναν υπολογιστή υψηλότερου επίπεδου για έλεγχο από απόσταση (remote control) (κατά προτίμηση στο COM1)
 - Σύνδεση στο AVL 4210 (Instrument Controller) (κατά προτίμηση στο COM2)

Ο επεξεργαστής ελέγχει όλους τους ενεργητές και παρακολουθεί την ακολουθία των μετρήσεων και υπολογίζει την συγκέντρωση της αιθάλης με βάση τα δεδομένα της μέτρησης.

Μετά από την ενεργοποίηση του αναλυτή, γίνονται αυτόματα οι ακόλουθοι ελεγχοί :

- Έλεγχος σύνδεσης των εξαρτημάτων του συστήματος
- Αναζήτηση επίλογων
- Έλεγχος και Φόρτισης μνήμης με αποθηκευμένους παραμέτρους
- Ανακλασίμετρο, αντλία, κατάσταση σφικτήρα, κατάσταση διαρροή.

Τα παρακάτω ελέγχονται ανά διαστήματα των 0,5 s:

- Κατεύθυνση και όγκος της ροής αεριού
- Θερμοκρασίες του συστήματος

Επίσης ελέγχονται και τα ακόλουθα :

- Τροφοδοσία φίλτρου και ρολό χαρτιού
- Κατάσταση σφικτήρα (Αν ο διακόπτης είναι ανοιχτός η κλειστός)
- Δεδομένα του ανακλασίμετρου (Reflectometer head) (μαύρη τιμή, λευκή τιμή, γκρι τιμή - εάν βρίσκεται μεταξύ της μαύρης και λευκής τιμής)

7-2-5 Ενέργειες (διαδικασίες) στην διάρκεια του κύκλου μέτρησης

Time	~1 s	~1 s	~2 s	~6 s _i	~1 s	~1 s	~1 s	0...60 s extended purge time
Solenoid valves MV1, MV2	active							+ x s pulsating purge
	passive							
Solenoid valve MV3	active							
	passive							
Diaphragm pump	on							
	off							
Flow at orifice	sampling							
	0							
	purge							
Geared motor	on							
	off							
Filter paper clamp	open							
	closed							
Filter paper feed	on							
	off							
Reflectometer head lamp	on							
	off							
Measurement value			ZP	BV	WV			GV
					m			
Switching point	1	2	3	4	5	6	7	8 9

Σχήμα 7.2.5 : ακολουθία του κύκλου μέτρησης

Η ακολουθία των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια του κύκλου μέτρησης φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα 7.2.5. Όπως παρατηρούμε στο Σημείο 1 και 2 είναι έτοιμη να γίνει η μέτρηση και η αντλία παραμένει απενεργοποιημένη. Παράλληλα, ο αναλυτής τροφοδοτείται με καθαρό χαρτί (για να εξασφαλισθεί ότι το καθαρό χαρτί μεταφέρεται στο ανακλασίμετρο). Στο σημείο 3 η βαλβίδα MV3 (ή για μετρήσεις δύο καναλιών και η βαλβίδα MV4) ανοίγει την διαδρομή του αέριου και η αντλία ενεργοποιείται για 2 δευτερόλεπτα ούτως ώστε να καθαρίσει ο αγωγός του καυσαερίου με καθαρό αέρα και το ανακλασίμετρο βαθμονομεί τις τιμές U_B και U_W . Στο σημείο 4 ενεργοποιείται η αντλία και μέσω των βαλβίδων MV1 και MV2 ξεκινάει η διαδικασία δειγματοληψίας, με ένα ρυθμό της τάξης 10 l/min. Παράλληλα μετράται και η ροή μάζας. Η διαδικασία της δειγματοληψίας σταματά αν περατωθεί ο

χρόνος δειγματοληψίας, αν έχει συλλεχθεί ο καθορισμένος όγκος του δείγματος, ή αν η αύξηση της πίεσης είναι υπερβολική λόγω φόρτισης του φίλτρου όταν η συγκέντρωση αιθάλης είναι πολύ μεγάλη και έχει επιλεγεί μεγάλος χρόνος ή όγκος δειγματοληψίας.

Στο σημείο 5 η διαδικασία δειγματοληψίας φτάνει εις πέρας και οι βαλβίδες MV1 και MV2 απενεργοποιούνται. Όταν η ροή στο στόμιο αναστραφεί ή γίνει μηδέν, η αντλία απενεργοποιείται και η βαλβίδα MV3 (MV4) κλείνει και σταματά η μέτρηση του όγκου.

Στο σημείο 6 το αμαυρωμένο φίλτρο μεταφέρεται στο ανακλασίμετρο. Στο σημείο 7 η αντλία ενεργοποιείται εκ νέου ουτως ώστε να καθαριστεί η διαδρομή του αερίου. Παράλληλα υπολογίζεται η αμαύρωση του φίλτρου (που σε προηγούμενο στάδιο είχε αποσταλεί στο ανακλασίμετρο) και υπολογίζεται το αποτέλεσμα της μέτρησης. Αν έχει επιλεγεί η λειτουργία 'εκτεταμένης απόπλυσης' (δηλαδή επιπλέον καθαρισμός του όγκου), τότε αυτή εκτελείται τώρα. Η επιλογή αυτή ρυθμίζεται από τις «γενικές παραμέτρους» (Global Parameters).

Στο σημείο 8 η συσκευή είναι έτοιμη για επόμενες μετρήσεις και εμφανίζεται το αποτέλεσμα της προηγούμενης μέτρησης. Αν δεν ενεργοποιηθεί η επόμενη διαδικασία μέτρησης, τότε ο παλλόμενος καθαρισμός (pulsating purge) λαμβάνει χώρα για άλλα 60 s, σε κάθε διαδρομή αερίου. Κατά την διάρκεια του καθαρισμού, η βαλβίδα MV3 [MV4] ανοιγοκλείνει με σκοπό μια πιο αποτελεσματική διαδικασία καθαρισμού. Επίσης η διαδικασία καθαρισμού μπορεί να διακοπεί ανά πασα στιγμή, αν και εφ'οσον ενεργοποιηθεί μια νέα διαδικασία μέτρησης (επιστροφή στο σημείο 1).

Στο σημείο 9 όλες οι διαδικασίες καθαρισμού έχουν έλθει εις πέρας και ο αναλυτής είναι έτοιμος για επομένη μέτρηση.

Στην περίπτωση της μέτρησης με "Auto Range pre-measurement", πρώτα πραγματοποιείται μια ξεχωριστή μέτρηση με περίπου 200 ml όγκο δειγματοληψίας. Το αποτέλεσμα της μέτρησης αυτής χρησιμοποιείται μοναχά για καθορισμό του «βέλτιστου» (optimum) όγκου δειγματοληψίας που έχει ως αποτέλεσμα την αμαύρωση του χαρτιού με τιμή $PB=2,5$. Οι πραγματικές μετρήσεις πραγματοποιούνται από το σημείο 4, με τον υπολογισμένο βέλτιστο όγκο

δειγματοληψίας. Τα άνω και κάτω όρια του όγκου δειγματοληψίας ρυθμίζονται στις «γενικές παραμέτρους (global parameters)» όπως θα αναφερθεί στην συνέχεια.

Στη διάρκεια κάθε βαθμονόμησης του ανακλασίμετρου, η προσδιοριζόμενη “λευκή τιμή” συγκρίνεται με την τελευταία “λευκή τιμή” που είχε μετρηθεί. Εάν η διαφορά είναι πολύ μεγάλη (π.χ. το χαρτί είναι λερωμένο), το χαρτί αυτό αντικαθίσταται από ένα νέο και εκτελείται εκ νέου η βαθμονόμηση (κάτι τέτοιο όμως μπορεί να συμβεί το πολύ δυο φορές). Επίσης πριν από κάθε μέτρηση (ειδικά στην λειτουργία πολλαπλών μετρήσεων (multiple measurements) και μετρήσεις με εξοικονόμηση χαρτιού (paper economy)), η μαύρη τιμή του ανακλασίμετρου συγκρίνεται με την μαύρη τιμή από την τελευταία βαθμονόμηση του. Εάν οι δυο τιμές διαφέρουν πολύ μεταξύ τους (π.χ λόγω θερμοκρασίας), πραγματοποιείται επανατροφοδότηση χαρτιού και εκτελείται εκ νέου βαθμονόμηση του ανακλασίμετρου.

7-2-6 Χρόνος Καθαρισμού

Γενικά, ο καθαρισμός της διαδρομής του καυσαερίου είναι διαδικασία ζωτικής σημασίας. Ειδικά στις μετρήσεις χωρίς θέρμανση (unheated measurements), υπάρχει κίνδυνος συγκέντρωσης και σχηματισμού συμπυκνωμάτων, και ως εκ τούτου φόβος λήψης λανθασμένων μετρήσεων. Για αυτό προτείνεται κατά την διάρκεια μετρήσεων χωρίς θέρμανση να έχουμε μια αύξηση στο χρόνο καθαρισμού (η αύξηση στον χρόνο καθαρισμού ρυθμίζεται από τις «γενικές παραμέτρους» (Global Parameters) όπως θα αναφερθεί παρακάτω). Εξάλλου, στις μετρήσεις με μεγάλο χρόνο δειγματοληψίας ή μεγάλο όγκο δειγματοληψίας ενδείκνυται να περιμένουμε μέχρις ότου να ολοκληρωθεί ο πλήρης κύκλος του καθαρισμού της διαδρομής. Κάτι τέτοιο πρέπει να συμβεί και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται και τα δυο κανάλια μέτρησης (Two-Channel Measurement), πρέπει δηλαδή να περιμένουμε μέχρις ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία καθαρισμού για να είμαστε σίγουροι ότι και η δεύτερη γραμμή έχει καθαριστεί σωστά.

Ο προτεινόμενος, από τον κατασκευαστή, χρόνος καθαρισμού (πριν από μια νέα μέτρηση ή από νέες πολλαπλές μετρήσεις) υπολογίζεται συναρτήσει του όγκου

δειγματοληψίας (ειδικά στις μετρήσεις χωρίς θέρμανση (unheated measurements)) από την σχέση:

$$\text{χρονος καθαρισμου} = 15 \cdot X \cdot \frac{\text{όγκος του δείγματος (sampled volume)}}{2} \cdot \frac{\%H_2O}{10} [\text{s}]$$

όπου

X: ο αριθμός των ξεχωριστών μετρήσεων σε μια πολλαπλή μέτρηση

Sampled volume: ο όγκος του δείγματος σε λίτρα

%H₂O: η κατ'όγκο προσεγγιστική περιεκτικότητα του καυσαερίου σε υδρατμό.

Υπενθυμίζεται σε αυτό το σημείο ότι για το εν λόγω μηχάνημα ένας χρόνος δειγματοληψίας της τάξης των 60 sec αντιστοιχεί σε περίπου 10 λίτρα όγκου δείγματος.

Όταν ο αναλυτής χρησιμοποιείται επί μακρό χρονικό διάστημα σε λειτουργία πολλαπλών μετρήσεων χωρίς θέρμανση (unheated multiple measurements), ο συνολικός χρόνος δειγματοληψίας μεταξύ διαδοχικών διαδικασιών καθαρισμού δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από:

$$60 \text{ s} \cdot \frac{\%H_2O}{10}$$

7-2-7 Επιλογή του όγκου του δείγματος (Sampled Volume) και του χρόνου δειγματοληψίας (Sampling Time) ή ρύθμιση του «Auto Range»

- Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε μια ουσιαστική αξιολόγηση της μαυρισμένης περιοχής του χαρτιού, πρέπει να φροντίσουμε ώστε η αμαύρωση του χαρτιού (paper blackening PB) στον επιλεγμένο όγκο δείγματος/επιλεγμένο χρόνο δειγματοληψίας, να μην είναι μικρότερη από 0.5 ή μεγαλύτερη από 8. (κατά προτίμηση πρέπει να είναι μεταξύ των τιμών 1 και 6)
- Αν διαλέξουμε μια από τις λειτουργίες "Auto Range", κάτι τέτοιο είναι αυτόματα εξασφαλισμένο λόγω του ότι ο όγκος του δείγματος καθορίζεται κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται μια αμαύρωση χαρτιού (PB) της τάξης του ~ 2,5 (δίνει

αποτελέσματα είτε χρησιμοποιώντας μια δοκιμαστική μέτρηση ή λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της πίεσης λόγω της φόρτωσης του φίλτρου.)

Το μειονέκτημα όμως, είναι ότι η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την διεξαγωγή μιας δοκιμαστικής μέτρησης, η οποία απαιτεί περισσότερο χρόνο για κάθε κύκλο μέτρησης.

Με την μέθοδο που χρησιμοποιεί την αύξηση της πίεσης λόγω της φόρτωσης του φίλτρου, στις μετρήσεις με υψηλό FSN (μεγαλύτερο από 4) ή σε μετρήσεις σωματιδίων με μέση διάμετρο μεγαλύτερη από 300 nm, η αμαύρωση του χαρτιού (PB) μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλή (έως και >8). Σε αυτή τη μέτρηση συνιστάται η χρήση της λειτουργίας «Auto Range» με τη λήψη δοκιμαστικής μέτρησης.

Στην συγκεκριμένη λειτουργία, υπάρχει η δυνατότητα θέσπισης άνω και κάτω ορίων ογκοληψίας με σκοπό την προστασία του συστήματος σε ακραίες περιπτώσεις μετρήσεων.

Για το **Minimum Sampled Volume in Auto-Range** (Volume min. Autorange) έχουμε: 100 ml έως max. Συμβατική τιμή: 500 ml

Για το **Maximum Sampled Volume in Auto-Range** (Volume max. Autorange)

Έχουμε : min έως 20000 ml . Συμβατική τιμή: 5000 ml

Οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι δυνατόν να γίνουν από τις γενικές παραμέτρους (Global Parameters), όπως θα φανεί και στην συνέχεια

Πρέπει σε αυτό το σημείο να τονισθεί ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιείται άμεση ρύθμιση (από τον χρήστη) του όγκου δείγματος ή χρόνου δειγματοληψίας, πρέπει να δοθεί προσοχή στα ακόλουθα:

- Ο τυπικός όγκος δειγματοληψίας να είναι 1 λίτρο.
- Αν πρόκειται να μετρηθεί υψηλή συγκέντρωση αιθάλης (FSN > 6), τότε ο όγκος του δείγματος οφείλει να μειωθεί στο 1/3 του λίτρου.
- Αντίστοιχα, για εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αιθάλης (FSN <1) πρέπει να επιλεγεί όγκος δείγματος της τάξης των 3 λίτρων, για να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια μέτρησης.

Χρόνος δειγματοληψίας της τάξης των 6 δευτερολέπτων, αντιστοιχεί σε έναν όγκο δείγματος 1 λίτρο.

- Πιθανές κλίμακες προσαρμογής με χρήση της συσκευής AVL 4210 Instrument Controller:

Χρόνος δειγματοληψίας: 1 s έως 120 s

Όγκος δείγματος: 50 ml έως 20 λίτρα.

7-2-8 Λειτουργία Εξοικονόμησης Χαρτιού (Paper Economy Mode)

Γενικώς όταν χρησιμοποιούμε την λειτουργία εξοικονόμησης χαρτιού (Paper Economy Mode), πρέπει να γνωρίζουμε ότι έχουμε χαμηλότερη επαναληψιμότητα και ακρίβεια στις μετρήσεις μας. Ο λόγος είναι ότι δεν εκτελείται βαθμονόμηση του μηδενός στο ανακλασίμετρο και στους αισθητήρες πίεσης και επομένως οι παρεκκλίσεις ή οι μικρές διακυμάνσεις του ανιχνευτή (detector), της πηγής φωτός, της ατμοσφαιρικής πίεσης ή στην λευκή τιμή του χαρτιού δεν διορθώνονται. Γενικά όταν χρησιμοποιούμε την λειτουργία εξοικονόμησης χαρτιού, η βαθμονόμηση στο ανακλασίμετρο και στους αισθητήρες πίεσης πραγματοποιείται μοναχά όταν η τελευταία βαθμονόμηση είχε εκτελεσθεί πριν από 20 λεπτά ή όταν η μαύρη τιμή έχει μεταβληθεί αισθητά.

7-2-9 Πρόληψη σχηματισμού συμπυκνωμάτων

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ύπαρξη και ο σχηματισμός συμπυκνωμάτων πάνω στην μαυρισμένη περιοχή του φίλτρου έχει ως αποτέλεσμα την διαστρέβλωση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Αυτό είναι πιο επίφοβο στην διάρκεια της χρήσης του αναλυτή με μεγάλο όγκο δειγματοληψίας.

Ο σχηματισμός συμπυκνωμάτων μπορεί να προληφθεί με τα ακόλουθα βήματα :

- i. Με μείωση του όγκου δειγματοληψίας στην περίπτωση που δεν έχουμε ενεργοποιήσει την θέρμανση (Heating Option).

- ii. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αφήνοντας την διαδικασία του καθαρισμού να ολοκληρωθεί πριν την έναρξη καινούργιας μέτρησης.
- iii. Αυξάνοντας τον χρόνο καθαρισμού, ο οποίος ρυθμίζεται στις «γενικές παραμέτρους» (Global Parameters).
- iv. Με χρήση της επιλογής θέρμανσης πριν την εκτέλεση των μετρήσεων (Heating Option).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει περίπτωση σχηματισμού συμπυκνώματος στους σωλήνες δειγματοληψίας ακόμα και όταν ο αναλυτής είναι ανενεργό. Για τον λόγο αυτό, εάν δεν πρόκειται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα, προτείνεται να αφαιρεθεί το ακροσωλήνιο δειγματοληψίας του αναλυτή από την διαδρομή καυσαερίων του κινητήρα.

7-2-10 Γενικές Προϋποθέσεις για Μετρήσεις με Πολύ Μεγάλη Ακρίβεια

Στη διενέργεια μετρήσεων με πολύ μεγάλη ακρίβεια (ειδικά σε περιπτώσεις που θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις με πολύ χαμηλό FSN), απαιτείται να τηρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις και συνθήκες (όπως π.χ οι συνθήκες περιβάλλοντος), οι οποίες θα αναφερθούν αναλυτικά στις ακόλουθες ενότητες.

7-2-10-1 Περιβάλλον και Εγκατάσταση της Συσκευής

Όσον αφορά τις συνθήκες περιβάλλοντος προτιμάται η θερμοκρασία να διατηρείται κατά το δυνατόν σταθερή. Παράλληλα, προτιμάται η μόλυνση του ατμοσφαιρικού αέρα να είναι μικρότερη από την τιμή των $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (τιμή που αντιστοιχεί σε FSN = 0,001). Η τιμή αυτή ισοδυναμεί περίπου με το 1/5 της μέγιστης επιτρεπόμενης οριακής μόλυνσης του αέρα στην Αυστρία.

Όσο αφορά την θέση και την εγκατάσταση της συσκευής, τα εξαρτήματα όπως ο σωλήνας δειγματοληψίας, καθώς και η ίδια η συσκευή AVL415S, πρέπει να έχουν τοποθετηθεί κατά τέτοιον τρόπο ώστε να υπόκεινται σε όσο το δυνατόν λιγότερους κραδασμούς.

7-2-10-2 Παράμετροι που επηρεάζουν τις μετρήσεις και το μέγεθος της επίδρασης τους

Τα σωματίδια και η σκόνη μπορεί να βρίσκονται σε ολόκληρο το σύστημα εξαγωγής του καυσαερίου από την μηχανή και ως εκ τούτου, ενδέχεται να οδηγήσουν σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, θεωρούμε ως σφάλμα λόγω σωματιδίων περίπου το 1% της προηγούμενης τιμής μέτρησης σε FSN. Αυτό ισχύει για μια περίοδο μερικών λεπτών (μέχρι 20 λεπτά, τυπικά δηλαδή για τις επόμενες 5 έως 20 μετρήσεις)

Οι παλμοί πίεσης στην εξαγωγή του καυσαερίου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότεροι. Κάτι τέτοιο είναι επιτακτικό, αν αναλογιστεί κανείς ότι ένας ισχυρός παλμός πίεσης ενδέχεται να οδηγήσει στην αποκόλληση σωματιδίων από τα τοιχώματα της εξαγωγής (που ενδεχομένως είχαν κατακαθίσει εκεί κατά την διάρκεια προηγούμενων κύκλων λειτουργίας), οδηγώντας σε χαμηλότερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Τέλος, πρέπει το σύστημα καυσαερίων της μηχανής να είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα καυσαέρια της μηχανής να μην απελευθερώνονται στον περιβάλλοντα αέρα του εργαστηρίου (για λόγους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα).

7-2-10-3 Απαιτήσεις του συστήματος μέτρησης

Η χωρίς προβλήματα λειτουργία της συσκευής AVL 415S εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Για να είμαστε όμως σίγουροι ότι μπορούμε να λαμβάνουμε σωστές και ακριβείς μετρήσεις, πρέπει να φροντίσουμε ώστε το σύστημα μέτρησης της διάταξης να συντηρείται σωστά. Γενικά δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για την συντήρηση του αναλυτή, διότι αυτό εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μόνιμη λειτουργίας του αναλυτή (πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία, 24 ώρες/ήμερα-6..7 ημέρες/εβδομάδα), επιβάλλεται πλήρης συντήρηση του αναλυτή κάθε τρεις εβδομάδες και αλλαγή της αντλίας ανά τρίμηνο.

Όταν έχουμε μέση χρήση του αναλυτή, τότε κάθε φορά που τοποθετείται νέο χαρτί, πρέπει να γίνει η ακόλουθη επιθεώρηση:

- Έλεγχο κεφαλή του ανακλασίμετρου, δηλαδή:
 - ✓ Ο γυάλινος τομέας να μην είναι λερωμένος, γρατζουνισμένος ή κατεστραμμένος. Εξ'άλλου, κάθε φορά που αλλάζουμε το φίλτρο, πρέπει να γίνει έλεγχος ότι δεν έχουν κατακαθίσει στρώματα αιθάλης η σκόνης στον συγκεκριμένο τομέα.
 - ✓ Τα πολυμερικά υλικά της κεφαλής μέτρησης πρέπει να είναι καθαρά, διαφανή και άχρωμα. Αν τα υλικά αυτά έχουν πάρει κίτρινο ή καφέ χρώμα, τότε επιβάλλεται η αλλαγή της κεφαλής.
 - ✓ Κάθε δυο χρόνια συνίσταται να γίνεται αντικατάσταση της κεφαλής μέτρησης.

- Τα δυο λεπτά φίλτρα (fine filters) να μην είναι λερωμένα.

- Στην μαυρισμένη περιοχή του φίλτρου:
 - ✓ Το φίλτρο πρέπει να παρουσιάζει ομοιογενή μαυρισμένη περιοχή στρογγυλού περιγράμματος με διάμετρο $29,8 \pm 0,1$ mm.
 - ✓ Οι τυχούσες τοπικές σκοτεινές κηλίδες καταδεικνύουν τον σχηματισμό συμπυκνωμάτων ή έντονες κατακαθίσεις αιθάλης, οπότε :
 1. Ελέγχεται η διαδρομή του αερίου από το δειγματολήπτη (sampling probe) μέχρι το διηθητικό χαρτί (φίλτρο).
 2. Πραγματοποιείται συχνός καθαρισμός.
 3. Μειώνεται ο όγκος δειγματοληψίας
 4. Επιλέγεται η λειτουργία με θέρμανση (Heating Option)
 - ✓ Αν η άκρη του κύκλου είναι θολή τότε είναι πιθανόν να υπάρχουν διαρροές στην μονάδα αναρρόφησης και άρα πρέπει να γίνει έλεγχος της.

➤ Έλεγχος διαρροής :

Ο έλεγχος διαρροής γίνεται ως εξής: Εισερχόμαστε στο κεντρικό μενού του αναλυτή AVL 415S στο AVL 4210 Instrument Controller όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.2.6 και επιλεγούμε τον έλεγχο διαρροής (**Leak Check**). Η διαδικασία ξεκινά όταν πατήσουμε την επιλογή **START** και τελειώνει όταν εμφανιστεί η ένδειξη **READY**.

Αν η διαρροή είναι μικρότερη από $\frac{1.5 \text{ ml}}{100 \text{ mbar} \cdot \text{s}}$, τότε δεν υπάρχει ουσιαστικό θέμα διαρροής και ο αναλυτής θεωρείται ότι λειτουργεί κανονικά.

Αν εμφανιστεί το σφάλμα "*Function timeout*", τότε δεν ήταν δυνατό να δημιουργηθεί η απαιτούμενη χαμηλή πίεση εντός 5 s (κάτι που συνεπάγεται υπερβολική διαρροή).

Αν εμφανιστεί το σφάλμα "*Leak check not successful*" τότε η διαρροή είναι μεγαλύτερη από $\frac{1.5 \text{ ml}}{100 \text{ mbar} \cdot \text{s}}$.

415S MENU	415S
MEASUREMENT	SYSTEM PARAM.
VOLUME CAL.	POLLUT. PARAM.
LEAK CHECK	MANUAL PARAM.
REFL.HEAD CAL.	CALIBR. PARAM.
SERVICE	GLOBAL PARAM.

MENU EXEC.

Σχήμα 7.2.6: κεντρικό μενού του 415s στο AVL 4210 Instrument Controller

➤ Έλεγχος του λευκού δίσκου (white value disk) για πιθανή αμαύρωση.

Όταν οι μετρημένες εκπομπές αιθάλης είναι πάνω από 0,5 FSN, τότε ο σωλήνας, ο δειγματολήπτης (sampling hose and probe) και αν χρειαστεί και η κεφαλή του ανακλασίμετρου, πρέπει να καθαριστούν μετά την χρήση.

Στην περίπτωση που ο αναλυτής AVL 415S πρόκειται να παραμείνει ανενεργό, ο δειγματολήπτης (sampling probe) πρέπει να αφαιρεθεί από την διαδρομή καυσαερίων του κινητήρα, ειδικά όταν ο κινητήρας πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Σε αντίθετη περίπτωση είναι επιτακτικό, πριν από την επομένη μέτρηση, να καθαριστεί όλο το σύστημα μετρήσεων (probe, hose, suction head, reflectometer head, clamping lever)

Για να έχουμε μια μέτρηση με όσο πιο δυνατόν ακριβή αποτελέσματα προτείνεται να ακολουθούνται πιστά οι πρότυπες ρυθμίσεις (να γίνεται θέρμανση μέχρι την κανονική (standard) θερμοκρασία, να χρησιμοποιείται το κανονικό μήκος σωλήνα δειγματοληψίας, κανονικό probe). Προφανώς είναι δυνατή η χρήση και τα άλλων μήκων σωλήνων, αλλά κάτι τέτοιο θα επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των μετρήσεων.

7-2-10-4 Απαιτήσεις πριν τις μετρήσεις

Πριν να ξεκινήσουμε την διαδικασία της μέτρησης, πρέπει ο αναλυτής να έχει ζεσταθεί καλά, διαδικασία που διαρκεί περί τα 30 λεπτά. Το μοναδικό φίλτρο, το οποίο επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί στον αναλυτή αυτόν, είναι του τύπου S&S 597LA. Όταν τοποθετείται καινούργιο φίλτρο, πρέπει να περιμένουμε εκ νέου για περίπου 30 λεπτά μέχρι το σύστημα να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Στην συνέχεια, πρέπει να λάβει χώρα η διαδικασία του αυτόματου καθαρισμού. Σε περίπτωση που δεν ήταν δυνατόν να λάβει χώρα προηγουμένως ο πλήρης καθαρισμός της διαδρομής, προτείνεται η εκτέλεση 5-10 δοκιμαστικών μετρήσεων με χρόνο δειγματοληψίας της τάξης των 5-10 δευτερόλεπτων.

Σε περίπτωση που πρόκειται να πραγματοποιηθούν αυτόματες μετρήσεις με μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων (μεγάλες και μικρές συγκεντρώσεις), επιβάλλεται μεταξύ των δοκιμών να λαμβάνει χώρα καθαρισμός της γραμμής.

Σημειώνεται ότι είναι επιθυμητό η αμαύρωση του χαρτιού (PB) να κυμαίνεται στο διάστημα 1-5. Γενικά όμως το PB δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 6.

Με την προϋπόθεση ότι το PB δεν είναι μικρότερο του 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία Auto-Range. Για τις μετρήσεις όμως πολύ μικρών συγκεντρώσεων είναι δυνατόν να αυξηθεί ο όγκος δειγματοληψίας (maximum sampled volume), με σκοπό την επίτευξη μετρήσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ένας τυπικός όγκος δειγματοληψίας 5 λίτρων κατά την λειτουργία Auto-Range αντιστοιχεί περίπου σε ένα χρόνο δειγματοληψίας των 30 s. Γενικότερα ο χρόνος δειγματοληψίας πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 10 δευτερόλεπτα.

7-3 Μέτρηση

7-3-1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά στις διάφορες περιπτώσεις μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν με τον αναλυτή AVL 415S μέσω του AVL 4210 Instrument Controller (σύνδεση στο com2 του αναλυτή). Πρέπει να αναφέρουμε ότι εκτός του AVL 4210 Instrument Controller, το AVL 415S μπορεί να συνδεθεί και με ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση κατάλληλων εντολών που όμως ξεφεύγουν από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Σε πρώτη φάση, θα παρουσιαστούν οι διακόπτες DIL, που διαδραματίζουν βασικούς ρόλους στη λειτουργία του συστήματος μέτρησης. Για παράδειγμα, οι διακόπτες S7 και S8 επιτρέπουν την λειτουργία του αναλυτή με θέρμανση (Heating Option).

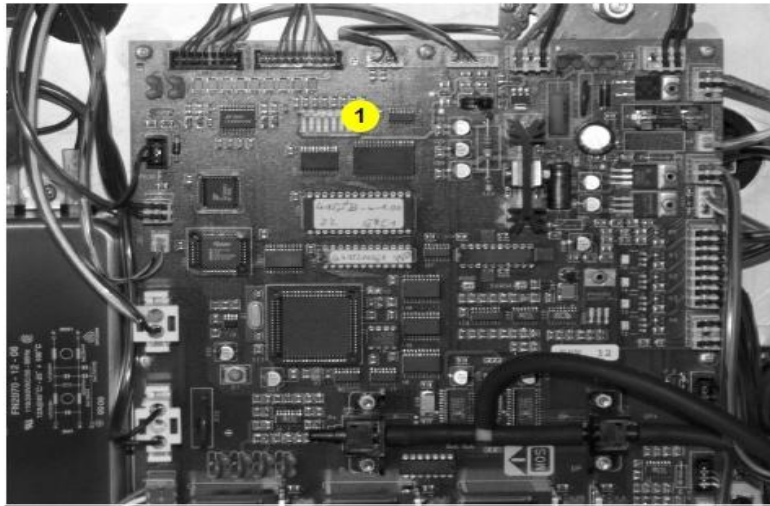
7-3-2 Διακόπτης DIL (DIL Switches)

7-3-2-1 Θέση των διακοπών

Πριν γίνει αναφορά στους διακόπτες DIL, πρέπει να τονισθεί ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη λειτουργία του αναλυτή λόγω της ύπαρξης ψηλών τάσεων. Ως εκ τούτου απαγορεύεται αυστηρά να ανοιχτεί η ηλεκτρική μονάδα (πλακέτα που περιλαμβάνει και τους διακόπτες DIL), την ώρα που ο αναλυτής βρίσκεται σε λειτουργία.

Επίσης, η ρύθμιση διακοπών DIL μπορεί να πραγματοποιηθεί μόναχα όταν η συσκευή είναι απενεργοποιημένη και έχει αποσυνδεθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι διάφοροι διακόπτες DIL ορίζονται από S1 έως S8 και η θέση τους πάνω στην ηλεκτρική πλακά είναι στο σημείο 1, όπως αυτό ορίζεται στο σχήμα 7.3.1.



Σχήμα 7.3.1 Διακόπτης DIL (DIL Switches)

7-3-2-2 Επιλογή πρωτοκόλλου διασύνδεσης

Το AVL PUMA OPEN είναι λογισμικό που χρησιμοποιείται κατά την δοκιμή της απόδοσης ενός κινητήρα. Όταν ο αναλυτής AVL415S είναι συνδεδεμένο με το AVL PUMA OPEN, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί το γενικό πρωτόκολλο επικοινωνίας (415SAK generic communication protocol), ειδάλλως χρησιμοποιείται το 415 πρωτόκολλο συμβατότητας (compatible protocol).

COM 1

S2	Κλειστό (OFF)	Ανοιχτό (ON)
	415SAK-γενικό πρωτόκολλο επικοινωνίας	415 πρωτόκολλο συμβατότητας

Πινάκας 7.3.1

COM 2

S5	Κλειστό (OFF)	Ανοιχτό (ON)
	415SAK-γενικό πρωτόκολλο επικοινωνίας	415 πρωτόκολλο συμβατότητας

Πινάκας 7.3.2

S6	Κλειστό(OFF)	Ανοιχτό(ON)
	9600 baud	1200 baud

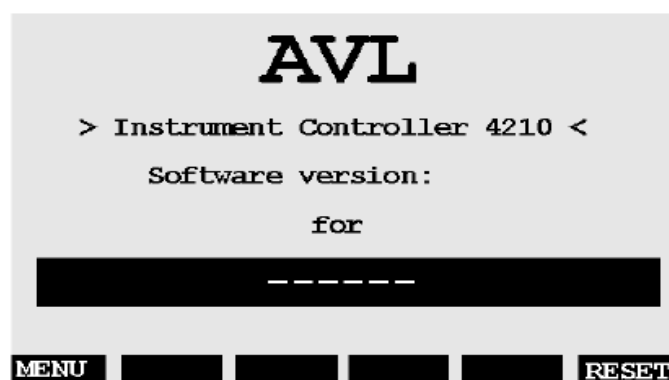
Πινάκας 7.3.5

7-3-3 Λειτουργία με το AVL 4210 Instrument Controller

7-3-3-1 Ρύθμιση του AVL 4210 Instrument Controllers

Κατά την πρώτη σύνδεση του AVL 4210 Instrument Controllers με τον αναλυτή AVL 415s, πρέπει να γίνει κατάλληλη ρύθμιση του AVL 4210 ώστε αυτό να αναγνωρίζει το AVL415s και ως εκ τούτου να μπορούν να συνεργαστούν οι δύο συσκευές.

Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται μετά την έναρξη του AVL 4210 φαίνεται στο σχήμα 7.3.3.



Σχήμα 7.3.3

Αν το AVL 4210 λειτουργεί για πρώτη φορά, θα εμφανιστούν στην πρώτη οθόνη οριζόντιες γραμμές σε σκούρο φόντο. Αν έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, θα εμφανιστεί το όνομα της συσκευής (ή των συσκευών) για την οποία έχει ρυθμιστεί. Για την ρύθμιση του αναλυτή, επιλεγούμε κατ'αρχήν το **MENU**. Στην συνέχεια εμφανίζονται οι κυρίως επιλογές **CONTRAST**, **LANGUAGE** και **CONFIGURATION**. Εάν η συσκευή έχει ρυθμιστεί στο παρελθόν για λειτουργία με κάποιες συσκευές, θα εμφανιστεί μια στήλη με τις επιλογές που είναι διαθέσιμες για τις συσκευές αυτές, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.3.4



Σχήμα 7.3.4

- **Επιλογή των συσκευών και καθορισμός των ρυθμών μεταφοράς κατά Baud**
 - Επιλέγουμε την συσκευή που είναι συνδεδεμένη. (AVL 415s)
 - Επιλέγουμε το **CONFIGURATION EXEC** και στην συνέχεια την επιλογή **SERIAL LINES EXEC.**

Στο μενού που εμφανίζεται, μπορούμε να επιλέξουμε τον συνδυασμό των συνδεδεμένων συσκευών και την σύνδεση τους με κάποια από τις τρεις θύρες **COM 0**, **COM 1** και **COM 2** καθώς και να ορίσουμε τις ταχύτητες Baud τους. Για τις ανάγκες των μετρήσεων η ρύθμιση θα γίνει, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3.5, δηλαδή θα συνδέσουμε το AVL 415S στο COM2 και θα επιλέξουμε ταχύτητα 9600 Baud. Εν συνεχεία, αποθηκεύουμε τις ρυθμίσεις με την επιλογή **SAVE**.

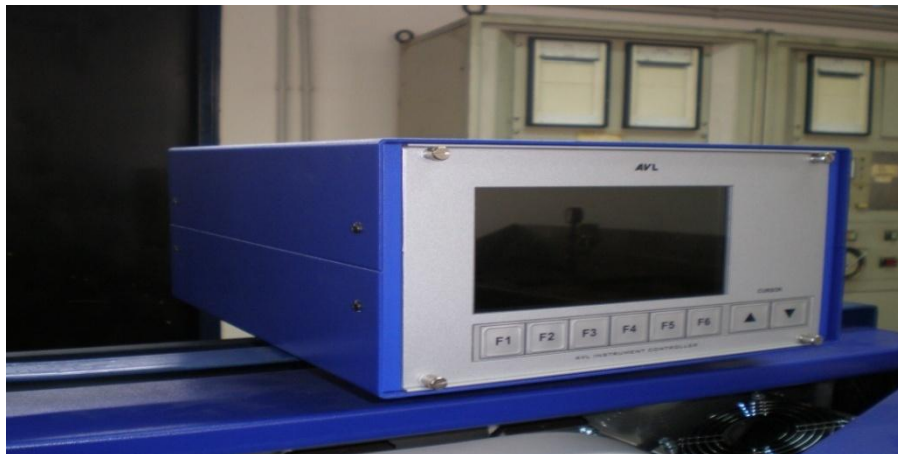
The screenshot shows a 'SERIAL LINES' configuration screen. At the top, it says 'Device combination: AVL 415S'. Below is a table with three columns: 'Interface', 'Device', and 'Baudrate'. The table lists three COM ports: COM 0, COM 1, and COM 2. COM 2 is configured with the device 'AVL 415S' and a baudrate of 9600. At the bottom, there are buttons for 'MENU' and 'SET'.

Interface	Device	Baudrate
COM 0 :	---	9600
COM 1 :	---	9600
COM 2 :	AVL 415S	9600

Σχήμα 7.3.5

7-3-3-2 Χειρισμός του AVL 4210 Instrument Controller

Το μηχάνημα AVL 4210 Instrument Controller όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.3.6, περιέχει πλήκτρα F1 έως F6 (softkeys) και πλήκτρα Άνω και Κάτω (↑ ↓).



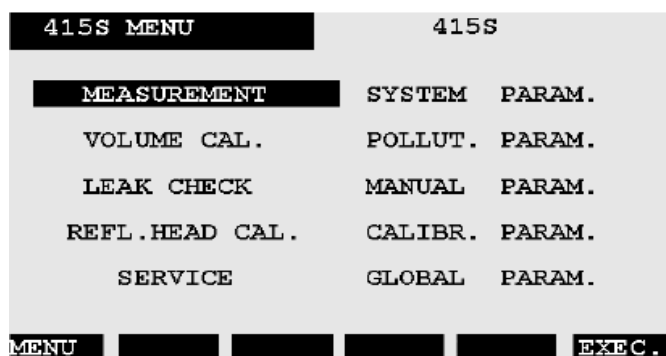
Σχήμα 7.3.6 AVL 4210 Instrument Controller

Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται στο AVL 4210 εμφανίζεται στο σχήμα 7.3.7 (αρκεί να έχει λάβει χώρα η κατάλληλη διαμόρφωση, όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως). Για την λειτουργία του μηχανήματος, χρησιμοποιούμε τα κουμπιά ↑ ↓ και τις επιλογές που παρουσιάζονται στην οθόνη του μηχανήματος.



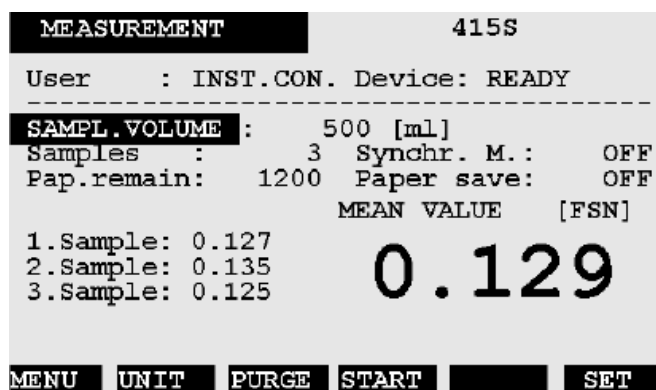
Σχήμα 7.3.7 πρώτη σελίδα του AVL4210

Πατώντας το πλήκτρο **F1** μεταφερόμαστε στο κεντρικό μενού όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.3,8, και στην συνέχεια, με χρήση της επιλογής **Measurement** (μέτρηση) μπορούμε να ξεκινήσουμε την διαδικασία μέτρησης.



Σχήμα 7.3.8 Κεντρικό μενού

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 7.3.9, στο άνω αριστερά μέρος της οθόνης, αναγράφεται ο τίτλος της επιλογής στην οποία βρισκόμαστε. Στην δεξιά πλευρά παρουσιάζεται η ονομασία της συσκευής που έχει αναγνωρισθεί από το μηχάνημα καθώς και η έκδοση του λογισμικού της συσκευής.



7.3.9 Η οθόνη της Measurement

Στην δεύτερη γραμμή εμφανίζεται ο χρήστης (USER) και η κατάσταση της συσκευής (Device status). Ο χρήστης δηλώνει εάν η συσκευή θα ελέγχεται από:

- Το INST.CON: Έλεγχος με χρήση του AVL4210
- Απομακρυσμένος έλεγχος (REMOTE): Έλεγχος με χρήση του test bed host ή υπολογιστή.

Με χρήση του πλήκτρου **READY**, έχουμε την δυνατότητα να αλλάξουμε το INST.CON MODE όποτε θέλουμε. Όμως πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι όταν πατάμε το πλήκτρο **READY**, όλες οι διαδικασίες που βρίσκονται σε εξέλιξη εκείνη τη στιγμή θα τερματιστούν, ακόμα και αν έχουν ξεκινήσει από την test bed host ή από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η κατάσταση της συσκευής (**Device status**) μας δίνει πληροφορίες για το αν η συσκευή είναι έτοιμη για λειτουργία ή όχι, εάν μια διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη, ή εάν έχει προκύψει κάποιο σφάλμα. Οι λειτουργίες που μπορούν να εκτελεστούν σε κάθε χρονική στιγμή εξαρτώνται από την κατάσταση αυτή.

Η τελευταία γραμμή της οθόνης περιγράφει τις λειτουργίες των softkeys που έχουν διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικές οθόνες. Παρ'αυτά το πλήκτρο F1 (που βρίσκεται τέρμα αριστερά) έχει πάντα την ίδια λειτουργία, δηλαδή να επιστρέφει τον χρήστη στον αμέσως προηγούμενο κατάλογο.

7-3-3-2-1 Επιλογή και ρύθμιση

Χρησιμοποιώντας τα δυο πλήκτρα $\uparrow\downarrow$ (βλ. σχήμα 7.3.9) έχει την δυνατότητα ο χρήστης να κάνει τις επιλογές που επιθυμεί από το μενού και να ορίσει τις επιθυμητές αριθμητικές τιμές. Σε κάθε χρονική στιγμή, η επιλογή στην οποία βρίσκεται ο κέρσορας, τονίζεται από σκούρο φόντο και ενεργοποιείται με το πάτημα του κουμπιού **EXEC**.

Για να αλλάξουμε μια ρύθμιση ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Επιλέγουμε το επιθυμητό πεδίο και εν συνεχεία πατάμε το πλήκτρο **SET**. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός πλαισίου γύρω από την επιλογή.
2. Χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα $\uparrow\downarrow$, έχουμε την δυνατότητα να διαλέξουμε κάποια λειτουργία από την λίστα επιλογών, είτε να εισάγουμε κάποια σχετική (με την εκάστοτε λειτουργία) αριθμητική τιμή. Τέλος, σημειώνεται ότι η επιλογή των απαραίτητων (για την ακρίβεια που επιθυμούμε) δεκαδικών ψηφίων, γίνεται με τα πλήκτρα < και >.
3. Πατώντας το πλήκτρο **ENTER** ολοκληρώνεται η εισαγωγή των δεδομένων.
4. Στο τέλος της διαδικασίας αυτή θα εμφανιστεί η επιλογή αποθήκευσης (**SAVE**), η οποία επιτρέπει την αποθήκευση των ρυθμίσεων μας.

Χρειάζεται να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι αν εγκαταλείψουμε την διαδικασία χωρίς πρώτα να έχουμε πατήσει το πλήκτρο **SAVE**, θα χαθούν όλες οι ρυθμίσεις.

7-3-3-2-2 Ρυθμίσεις που μπορούν να μεταβληθούν από τον χρήστη

Οι διάφορες ρυθμίσεις, όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 7.3.9, παρουσιάζονται συνοπτικά στην συνέχεια:

- **Όγκος Δειγματοληψίας (Sampl. Volume) ή Χρόνος Δειγματοληψίας (sampling time)**

Όγκος Δειγματοληψίας (Sampled volume): 100 ... 20000 ml, προεπιλεγμένη τιμή είναι τα 1000 ml.

Χρόνος Δειγματοληψίας (Sampling time): 1 ... 120 s

Auto-Range pre-measurement (Θα αναφερθεί πιο αναλυτικά στο 7-3-8)

Auto-Range online (Θα αναφερθεί πιο αναλυτικά στο 7-3-8-2)

- **xx ml ή xx s ή ----**

Οι τιμές αυτές αναφέρονται στους προεπιλεγμένους όγκους και χρόνους δειγματοληψίας.

Στην περίπτωση της Auto-Range μέτρησης δεν είναι δυνατές οι επιλογές αυτές.

- **Δείγματα X**

Ρύθμισης: 1 έως 5 ή «Special»

Ο αριθμός των δειγμάτων στην περίπτωση των πολλαπλών μετρήσεων είναι από 1 έως 5 όπως θα αναφερθεί και πιο αναλυτικά σε επόμενη ενότητα.

Στην μέτρηση τύπου «special» θα γίνει αναφορά στην ενότητα 7-3-7 .

- **Synchr. M**

Συγχρονισμένες μετρήσεις με προεπιλεγμένο όγκο ή χρόνο δείγματος: OFF ή ON.

Περαιτέρω αναφορά θα γίνει στην ενότητα 7-3-6.

- **Pap.remain**

Τιμή που εμφανίζεται για τις απλές μετρήσεις με μέγιστη τιμή το 1200.

Η τιμή αυτή λειτουργεί ως ένδειξη για τον αριθμό των μετρήσεων που απομένουν. Αν ο αναλυτής έχει τροφοδοτηθεί με ένα ρολό χαρτιού που επαρκεί χονδρικώς για περισσότερες από 1000 μετρήσεις, τότε στην οθόνη θα εμφανιστεί ένδειξη με μια τιμή μεταξύ 1000 και 1150. Η τιμή αυτή μειώνεται ανά 50 (η ένδειξη έχει ακρίβεια +/- 150 μονάδες χαρτιού) τείνοντας στην τιμή 0 (στην περίπτωση αυτή ο αναλυτής δεν δύναται να διεξάγει περαιτέρω μετρήσεις λόγω έλλειψης χαρτιού).

- **Paper save**

Η ένδειξη αυτή μπορεί να είναι ON ή OFF, ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται η λειτουργία εξοικονόμησης χαρτιού, σύμφωνα με τα όσα έχουν προαναφερθεί.

- **Mean Value**

Εμφανίζεται μόνο όταν έχει γίνει η επιλογή πολλαπλών ή 'special' μετρήσεων.

- **Sample x**

Είναι διαθέσιμο κατά την διεξαγωγή μετρήσεων με χρήση και των δυο καναλιών μέτρησης

1: Δείγμα που διέρχεται μέσω της βαλβίδας MV3

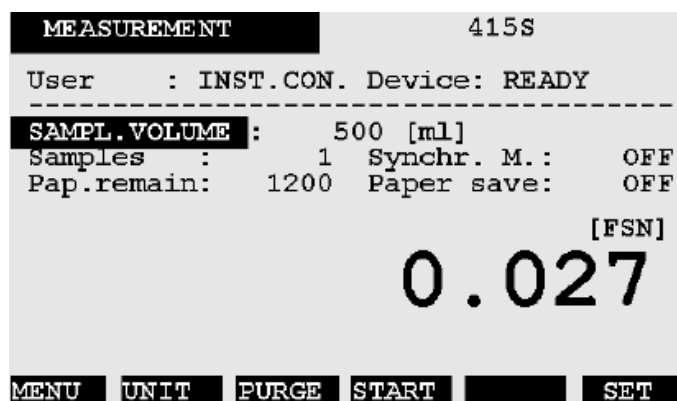
2: Δείγμα που διέρχεται μέσω της βαλβίδας MV4

- **Softkeys**

- **MENU** Επιστροφή στον αμέσως προηγούμενο κατάλογο (μενού).
- **UNIT** Επιλογή της μονάδας μέτρησης (FSN, mg/m³, ή επίπεδο αμαύρωσης).
- **PURGE** Χειροκίνητη ενεργοποίηση της διαδικασίας καθαρισμού.
- **START** Ενεργοποίηση της διαδικασίας μέτρησης.
- **SET** Αλλαγή ρυθμίσεων.
- **ERROR** Εμφανίζει τυχόν σφάλματα που έχουν προκύψει.

7-3-4 Απλή μέτρηση-Προεπιλεγμένος όγκος/χρόνος δειγματοληψίας (Single Measurement - Preselected Sampled Volume/Sampling Time)

Μια τυπική εφαρμογή για αυτόν τον τύπο μέτρησης, είναι ο υπολογισμός των εκπομπών αιθάλης σε κινητήρα που λειτουργεί σε σταθερό φορτίο. Η ρύθμιση για την προεπιλογή του όγκου δείγματος έχει αναφερθεί στην ενότητα 7-2-7.



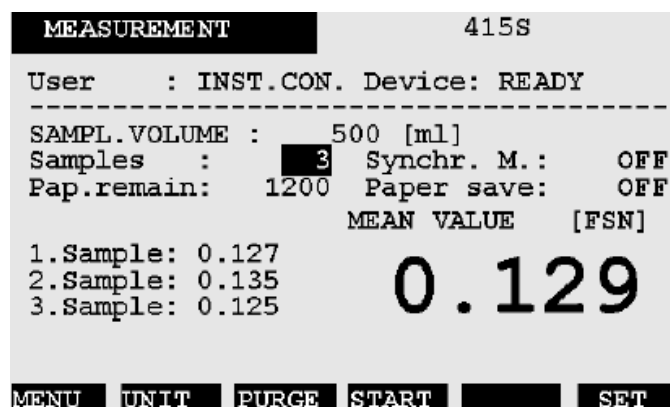
Σχήμα 7.3.10

Η διαδικασία της μέτρησης ξεκινάει με το πάτημα του πλήκτρου **START**. Η τιμή της μέτρησης εμφανίζεται σε FSN (βλ. Σχήμα 7.3.10), αλλά είναι δυνατόν να προβάλλουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης σε άλλες μονάδες με χρήση του πλήκτρου **UNIT**. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν το αποτέλεσμα της μέτρησης να εμφανιστεί ως FSN (filter smoke number) ως mg/m^3 (συγκέντρωση της αιθάλης), ή ως ποσοστό % (επίπεδο αμαύρωσης).

7-3-5 Πολλαπλές Μετρήσεις-Προεπιλεγμένος όγκος/χρόνος δειγματοληψίας

(Multiple Measurement - Preselected Sampled Volume/Sampling Time)

Σε αυτή τη λειτουργία είναι δυνατή η λήψη μέχρι πέντε δειγμάτων το ένα μετά το άλλο με προεπιλεγμένο τον όγκο/χρόνο της δειγματοληψίας.



Σχήμα 7.3.11

- Η διαδικασία της μέτρησης ξεκινάει με χρήση του πλήκτρου **START**.

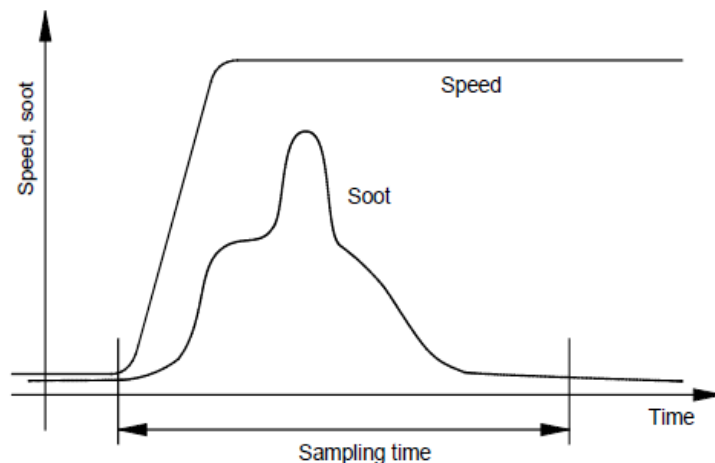
Η πρώτη τιμή των μετρήσεων, θα εμφανιστεί μόλις αυτή είναι διαθέσιμη. Πατώντας το πλήκτρο **READY** έχουμε την δυνατότητα να διακόψουμε τον κύκλο μέτρησης ανά πάσα στιγμή.

Όταν τελειώσει η μέτρηση, στην οθόνη εμφανίζεται ο μέσος όρος των επί μέρους μετρήσεων. Προφανώς, αν έχει πραγματοποιηθεί μόνο μια μέτρηση (απλή μέτρηση), δεν θα εμφανίζεται μέσος όρος στην οθόνη.

7-3-6 Συγχρονισμένες Μετρήσεις με προεπιλεγμένο όγκο ή χρόνο δειγματοληψίας (Synchronized Measurements)

Σε αυτή τη λειτουργία μπορεί να πραγματοποιηθεί η λήψη μέχρι πέντε δειγμάτων διαδοχικά με προεπιλεγμένο τον όγκο ή τον χρόνο της δειγματοληψίας. Η διαδικασία λήψης του κάθε δείγματος αρχίζει ξεχωριστά για κάθε δείγμα (για παράδειγμα πατώντας το κουμπί **CONT**). Η διαδικασία ρύθμισης του προεπιλεγμένου όγκου δείγματος, έχει περιγραφεί στην ενότητα 7-2-7 .

Μια τυπική εφαρμογή της λειτουργίας αυτής είναι η μέτρηση της συγκέντρωσης αιθάλης σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (π.χ κατά την επιτάχυνση του), κατά προτίμηση με προεπιλεγμένο τον χρόνο δειγματοληψίας.



Σχήμα 7.3.12

Μια από τις ιδιαιτερότητες του αναλυτή AVL 415S είναι ότι ο αναρροφώμενος όγκος του δείγματος ανά μονάδα χρόνου είναι περίπου σταθερός και ως εκ τούτου η τιμή της μέτρησης αντιστοιχεί στην μέση συγκέντρωση αιθάλης κατά την διάρκεια του χρόνου λήψης του δείγματος. Για να είναι δυνατή αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων σε μεταβαλλόμενη λειτουργία του κινητήρα, είναι απαραίτητο να προκαθοριστεί επ'ακριβώς ο χρόνος δειγματοληψίας και να συγχρονιστεί η εκάστοτε δειγματοληψία με την το εκάστοτε στάδιο της δυναμικής διαδικασίας. Σε αυτό το σημείο, υπενθυμίζεται ότι για να είναι δυνατή η κτήση μιας ουσιαστικής αξιολόγησης της αμαυρωμένης περιοχής του φίλτρου, πρέπει η αμαύρωση του χαρτιού (PB) να μην είναι μικρότερη από 0,5 ή μεγαλύτερη από 8 (προτιμώμενο εύρος από 1 έως 6).

```

MEASUREMENT                               415S
User    : INST.CON. Device: READY
-----
SAMPL.VOLUME : 500 [mL]
Samples   : 3   Synchr. M.: ON
Pap.remain: 1200 Paper save: OFF
                                           [mg/m3]
-----
DEVICE IS READY FOR SAMPLING -> CONT.
MENU  UNIT  READY  CONT.

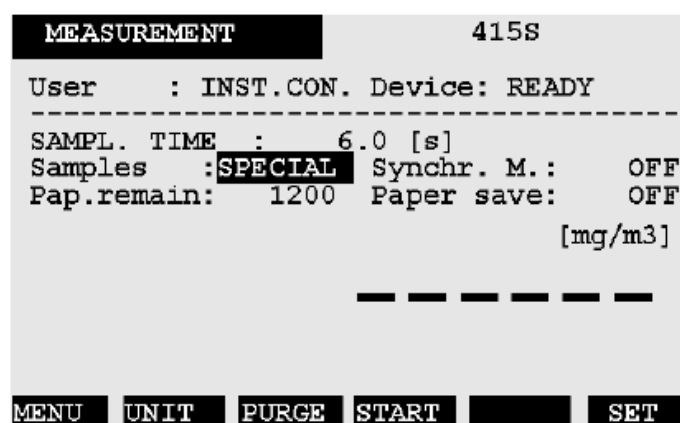
```

Σχήμα 7.3.13

Η διαδικασία της μέτρησης ξεκινάει πατώντας το πλήκτρο **START**. Όταν εμφανιστεί το μήνυμα «Device is ready for sampling -> CONT», η συσκευή είναι έτοιμη για την έναρξη της δειγματοληψίας. Αν μετά την εμφάνιση του μηνύματος, δεν ξεκινήσει η διαδικασία της μέτρησης, μέσα σε διάστημα 60 δευτερολέπτων, τότε θα εμφανιστεί νέο μήνυμα («Trigger timeout error»), που υποδηλώνει σφάλμα. Η διαδικασία της δειγματοληψίας επανεκκινεί όταν πατηθεί το πλήκτρο **CONT**. Όταν περατωθεί ο κύκλος των μετρήσεων (δηλαδή όταν έχει ληφθεί ο επιλεγμένος αριθμός δειγμάτων), εμφανίζεται στην οθόνη η μέση τιμή. Με αντίστοιχες ενέργειες (όπως αυτές περιγράφηκαν προηγουμένως) είναι δυνατή η λήψη των αποτελεσμάτων σε FSN, mg/m³ και επίπεδο αμαύρωσης.

7-3-7 SPECIAL μέτρηση

Αυτός ο τύπος μέτρησης πρόκειται ουσιαστικά για πολλαπλή μέτρηση με προεπιλεγμένο όγκο δείγματος/χρόνο δειγματοληψίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται (όχι όμως παραπάνω από 5 δείγματα) μέχρις ότου δυο διαδοχικές μετρήσεις να μην διαφέρουν περισσότερο από μια προκαθορισμένη ανοχή (parameterizable tolerance).



Σχήμα 7.3.14

Η τιμή της ανοχής, ρυθμίζεται στις γενικές παραμέτρους (7.4.6 Global Parameters) και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 1 FSN. Η ανοχή που έχει καθοριστεί από τον κατασκευαστή (αν δεν επέμβει σε αυτήν ο χρήστης), είναι 0.2 FSN.

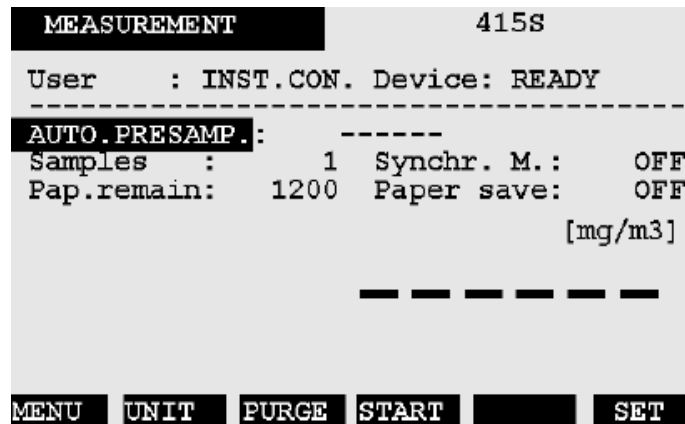
Η διαδικασία της μέτρησης ξεκινάει πατώντας το πλήκτρο **START**. Η τιμή της πρώτης μέτρησης εμφανίζεται όταν γίνει διαθέσιμη από τον μικροεπεξεργαστή. Στην συνέχεια λαμβάνει χώρα η δεύτερη μέτρηση. Εάν οι δυο μετρήσεις διαφέρουν περισσότερο από την τιμή του προκαθορισμένης ανοχής που έχουμε επιλέξει, τότε πραγματοποιούνται περαιτέρω μετρήσεις (με ανώτερο όριο τις 5 μετρήσεις). Η μέση τιμή των δύο τελευταίων μετρήσεων εμφανίζεται μόνο όταν η διαφορά τους βρίσκεται στα όρια της προκαθορισμένης ανοχής.

7-3-8 Auto-Range Μέτρηση

Η συσκευή AVL 415S προσφέρει δύο Auto-Range μεθόδους μέτρησης για να λαμβάνει δείγματα καυσαερίου ‘βέλτιστου’ όγκου (έτσι ώστε $PB = 2,5$, σύμφωνα με τα όσα έχουν εκτεθεί στα προηγούμενα). Παράλληλα, όλες οι άλλες λειτουργίες, όπως οι απλές και οι πολλαπλές μετρήσεις, η συγχρονισμένη μέτρηση και η ειδική μέτρηση μπορούν να επιλεγούν κατά την λειτουργία αυτή.

7-3-8-1 Auto-Range με Προμέτρηση

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, κατά την Auto-range μέτρηση πραγματοποιείται σε πρώτη φάση μια δοκιμαστική μέτρηση πριν από την πραγματική, με την οποία προσδιορίζεται ο όγκος του δείγματος που προκαλεί ‘βέλτιστη’ αμαύρωση του χαρτιού ($PB \sim 2,5$). Υπενθυμίζεται εξ’άλλου, ότι υπάρχει η δυνατότητα θέσπισης άνω και κάτω ορίων ογκοληψίας με σκοπό την προστασία του συστήματος σε ακραίες περιπτώσεις μετρήσεων. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω των γενικών παραμέτρων (7.4.6 Global Parameters) που βρίσκονται στο κυρίως μενού του AVL 4210.

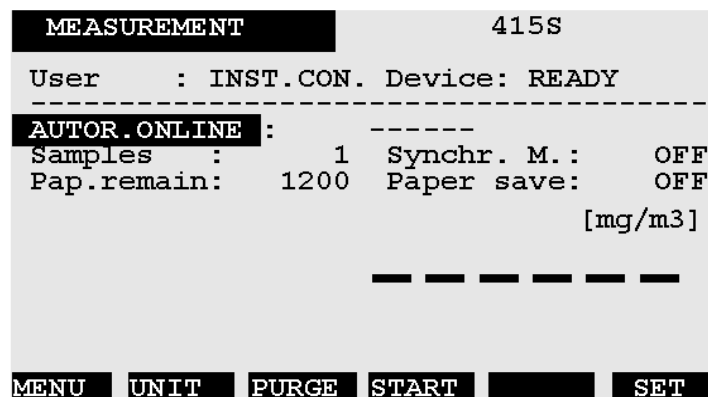


Σχήμα 7.3.15

Η διαδικασία της μέτρησης εκκινεί με το πάτημα του πλήκτρου **START**. Αρχικά, γίνεται η δοκιμαστική μέτρηση των 200 ml για να καθοριστεί ο όγκος δειγματοληψίας που δίνει την βέλτιστη αμαύρωση $PB = 2,5$ και αμέσως μετά γίνεται η πραγματική μέτρηση και το αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται σε μορφή FSN (και εδώ υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των αποτελεσμάτων σε mg/m^3 ή σε % μέσω την επιλογή UNIT)

7-3-8-2 Auto-Range Online

Με τη μέθοδο αυτή, η αύξηση του μερικού κενού πίσω από το διηθητικό χαρτί κατά τη διάρκεια διαδικασίας δειγματοληψίας μετράται και όταν φθάνει ένα κατώτατο όριο που αντιστοιχεί στη βέλτιστη φόρτωση του διηθητικού χαρτιού, η μέτρηση θα λήξει και το αποτέλεσμα αξιολογείται. Με σκοπό την προστασία του συστήματος σε ακραίες περιοχές τα άνω και κάτω όρια του όγκου δείγματος καθορίζονται όπως έχουμε αναφέρει μέσω των γενικών παραμέτρων (7.4.6 Global Parameters).



Σχήμα 7.3.16 Auto-Range Online

Όπως πριν η διαδικασία της μέτρησης εκκινεί με το πάτημα του πλήκτρου **START**. και αμέσως μετά το αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται σε μορφή FSN, όπως προηγουμένως . Υπάρχει δυνατότητα αλλαγής των αποτελεσμάτων σε mg/m^3 ή σε % μέσω την επιλογή UNIT.

Κατά την χρήση με αυτήν την μέθοδο πρέπει να δίνεται προσοχή στο γεγονός ότι πρέπει η πίεση στο σημείο δειγματοληψίας να είναι όσο το δυνατόν σταθερή στη διάρκεια της δειγματοληψίας. Επομένως η μέθοδος δεν προτείνεται για την μέτρηση της συγκέντρωσης αιθάλης σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (π.χ κατά την επιτάχυνση του). Επίσης η σταθερή θερμοκρασία των καυσαερίων πρέπει να είναι εξασφαλισμένη.

Γενικά σε μετρήσεις με πολύ υψηλή συγκέντρωση αιθάλης (FSN> περίπου. 4) ή σε μετρήσεις των σωματιδίων με μέση διάμετρο πάνω από 300 nm, η αμαύρωση χαρτιού μπορεί να είναι πολύ υψηλό (έως και > 8). Σε αυτό το είδος της μέτρησης προτείνεται η χρήση της μέθοδος «Auto Range με προ-μέτρηση».

7-4 Παραμετροποίηση και ρυθμίσεις των μετρήσεων

7-4-1 Γενικά

Ο αναλυτής AVL 415s μπορεί να ρυθμισθεί μέσω τριών διαφορετικών τρόπων:

1. AVL 4210 Instrument Controller
2. Data terminal (ή έναν υπολογιστή με terminal emulation)
3. Test bed host

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με τον πρώτο τρόπο , δηλαδή μέσω του AVL 4210 Instrument Controller. Οι παράμετροι μετά την ρύθμιση τους αποθηκεύονται σε μια μόνιμη μνήμη που έχει εγκατασταθεί μέσα στο μηχάνημα.

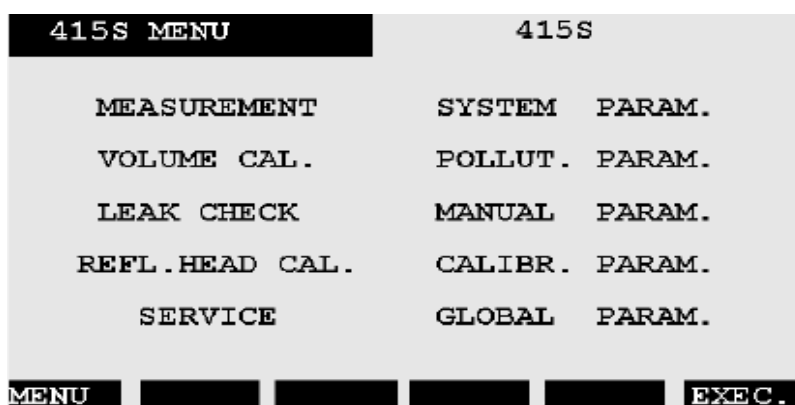
Όταν ο αναλυτής εκκινεί όλοι οι παράμετροι φορτώνονται στην τρέχουσα μνήμη του συστήματος . (σε περίπτωση σφάλματος θα εμφανιστεί το μήνυμα σφάλματος

«Checksum error». Μπορούμε να χωρίσουμε τους παραμέτρους σε 5 διαφορετικές κατηγορίες. Που φαίνονται στο σχήμα 7.3.1.

Οι κατηγορίες αυτές είναι :

1. System parameters (παράμετροι συστήματος)
2. Pollution Level parameters (παράμετροι επιπέδου εκπομπής)
3. Measurement parameters for manual mode (παράμετροι μέτρησης χειροκίνητης λειτουργίας)
4. Calibration parameters (παράμετροι της βαθμονόμησης)
5. Global Parameters (γενικοί παράμετροι)

Οι κατηγορίες 1, 2, 4 (System parameters, Pollution Level parameters, Calibration parameters) , ρυθμίζονται μονάχα όταν το data backup έχει απενεργοποιηθεί. (η μέθοδος για να απενεργοποιηθεί το data backup θα αναφέρεται πιο κάτω)



Σχήμα 7.4.1 κεντρικό μενού του 415s στο AVL 4210 Instrument Controller

7-4-2 Data Backup

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο παράγραφο, για να παραμετροποιηθούν οι τρεις κατηγορίες των παραμέτρων (System parameters, Pollution Level parameters, Calibration parameters) πρέπει να είναι απενεργοποιημένο το data backup. Υπάρχουν δυο μέθοδοι απενεργοποίηση του data backup:

1. Πρώτη μέθοδος
 - Πιέζουμε τον διακόπτη επαφής πόρτας (door contact switch), και το κρατάμε πατημένο.

- Πατάμε το κουμπί paper feed.
2. Δεύτερη μέθοδος
- Συνδέουμε το pin 5 και το pin 6 της σειριακής διασύνδεση COM1 (X1) ή COM2 (X2).



Σχήμα 7.4.2 εσωτερικός χώρος του αναλυτή AVL415s

Κουμπί Paper feed

ο διακόπτης επαφής πόρτας (door contact switch)

Πρέπει να έχουμε υπόψη ότι μετά την παραμετροποίηση και πριν ξεκινήσουμε άλλη μέτρηση πρέπει να ενεργοποιήσουμε οπωσδήποτε ξανά το data backup.

Για να ενεργοποιήσουμε το data backup απλώς μπορούμε να πατήσουμε ξανά το κουμπί Paper feed , και μετά να επανεκινήσουμε τον αναλυτή.

Στην δεύτερη περίπτωση , απλώς αποσυνδέουμε το pin 5 και το pin 6 της COM 1.

7-4-3 System Parameters

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.3.1 η πρώτη κατηγορία των παραμέτρων είναι οι System Parameters. Επίσης Πριν από κάθε ρύθμιση πρέπει πρώτα να απενεργοποιηθεί το data backup. Η σελίδα των System Parameters φαίνεται Στο σχήμα 7.4.3.

SYSTEM	PARAM.	415S
User	: INST.CON.	Device: READY
Eff. Filter Area	[mm2]:	697.5
Temperature Conditioning	:	OFF
Grey Value Error Rating	:	NORMAL
Operating time total	:	1
Operating time last	:	0
MENU		CLEAR SET

Σχήμα 7.4.3 system parameters

Effective Filter Area (Eff. Filter Area) :

Όρια μεταξύ 1 ... 32000 mm² , τυπική τιμή : 697.5 mm²

Temperature Conditioning (Temperature Cond.): είναι η επιλογή για την μέτρηση με θέρμανση (Heating option).

Gray Value Error Evaluation: προσαρμόζεται μεταξύ **normal** ή **suppressed**.

Σε περίπτωση επιλογής «**suppressed**» αν η φαιά τιμή της μέτρησης είναι μικρότερη (πιο φωτεινή) από την λεύκη τιμή, δεν θα εμφανιστεί το σφάλμα «gray value error». Αυτό μπορεί να συμβεί σε μετρήσεις καπνού πίσω από ένα φίλτρο αιθάλης.

Operating Hours Counter Total : δείχνει τον συνολικό χρόνο χρησιμοποίησης της αντλίας.

Operating Hours Counter last: δείχνει τον χρόνο χρησιμοποίησης της αντλίας, από τον τελευταίο μηδενισμό (π.χ. κατά τη διάρκεια της Service της συσκευής). Μπορεί μόνο να μηδενιστεί από το προσωπικό του προμηθευτή.

7-4-4 Pollution parameters

Η σελίδα των Pollution parameters φαίνεται στο σχήμα 7.3.4. αυτοί οι τρεις παράμετροι επηρεάζουν μονάχα τον υπολογισμό και την απεικόνιση " επιπέδου αμαύρωσης " της μέτρησης.

POLLUT. PARAM.		415S
User	: INST.CON.	Device: READY
Eff. Length	Poll.Level [mm]:	380
Neg. Offset	Poll.Level [%]:	3.5
Corr. Value	Poll.Level	: 1.000
MENU		SET

Σχήμα 7.4.4 Pollution parameters

Effective Length: Το πραγματικό (ενεργό) μήκος. Τα όρια ρύθμισης είναι 10...32000 mm . Η τυπική τιμή που χρησιμοποιούμε είναι 380 mm.

Negative Offset for Pollution Level: Όρια ρύθμισης μεταξύ 0% έως 20%. Η τυπική τιμή είναι 3.5 %.

Correction Value for Pollution Level: Όρια 0.01 ... 32. Η τυπική τιμή είναι 1.

Ο παράγοντας αυτός (διορθωτικός παράγοντας για το επίπεδο αμαύρωσης) επιτρέπει την προσαρμογή του επιπέδου αμαύρωσης σε τιμές άλλων συσκευών με διαφορετικά φίλτρα (με ψηλότερη ή χαμηλότερη αποδοτικότητα φιλτραρίσματος). Αν η αποτελεσματικότητα του φίλτρου της συσκευής στην οποία θέλουμε να προσαρμόσουμε το αποτέλεσμα είναι μικρότερη (π.χ. το χαρτί είναι πιο διαπερατό), γίνεται η προσαρμογή της μέτρησης του AVL 415S στη σύστημα μέτρησης της άλλης συσκευής μειώνοντας τον διορθωτικό παράγοντα. Μικρότερος διορθωτικός παράγοντας σημαίνει και μικρότερο επίπεδο αμαύρωσης (μη γραμμική συσχέτιση γιατί ο διορθωτικός παράγοντας λειτουργεί ανάλογα με το λόγο συγκέντρωσης αιθάλης στο διηθητικό χαρτί και του μαυρίσματος του).

7-4-5 Calibration Parameters

Είναι κατηγορία παραμέτρων της βαθμονόμησης , όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως Πριν από κάθε ρύθμιση πρέπει πρώτα να απενεργοποιηθεί το data backup. Η σελίδα των παραμέτρων βαθμονόμησης φαίνεται στο σχήμα 7.4.5

CALIBR. PARAM.		415S
User	: INST.CON.	Device: READY
Dead Volume Sample 1	[ml]:	42
Dead Volume Sample 2	[ml]:	42
Ambient Pressure	[mbar]:	980
Volume Correct.Factor	:	1.067
MENU		SET

Σχήμα 7.4.5 calibration parameters

Dead volume: ρυθμίστηκα όρια μεταξύ 0 ... 2000 ml.

Σε περίπτωση που έχουμε γραμμή δειγματοληψίας 1 μέτρου, η τυπική τιμή είναι 42 ml. Ο όγκος αυτός αποτελείται από :

- Ακροσωλήνιο δειγματοληψίας (sampling probe)(AVL Original Probe BO3144).....4ml
- Γραμμή δειγματοληψίας (sampling line) 1m.....14 ml

Υπολογίζεται με στραγγαλισμό από την σχέση :

$$Volume = (\mu\acute{\eta}\kappa\omicron\varsigma \sigma\epsilon m \times 12.57 + 1.257)$$

Όποτε για αλλά μήκη , υπολογίζεται από την σχέση αυτήν.

- Για τον όγκο μέσα στην συσκευή (από βαλβίδα καπνού μέχρι το διηθητικό χαρτί)..... 24ml

Ambient pressure : Όρια μεταξύ 100...2000 mbar,η τυπική τιμή: 980 bar

Η πίεση περιβάλλον υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = 1013. e^{-0.1521.h}$$

Οπού :

P Η πίεση σε mbar

h Ύψος από την θάλασσα.

Γενικά αρκεί να εισάγεται την ετήσια μέση πίεση περιβάλλοντος.

7-4-6 Global Parameters (Γενικοί Παράμετροι)

Είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν την λειτουργία κατά **“Auto-Range”** και **“Special”** μέτρηση. Η σελίδα των γενικών παραμέτρων φαίνεται στο σχήμα 7.4.6

GLOBAL	PARAM.	415S
User	:	INST.CON. Device: READY
Volume min. Autorange	[ml] :	500
Volume max. Autorange	[ml] :	5000
Extended Purge Time	[s] :	0.0
Ext. Trigger Delay	[s] :	0.0
Tolerance Spec.Meas.	[FSN] :	0.20
MENU		SET

Σχήμα 7.4.6 Γενικοί παράμετροι (Global Parameters)

Minimum Sampled Volume in Auto-Range (Volume min. Autorange): Όρια μεταξύ 100 ml Max. τυπική τιμή 500ml

Όπως είπαμε και πριν στο Autorange πρώτα εκτελείται μια δοκιμαστική μέτρηση (περίπου 200 ml) για να καθοριστεί ο «βέλτιστος» (optimum) όγκος δειγματοληψίας που δίνει καλύτερο αποτέλεσμα με 2.5 μαύρισμα χαρτιού (paper blackening). Εδώ ουσιαστικά καθορίζουμε τα άνω και κάτω όρια της αυτόματης επιλογής όγκου δειγματοληψίας του αναλυτή κατά μέτρηση με Autorange.

Maximum Sampled Volume in Auto-Range (Volume max. Autorange) : Όρια μεταξύ : min 20000 ml. Η τυπική τιμή : 5000 ml

Extended Purge Time : είναι ο επιπλέον χρόνος καθαρισμού που αναφέρθηκε και προηγουμένως. Ρυθμίζεται μεταξύ 0 ...60 δευτερόλεπτα. Η τυπική τιμή είναι 0 s.

External Trigger Delay: Όρια: 1 ... 10 δευτερόλεπτα. Τυπική τιμή 0 s.

Tolerance for Special Measurement: Όπως αναφέραμε και στο «SPECIAL μέτρηση», γίνονται μετρήσεις μέχρι όταν η διαφορά των δυο τελευταίων συνεχόμενων μετρήσεων να είναι μικρότερο από την τιμή Tolerance. Έχει ρυθμιστηκα όρια 0 ... 1 FSN και η τυπική τιμή είναι 0.2 FSN.

7-4-7 Manual Parameters (Παράμετροι για Χειροκίνητη Λειτουργίας)

Είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν την πιο απλή μορφή μέτρησης που μπορεί να γίνει με τον αναλυτή (Single Measurement) . Στο σχήμα 7.4.7 φαίνονται οι παράμετροι για το manual mode) .

MANUAL	PARAM.	415S
User	: INST.CON.	Device: READY

Number Meas. Cycles Manual:		1
Sampling Time Manual	[s]:	6.0
Nominal Volume Manual	[ml]:	1000
MENU		SET

7.4.7 Manual Parameters

Number of Measurement Cycles: ρυθμιστηκα όρια μεταξύ 1 ... 5. τυπική τιμή 1

Sampling Time for Measurements with Preselected Sampling Time: Είναι ο προεπιλεγμένος χρόνος δειγματοληψίας και έχει όρια ρύθμισης μεταξύ 1 ... 180 δευτερόλεπτα. Ο τυπικός χρόνος είναι 6 s.

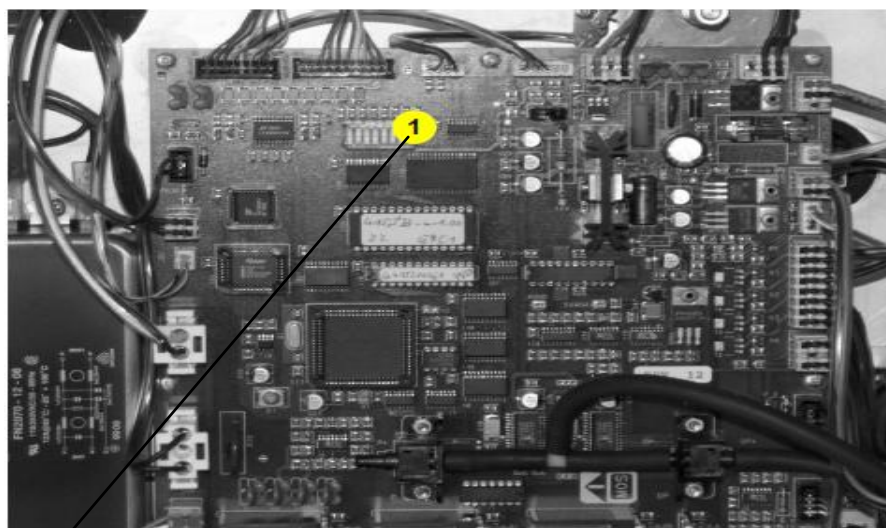
Nominal Volume (Nominal volume manual): είναι ο ονομαστικός όγκος δειγματοληψίας και καθορίζει τον όγκο δείγματος για τη δοκιμή του όγκου.

Δηλαδή ο ονομαστικός όγκος δειγματοληψίας είναι ο όγκος για την μέτρηση με προεπιλεγμένο όγκο δειγματοληψίας.

Έχει όρια ρύθμισης μεταξύ 100 20000 ml και ο τυπικός όγκος είναι 1000 ml.

7-4-8 Λειτουργία με θέρμανση (Heating Option)

Η ρύθμιση του αναλυτή για την λειτουργία με θέρμανση γίνεται μέσω τον παράμετρο **Temperature Conditioning** (Temperature Cond.) στο **System Parameters**. Πρέπει οι “**DIL διακόπτες**” (**DIL Switch**) **S7 & S8**⁸ να είναι αναμμένοι. Οι διακόπτες DIL φαίνονται στο σχήμα 7.4.8



Σχήμα 7.4.8 θέση των διακοπών DIL

● DIL switch block

οι ρυθμίσεις των διακοπών DIL μπορούν να αλλαχτούν μονό όταν η συσκευή είναι κλειστή και αποσυνδεδεμένη από την μονάδα ρεύματος. Επίσης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή την ώρα της ρύθμισης γιατί εκεί περνάει ρεύμα με μεγάλη τάση.

Όποτε για να έχουμε λειτουργία με θέρμανση πρέπει :

1. **Temperature Conditioning** (Temperature Cond.) στο **System Parameters**.
Να είναι **ON**.

⁸ Σε περίπτωση μέτρηση με δυο κανάλια μετρήσεων

2. **DIL διακόπτες” (DIL Switch) S7 (S8) να είναι αναμμένοι.**
3. Οι σωλήνες δειγματοληψίας να είναι θερμαινόμενες.
4. Και η συσκευή να έχει προθερμανθεί.

7-5 Συνοπτική Περιγραφή της Λειτουργίας του Αναλυτή AVL 415s

Σε αυτό το τμήμα του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι διάφορες δυνατές λειτουργίες του αναλυτή AVL415s για να διευκολυνθεί ο πιθανός μελλοντικός χρήστης.

Στην πρώτη φάση παρουσιάζεται συνοπτικά η απλή μέθοδος μέτρησης (απλή μέτρηση) που χρησιμοποιείται για την μέτρηση αιθάλης στο σταθερό φορτίο και σταθερές στροφές του κινητήρα. Με την διαδικασία αυτήν πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικές μετρήσεις για την δοκιμαστική λειτουργία της συσκευής.

7-5-1 Μέτρηση στο σταθερό φορτίο και σε σταθερές στροφές του κινητήρα

7-5-1-1 Απλή μέτρηση με προεπιλεγμένο όγκο/χρόνο δειγματοληψίας

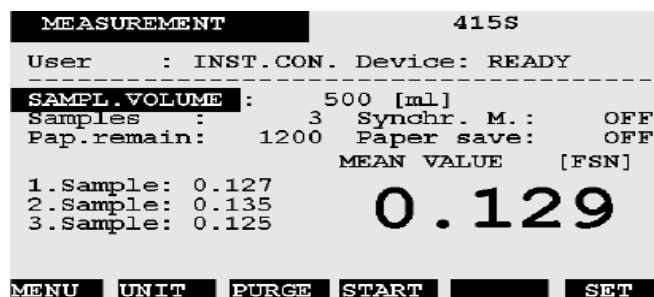
Όπως φαίνεται βήμα προς βήμα στο **σχήμα 7.5.4** , μετά από την εκκίνηση, η συσκευή χρειάζεται περίπου 30 λεπτά για να θερμανθεί και να φθάσει στους 70 c^o . Στην συνέχεια γίνεται ένας αυτόματος καθαρισμός της διαδρομής (διαρκεί περίπου 6 δευτερόλεπτα) .

Στην συνέχεια πατώντας την κουμπί F1 βρισκόμαστε στην μενού λειτουργίας του αναλυτή. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5.1

415S MENU		415S	
MEASUREMENT	SYSTEM	PARAM.	
VOLUME CAL.	POLLUT.	PARAM.	
LEAK CHECK	MANUAL	PARAM.	
REFL. HEAD CAL.	CALIBR.	PARAM.	
SERVICE	GLOBAL	PARAM.	
MENU			EXEC.

Σχήμα 7.5.1

Πατώντας *MEASUREMENT* βρισκόμαστε στην κεντρική οθόνη της λειτουργίας μέτρησης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5.2



Σχήμα7.5.2

Επομένως για πραγματοποίηση μιας μέτρησης σε σταθερό φορτίο του κινητήρα με σταθερές στροφές, ρυθμίζονται «Sampl. Volume» σε περίπτωση προεπιλεγμένο όγκο δείγματος, και «Sampl. Time». Σε περίπτωση μέτρηση με προεπιλεγμένο χρόνο δειγματοληψίας. (αν επιλεχτούν πάνω από μια μέτρηση (samples > 1) θα έχουμε την περίπτωση των πολλαπλών μετρήσεων και στο τέλος ως αποτέλεσμα εμφανίζεται ο μέσος όρος συγκέντρωσης αιθάλης.)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5.2 η επιλογή «Synchr. M» παραμένει στην κατάσταση «OFF».

Εδώ πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι αν η συγκέντρωση αιθάλης στα καυσαέρια είναι μεγάλη (δηλ. FSN > 6) (σε περίπτωση με τον προεπιλεγμένο όγκο δείγματος), πρέπει να επιλεχτεί όγκος 1/3 λίτρου. Αντιθέτως αν έχουμε πολύ χαμηλή συγκέντρωση αιθάλης στα καυσαέρια (δηλ. FSN < 1) πρέπει να διαλεχτεί ένας όγκος δειγματοληψίας της τάξης των 3 λίτρων.

Μετά την αλλαγή των επιθυμητών ρυθμίσεων πρέπει να πατήσουμε το πλήκτρο «SAVE» για να αποθηκευτούν οι αλλαγές που έχουν επιλεχτεί.

Στο επόμενο βήμα πατώντας το πλήκτρο «START» εκκινεί η διαδικασία της μέτρησης. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ένας χρόνος δειγματοληψίας της τάξης 6 δευτερόλεπτων, αντιστοιχεί σε ένα όγκο δείγματος της τάξης 1000 ml.

Στην συνέχεια εμφανίζεται σε μορφή FSN το αποτέλεσμα της μέτρησης. (σε περίπτωση πολλαπλών μέτρησης, εμφανίζεται ο μέσος Όρος όλων των μετρήσεων) .

Μέσω της επιλογής «UNIT» υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των αποτελεσμάτων σε mg/m^3 ή σε % (αμαύρωση).

Στο επόμενο βήμα πρέπει να πραγματοποιήσουμε καθαρισμό της διαδρομής πατώντας «PURGE» . Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι για την λειτουργία του καθαρισμού, **δεν** χρειάζεται να βγει ο σωλήνας δειγματολήπτη από την διαδρομή των καυσαερίων , διότι όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως κατά την διάρκεια της λειτουργίας καθαρισμού αναρροφάται καθαρός αέρας από την “SAMPLE OUT” του αναλυτή.

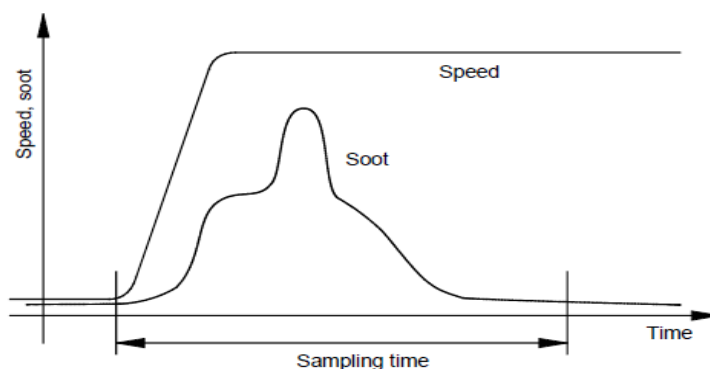
7-5-1-2 Μέτρηση με Χρήση AutoRange

Με την χρήση της μεθόδου AutoRange , όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν χρειάζεται ρύθμιση του όγκου δειγματοληψίας ή χρόνο δειγματοληψίας διότι μια δοκιμαστική μέτρηση πραγματοποιείται πριν την κανονική μέτρηση με σκοπό τον καθορισμό του βέλτιστου όγκο δείγματος ώστε το $\text{PB} = 2,5$. Τα άνω όρια και κάτω όρια του όγκου δειγματοληψίας ρυθμίζονται σύμφωνα με όσα έχουν εκτεθεί στα προηγούμενα μέσω των γενικών παραμέτρων (3.4.6 Global Parameters) όπως φαίνεται και βήμα προς βήμα στο **σχήμα 7.5.5** .

Η διαδικασία μέτρησης με AutoRange φαίνεται βήμα προς βήμα στην **σχήμα 7.5.4**

7-5-2 Μέτρηση σε Μεταβαλλόμενες Συνθήκες Λειτουργίας του Κινητήρα (Synchronized Measurements)

Σε μεταβαλλόμενη λειτουργία του κινητήρα , π.χ κατά την επιτάχυνση του, οι εκπομπές αιθάλης θα είναι μεταβαλλόμενες , όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5.3



Σχήμα 7.5.3

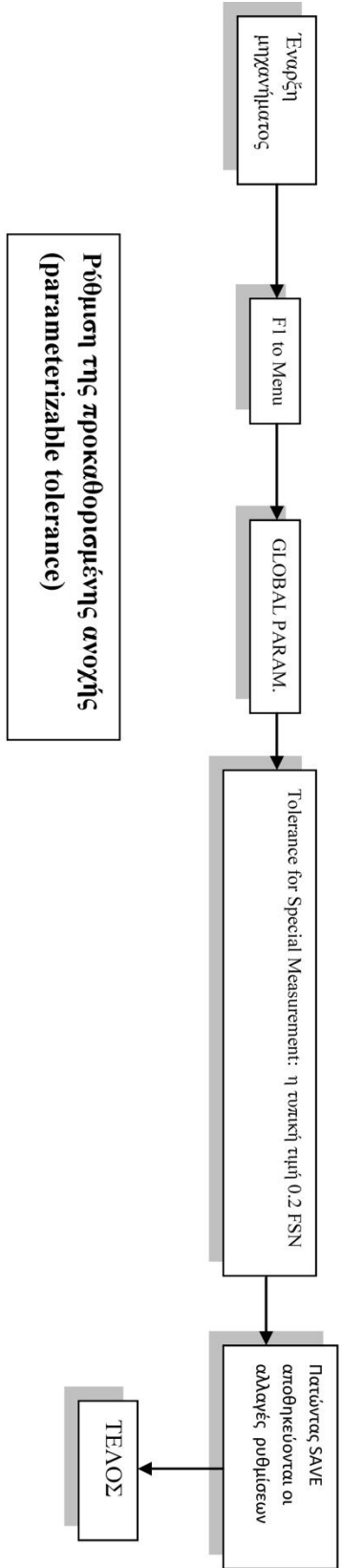
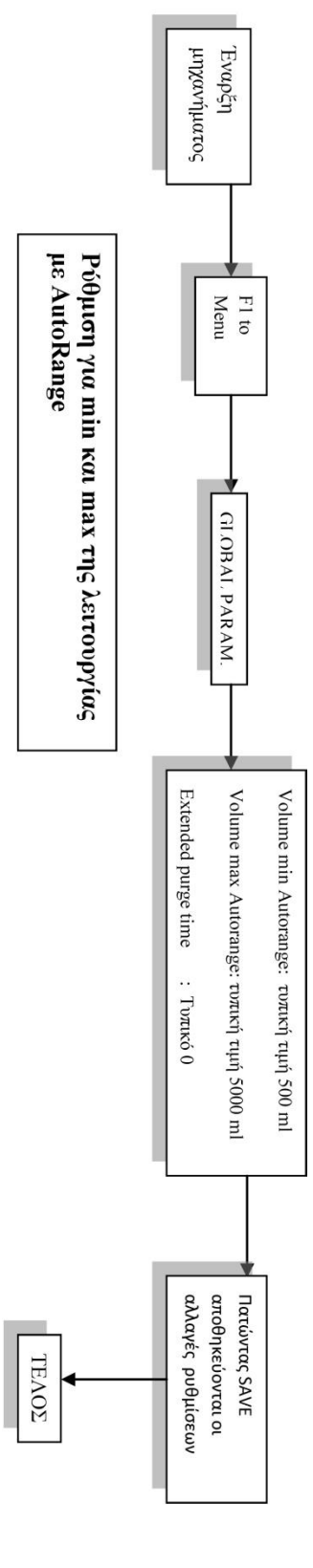
Σε αυτήν την περίπτωση έως αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται η τιμή που αντιστοιχεί στο μέσο όρο της συγκέντρωσης αιθάλης στο συγκεκριμένο χρόνο δειγματοληψίας.

Η διαδικασία μέτρηση μέσω Synchronized Measurements φαίνεται βήμα προς βήμα στο **σχήμα 7.5.6**. Όπως έχει αναφερθεί και στο **σχήμα 7.5.6** για να έχουμε μέτρηση με Synchronized Measurements πρέπει η επιλογή Synchr.M να ρυθμιστεί στην κατάσταση ON. Επίσης προτείνεται να ρυθμίσουμε την μέτρηση με προεπιλεγμένο χρόνο δειγματοληψίας. Μετά τις αλλαγές στις ρυθμίσεις, πατώντας SAVE αυτές αποθηκεύονται. Η διαδικασία μέτρησης ξεκινά πατώντας την κουμπί START. Όταν εμφανιστεί το μήνυμα «Device is ready for sampling -> CONT», η συσκευή είναι έτοιμη για την έναρξη της δειγματοληψίας, επομένως πατώντας το πλήκτρο CONT αρχίζει η διαδικασία της δειγματοληψίας ξεχωριστά για κάθε δείγμα.

7-5-3 Ειδική Μέτρηση (Special)

Η διαδικασία της ειδικής μέτρησης φαίνεται βήμα με βήμα στο **σχήμα 7.5.7**. Οι μετρήσεις με αυτήν την μέθοδο πραγματοποιούνται (όχι όμως παραπάνω από 5 δείγματα) μέχρις ότου δυο διαδοχικές μετρήσεις να μην διαφέρουν περισσότερο από μια προκαθορισμένη ανοχή (parameterizable tolerance). Οπού σύμφωνα με τα προηγούμενα η τιμή της προκαθορισμένης ανοχής (parameterizable tolerance) ρυθμίζεται στις γενικές παραμέτρους (7.4.6 Global Parameters) και φαίνεται και βήμα με βήμα στο σχημα 7.5.5.

Όπως φαίνεται και στο **σχήμα 7.5.7** η διαδικασία της μέτρησης ξεκινά πατώντας το πλήκτρο **START**. Η τιμή της πρώτης μέτρησης εμφανίζεται όταν γίνει διαθέσιμη από τον μικροεπεξεργαστή. Στην συνέχεια λαμβάνει χώρα η δεύτερη μέτρηση. Εάν οι δυο μετρήσεις διαφέρουν περισσότερο από την τιμή του προκαθορισμένης ανοχής που έχουμε επιλέξει, τότε πραγματοποιούνται περαιτέρω μετρήσεις (με ανώτερο όριο τις 5 μετρήσεις). Η μέση τιμή των δύο τελευταίων μετρήσεων εμφανίζεται μόνο όταν η διαφορά τους βρίσκεται στα όρια της προκαθορισμένης ανοχής.



Σχήμα 7.5.5 Ρύθμιση για min και max της λειτουργίας με AutoRange – Ρύθμιση της προκαθορισμένης ανοχής

Κεφάλαιο 8

«Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Μετρήσεων με
Χρήση της Συσκευής AVL415s σε
Δοκιμαστική Λειτουργία και Αξιολόγηση»

8-1 Παρουσίαση μετρούμενων μεγεθών

Με σκοπό τη αξιολόγηση του αναλυτή AVL 415s πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις πάνω στο κινητήρα Ricardo Hyd. Σε αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα η συσκευή AVL 415s (μέτρηση με θέρμανση σε σταθερό φορτίο (απλή μέτρηση)), και ο αναλυτής αιθάλης τύπου Bosch (RTT100) . οι μετρήσεις αφορούν σε τρία διαφορετικά φορτία και δυο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. οι τρεις πρώτες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές στροφές της τάξης 1500 rpm και φορτία 9.1 και 14.1 και 18 Nm και οι επόμενες τρεις μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές στροφές της τάξης 2000 rpm και στα ίδια φορτία .

Οι μετρητικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον πειραματικό έλεγχο, έδωσαν την δυνατότητα προσδιορισμού των ακόλουθων μεγεθών:

Ταχύτητα Περιστροφής	rpm
Ροπή στροφαλοφόρου ατράκτου	Nm
Κατανάλωση καύσιμου	Χρόνος κατανάλωσης 50 ml
Θερμοκρασία καυσαερίου	°C
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	°C
Πίεση περιβάλλοντος	bar
Εκπομπές αιθάλης	FSN
Εκπομπές αιθάλης	mg/m ³
Εκπομπές αιθάλης	Αμαύρωση
Χρονική στιγμή στατικής έγχυσης	° προ ANΣ
Ω	Από την σχέση $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60$
Ισχύς κίνητρα	kW από Ροπή * Ω
Ειδική κατανάλωση καύσιμου	$\frac{\text{καταναλωση καυσιμου (ml)} * \text{πυκνοτητα (ρ)}}{\text{ισχυος}}$

Πινάκας 8.1 Μετρούμενα μεγέθη και μονάδες αυτών

Το ζήτημα που απασχόλησε την παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην αρχική αξιολόγηση της συσκευής AVL 415s σε σχέση με τον αναλυτή τύπου Bosch RTT100.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 26° C και υπό σταθερή στατική έγχυση της τάξης 28° προ ΑΝΣ.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων .

α/α	RPM	Nm	Θερμ.καυσαερι ων C°	Χρόνος για κατανάλωσης ml	Bosch %	Bosch mg/m ³	AVL FSN	AVL mg/m ³	AVL %
1	1500	9,1	233	5 min & 4 s	5.5	17	0.786	13.13	4.23
2	1500	14,1	300	3 min & 50 s	12	40	1.184	22.36	8.19
3	1500	18	363	3 min & 12 s	25	119	2.521	71.65	21.66
4	2000	9,2	242	3 min & 51 s	7.1	22	0.661	10.63	2.99
5	2000	14,1	304	2 min & 57 s	11	38	1.176	22.15	8.11
6	2000	18,1	368	2 min & 26 s	20.2	80	2.261	59.37	19.04

Πίνακας 8.2 αποτελέσματα των μετρήσεων

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι για την συσκευή AVL η συγκέντρωση σε mg/m³ δίνεται σε κανονικές συνθήκες.

8-2 Επεξεργασία Μετρουμένων Αποτελεσμάτων

Σε συνδυασμό με τα ανωτέρα αποτελέσματα μετρήσεων έγιναν υπολογισμοί για την μετατροπή βασικών λειτουργικών στοιχείων του κινητήρα ως ακολούθως:

Ισχύς κινητήρα

$$P_e(kW) = M_d(Nm) \cdot \frac{2\pi n(rpm)}{60(sec/min)} \cdot 10^{-3}(kW/W)$$

Οπού

P_e ισχύος του κίνητρα σε kW, M_d το φορτίο πέδη (Ροπή) σε Nm

Κατανάλωση

$$\dot{m}_f(ml/h) = \frac{3600(s/h)}{\chi\rho.ανο.σωλη.παροχ.καυσι.(s)} \cdot 50(ml)$$

Ειδική κατανάλωση καυσίμου

$$b.s.f.c. = \frac{\dot{m}_f(ml/h) \cdot \rho}{P_e(kW)} (g/kWh)$$

όπου \dot{m}_f , η ωριαία κατανάλωση καυσίμου σε ml και P_e , η αποδιδόμενη ισχύς του κινητήρα και ρ η παροχή καύσιμου.

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις έγιναν οι αντίστοιχες μετατροπές και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

a/a	RPM	Nm	Παροχη.καυσιμ σιν \dot{m}_f(ml/h)	Ισχυς.κινητηρα P_e(kW)	Ειδικη.καταναλ. καυσιμου g/ kWh	Bosch %	Bosch mg/m³	AVL FSN	AVL mg/m³	AVL %
1	1500	9.1	592.1	1.4287	346.05	5.5	17	0.7876	13.13	4.23
2	1500	14.1	782.6	2.2137	295.19	12	40	1.1871	22.36	8.19
3	1500	18	937.5	2.826	277	25	119	2.525	71.65	21.66
4	2000	9.2	779.2	1.9258	337.83	7.1	22	0.662	10.63	2.99
5	2000	14.1	1016.9	2.9516	287.67	11	38	1.178	22.15	8.11
6	2000	18.1	1285.7	3.7889	283.34	20.2	80	2.265	59.37	19.04

Πίνακας 8.3 Μετατρεπόμενα μεγέθη

8-3 Ενδεικτική Συγκριτική Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων του αναλυτή AVL 415s με το αναλυτή τύπου Bosch RTT100

Με βάση τα αποτελέσματα, τα όποια έδωσαν οι αναλυτές AVL415s και Bosch RTT100 γίνεται συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των αποτελεσμάτων με βασικό σκοπό την αρχική αξιολόγηση της λειτουργίας του αναλυτή AVL415s.

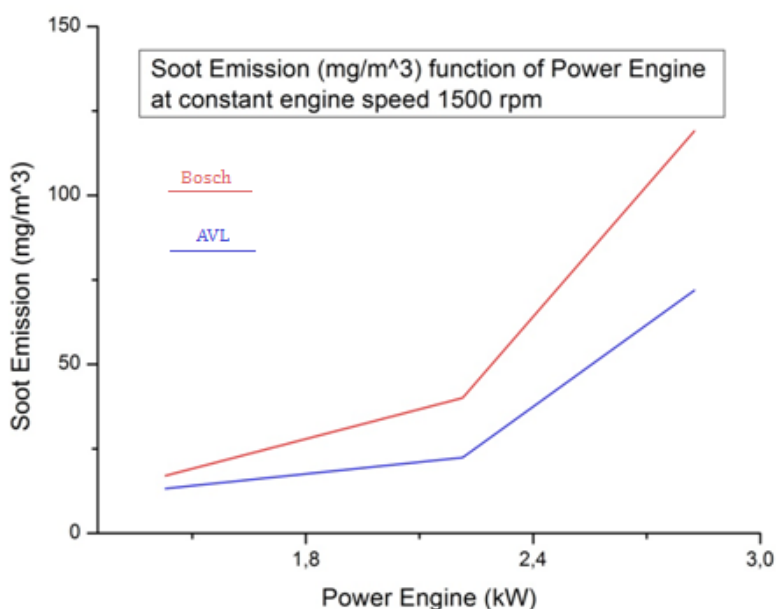
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται με μπλε χρώμα τα μετρούμενα μεγέθη από τον αναλυτή AVL415s ενώ με κόκκινο τα αντίστοιχα με τον αναλυτή Bosch RTT100 .

Τα διαγράμματα, τα οποία δίνονται είναι :

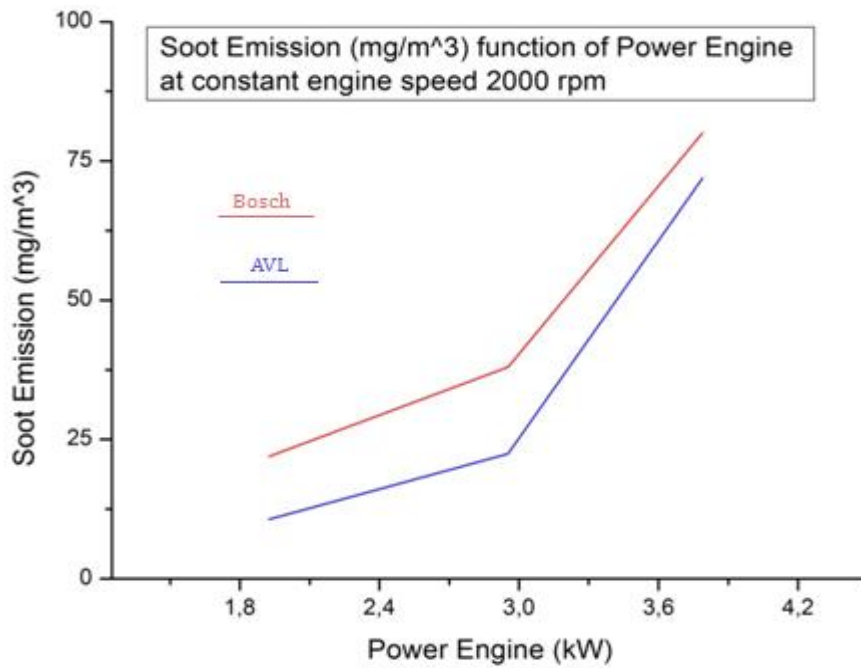
- Οι εκπομπές αιθάλης σε mg/m^3 , % και FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε στροφές της τάξης 1500 rpm.
- Οι εκπομπές αιθάλης σε mg/m^3 , % και FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε στροφές της τάξης 2000 rpm.

8-3-1 Οι εκπομπές αιθάλης σε mg/m^3 και % και FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα

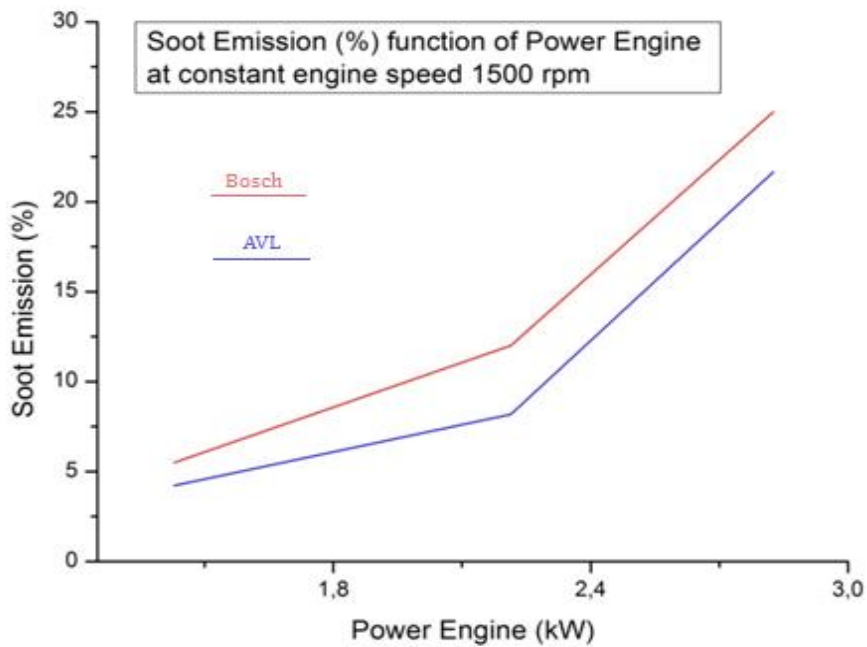
Στα επόμενα διαγράμματα γίνεται σύγκριση μεταξύ των μετρουμένων εκπομπών αιθάλης των δυο αναλυτών AVL415s και Bosch . Στον οριζόντιο άξονα, αντιστοιχεί η ισχύς του κινητήρα σε διαφορετικές στροφές της τάξης των 1500 rpm και 2000 rpm και αντίστοιχα στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι εκπομπές της αιθάλης σε διαφορετικές μονάδες (mg/m^3 , % και FSN). Στο σχήμα 8.1 δίνεται η σύγκριση των ενδείξεων των δύο συσκευών (mg/m^3) σε ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm συναρτήσει της ισχύος, ενώ στο σχήμα 8.2 δίνεται η σύγκριση των ενδείξεων των δύο συσκευών (mg/m^3) σε ταχύτητα περιστροφής 2000 rpm συναρτήσει της ισχύος.



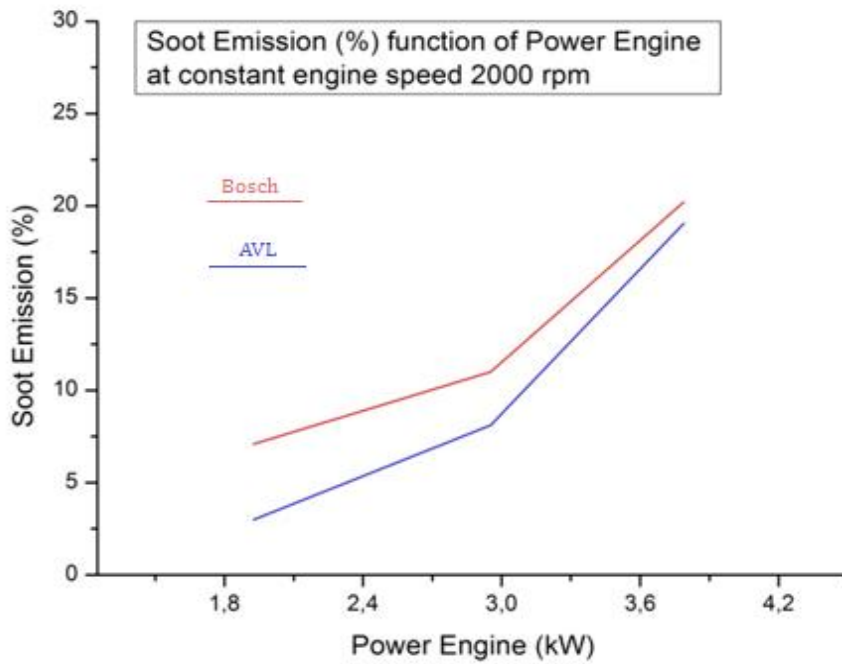
Σχήμα 8.1 Εκπομπές αιθάλης σε mg/m^3 συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 1500 rpm



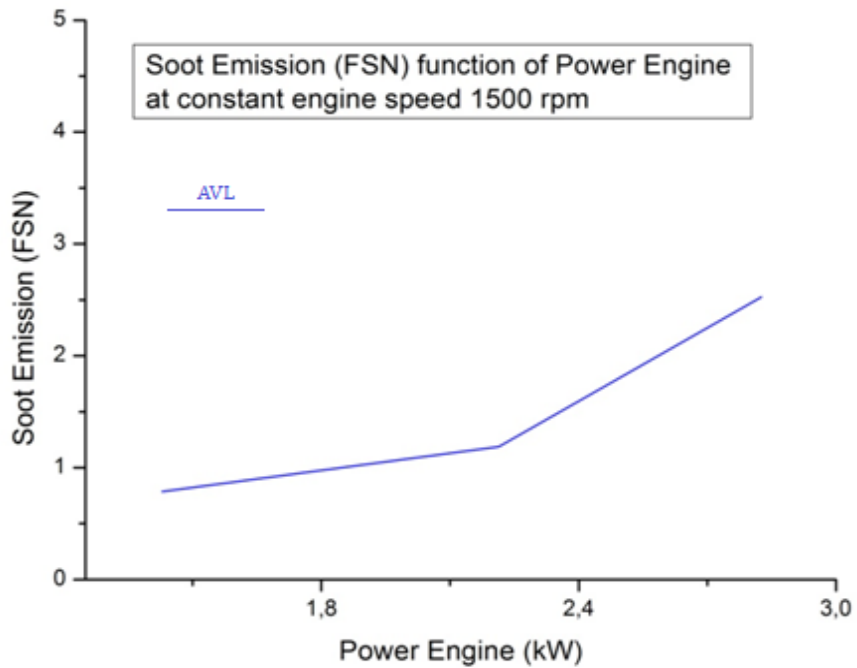
Σχήμα 8.2 Εκπομπές αιθάλης σε mg/m³ συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 2000 rpm



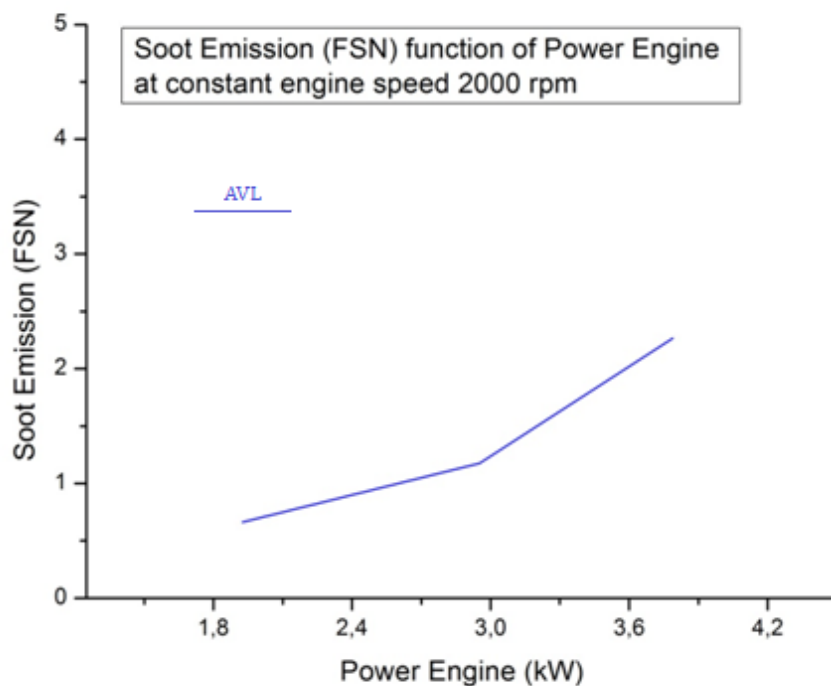
Σχήμα 8.3 Εκπομπές αιθάλης σε % συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 1500 rpm



Σχήμα 8.4 Εκπομπές αιθάλης σε % συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 2000 rpm



Σχήμα 8.5 Εκπομπές αιθάλης σε FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 1500 rpm



Σχήμα 8.6 Εκπομπές αιθάλης σε FSN συναρτήσει της ισχύος κινητήρα σε σταθερές στροφές 2000 rpm

Παρατηρείται ότι σε σταθερές στροφές του κινητήρα, με την αύξηση της ισχύος, αυξάνονται οι εκπομπές της αιθάλης. Επίσης παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον αναλυτή AVL415s είναι σχετικά κοντά στα αντίστοιχα του αναλυτή Bosch τουλάχιστον ποιοτικά. όμως πρέπει να τονισθεί ότι οι δυο συσκευές έχουν άλλη αρχή μέτρησης και παρέχουν την συγκέντρωση mg/m^3 σε άλλες συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που οι τιμές αμαύρωσης % είναι πιο κοντά. συνεπώς οι τιμές μπορεί να πλησιαστούν με την χρήση διορθωτικού συντελεστή.

Κεφάλαιο 9

« Συμπεράσματα »

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η αρχή λειτουργίας του αναλυτή AVL 415s βασίζεται στην μέθοδο χαρτιού και έχει μια πολύ καλή ακρίβεια της τάξης 0.001 FSN, 0.01 mg/m³. Ο βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αρχική αξιολόγηση αποτελεσμάτων του αναλυτή AVL 415s. Όπως παρατήθηκαν από τα διαγράμματα, γίνεται κατανοητό ότι ο αναλυτής AVL 415s δίνει αποτελέσματα σχετικά κοντά στα αντίστοιχα του αναλυτή Bosch , από αυτό μπορούμε να συμπεραίνεται ότι πρώτα ο αναλυτής AVL415s δουλεύει αξιόπιστα χωρίς κανένα πρόβλημα και δεύτερον ότι η δοκιμαστική λειτουργία του , που έλαβε χώρα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν εντελώς επιτυχής, επομένως τα αποτελέσματα που δίνει είναι αξιόπιστα και πιστά. Επίσης στα διαγράμματα παρατηρείται ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις οι δυο αναλυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ τους και με την αύξηση της συγκέντρωσης, πλησιάζουν όλο και περισσότερο, από αυτό συμπεραίνεται ότι λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειας του αναλυτή AVL415s σε σχέση με τον αναλυτή Bosch, στις χαμηλές συγκεντρώσεις της αιθάλης, δηλαδή εκεί που πρέπει ο αναλυτής να έχει μεγάλη ακρίβεια , ο αναλυτής Bosch δεν μπορεί να δίνει εντελώς αξιόπιστα και χρήσιμα αποτελέσματα ενώ ο αναλυτής AVL415s σε χαμηλό εύρος δουλεύει αξιόπιστα και δίνει χρήσιμα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 10

«Βιβλιογραφία»

1. 'Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.'- Κ.Δ.Ρακόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Δ.Θ.Χουντάλας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
2. 'Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.'- Κ.Δ.Ρακόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
3. 'Εναλλαγή Αερίων και Υπερπλήρωση Μ.Ε.Κ.'- Κ.Δ.Ρακόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ε.Γ.Γιακουμής, λέκτορας Ε.Μ.Π.
4. 'Internal Combustion Engine Fundamentals'- J.B.Heywood
5. TRANSIENT, REAL-TIME, PARTICULATE EMISSION MEASUREMENTS IN DIESEL ENGINES Sreenath Gupta, Jonathan Shih, Greg Hillman and Raj sekar
6. METHOD FOR MEASURING THE SMOKINESS OF EXHAUST GASES AND A DEVICE FOR ACCOMPLISHING IT S. N. Drozd, M. M. Kugeiko, and V. A. Firago
7. Diesel Engine Reference Book (2nd Edition) Edited by Challen, Bernard; Baranescu, Rodica © 1999; Butterworth-Heinemann
8. Διπλωματική εργασία του τερτιπη αθανισου
9. Διπλωματική εργασία της Γεωργίας-Βιργινίας Λαμπρούση

